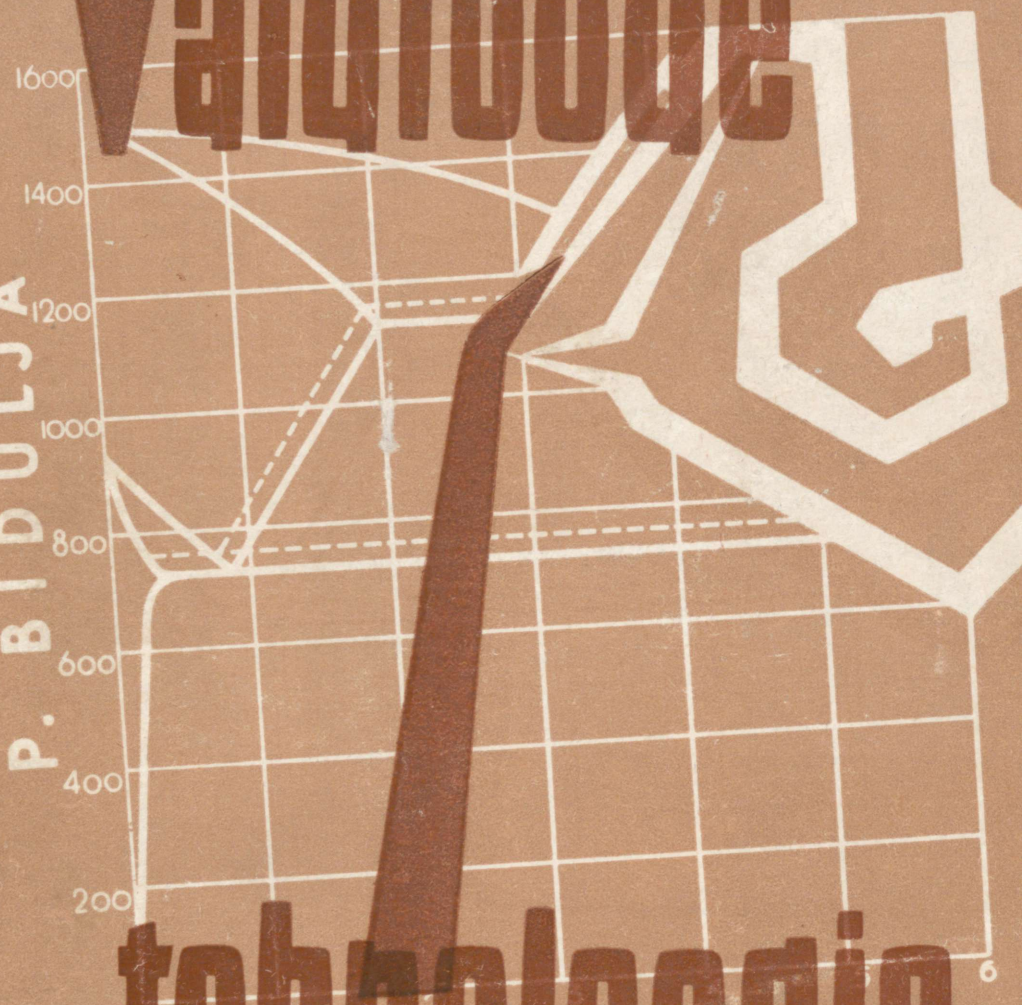
Valutööde tehnoloogia

P. BIDULJA



A-22927

P. N. BIDULJA
PROF. TEHN. TEAD. DOKTOR

VALUTÖÖDE TEHNOLOOGIA

KINNITATUD
NSV LIIDU MUSTMETALLURGIA MINISTEERIUMI
ÕPPEASUTUSTE VALITSUSE POOLT
ÕPPEVAHENDIKS
MUSTMETALLURGIA TEHNIKUMIDELE

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1959

Originaali tiitel:

П. Н. Бидуля
проф. докт. техн. наук

**Технология
литейного производства**

Государственное научно-техническое издательство
литературы по черной и цветной металлургии
Москва 1956

Raamatus käsitletakse valuvormide valmistamist, nende täitmist sulametalliga, valandite raiumist ja puhastamist pärast väljalöömist valuvormist. Lähemalt peatutakse hall- ja tempermalmist, terasest, värvilistest metallidest ja sulamitest valandite saamise küsimustel. Samuti käsitletakse valutoodangu tehnilise kontrolli meetodeid.

Tõlkimisel eesti keelde on raamatust välja jäetud peatükk «Torude, valtside ja kokillide valmistamine» kui Eesti NSV tingimustes vähetähtis.

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
46002

Retsensendid: tehn. tead. kand. A. Kruusamägi,
ins. E. Ottoson, ins. S. Fokin

SISSEJUHATUS

Enamik masinaid (valtspingid, tööpingid, pumbad, turbiinid jne.) on keerulise ehitusega ja koosnevad arvukatest, mitmesuguse kuju, kaalu ja mõõdetega detailidest, mis suuremalt osalt on saadud valatud toorikutest. Seda tingib asjaolu, et valu on kõige lihtsam, kiirem ja odavam toorikute saamise viis. Käesoleval ajal valmistatakse valandeid malmist, terasest ja mitmesugustest värvilistest sulamitest, mõõdetega 1 cm kuni 20 m ja enam, kusjuures valandite seinapaksus ulatub 0,5 kuni 500 mm, kaal aga mõnest grammist kuni 245 tonnini ja rohkemgi. Kui arvestada, et valatud detailid moodustavad peaaegu iga masina kogukaalust 25 (põllumajanduslikud masinad) kuni 90% (tööpingid), siis on selge, milline hiiglaslik tähtsus on valutööstusel. Ilma liialdamata võib ütelda, et valutööstus on masinaehituse metallurgiliseks aluseks.

Malm, paljud alumiiniumisulamid kui ka kõrgete magnetiliste omaduste poolest silmapaistvad alpi-sulamid ei ole survega töödeldavad. Neid ei saa sepistada, stantsida ega valtsida. Taolistest sulamitest on võimalik toorikuid valmistada ainult valamise teel. Selle tõttu kasutatakse toorikuid-valandeid laialdaselt kõigis masinaehituse harudes. Et valamise teel saada mingit detaili, tuleb kõigepealt valmistada vorm, mis annaks täpselt edasi tulevase detaili kontuurid. Täites sellise vormi sulametalliga ning lastes viimast seal tarduda, moodustubki valand.

Suur nõudmine valu järele soodustas valuvormide mitmekülgsete valmistamismeetodite tekkimist koos kõikvõimalike tehnoloogiliste võtete ning mitmesuguste materjalide kasutamisega.

Käesoleval ajal kasutatakse valutsehhides muld- (ühekordseid), keraamilisi (poolalalisi) ja metall- (alalisi) vorme.

Muldvormidesse saab valada vaid ühe valandi, mille väljavõtmiseks tuleb vorm purustada. Selliste vormide valmistamiseks kasutatakse mitmesuguste liivade, savi ja teiste materjalide segusid. Valmistamisviisist olenevalt võivad muldvormid olla märjad, pindkuivatatud, kuivad, koorikvormid ja väljasulatatavate mudelitega vormid.

Keraamilised (šamott-) vormid on tugevamad ja võimaldavad seetõttu mitmekordset (kuni mõnikümmend korda) kasutamist. Sellised vormid alluvad sulametalli kestvale toimele ning nad tuleb

valmistada spetsiaalsetest kõrge vastupidavusega materjalidest (šamott, magnesiit, asbest jt.).

Keraamilisi vorme kasutatakse suurte lihtsa kujuga malm- ja terasvalandite (kokillid, plaadid, tüübingud jt.) valmistamiseks.

Metallvormist võib järgemööda saada mitusada või mitu tuhat malmist, terasest või värvilistest sulamitest lihtsat ja keskmise keerukusega valandit.

Metallvorme kasutatakse peamiselt spetsiaalsete valumeetodite rakendamisel, nagu kokill-, tsentrifugaal- ja survevalu puhul, valamisel vaakuumi all (vaakuumvalu), pressvalu jne. Metallvorme kasutatakse ka kivivalu juures (basaldi valamisel).

Valamine on protsess, mis koosneb reast üksteisele järgnevatest tehnoloogilistest operatsioonidest, valandid aga mingil valumeetodil saadud detailid.

Valmistamisviisist olenevalt eristatakse käsitsi- ja masin- ning masin-automaatvalu. Valuvormi kvaliteedi ja ehituse järgi eristatakse valu muld- ja metallvormidesse, survevalu (kus metall surutakse vormi kümnete ja isegi sadade atmosfääride ulatuva rõhu all), pöörlevates vormides saadavat tsentrifugaalvalu ja vaakuumvalu, kus metall valatakse vormi, millest õhk on eemaldatud.

Iga nimetatud valamisviis koosneb mitmesugustest tehnoloogilistest operatsioonidest, mida võib liigitada järgmistesse gruppidesse: a) vedela sulami ja valuvormi valmistamine, b) vormi täitmine vedela metalliga, c) saadud valandi väljalöömine ja d) valandi töötlemine.

Mõnedel juhtudel lülitatakse valandite tootmise tehnoloogiasse ka termiline töötlemine, valandite defektide kõrvaldamine, tihedusproov ja rida teisi operatsioone.

Tehnoloogiliseks lõppoperatsiooniks on valandi kvaliteedi kontroll ühes valandite väljapraakimisega, mis ei vasta ГОСТ-is või tehase normatiivides ettenähtud tehnilistele tingimustele.

Kaasaegne tehnika ei saa läbi ilma valutööstuseta. Ei ole peaaegu ühtki masinaehitus- või metallurgiatehast, millel põhitsehhide hulgas puuduks valutsehh. Valutootmises saavutatud tehniline progress võimaldab valmistada minimaalse kaalu ja mehaanilise töötlemise varuga valandeid, real juhtumitel aga saada isegi montaažikõlblikke valmisdetaile. Selle tulemuseks on, et mahukat lõiketöötlemist nõudvad sepistatud ja valtsitud detailid loovutavad koha valatud detailidele.

Partei XXI kongressi direktiivides viidatakse vajadusele tunduvalt laiendada valutootmise mehhaniseerimist ja automatiseerimist ning luua kompleksselt mehhaniseeritud valutsehhid valamiseks väljasulatatavate mudelite abil. Tööstusettevõtete varustamiseks malm- ja terasvaluga ehitatakse uued eesrindliku tehnikaga varustatud valutehased ja spetsialiseeritud valutsehhid maa mitmesugustesse rajoonidesse. Püstitatud on ka ülesanne otsustavamalt ja kiiremini juurutada valutootmise progressiivset tehnoloogiat töötavates masinaehitusettevõtetes.

VALUTOOTMISE ARENGU LÜHIKE AJALUGU

Metalli saamine (väljasulatamine) maagist ja detailide valmistamine valamise teel olid tuntud mitu sajandit enne meie ajaarvamise algust. Niipea kui inimesed õppisid tootma metalli ja kasutama metallesemeid, tekkis neil mõte anda metallidele ja sulamitele vajalik geomeetriline kuju valamisega. Nii tekkis valuasjandus — kunst sulatada metalle ja sulameid ning valada neid varem ettevalmistatud anumatesse. Taolisi anumaid hakati nimetama valuvormideks.

Meie esivanematel tuli valuvormi pooled välja raiuda kivist, valada need sula metalli täis, pärast aga valatud eset käsitsi viimistleda ja temmida.

Muistsetes templites ja inimeste eluasemetel tehtud arheoloogilistel kaevamistel on leitud pronksist, kullast ja hõbedast valandeid.

Kiievi Venemaa oli valatud toodete poolest, mida veeti isegi välismaale, eriti kuulus Vladimiri ja Jaroslav Targa ajal (IX—XI saj.). Pärast tatari iket, mis peatas Venemaa arengu kaheks ja pooleks sajandiks, hakkab valutööstus uuesti arenema, kuid juba teises suunas. Nii oli Moskva tsaaril Ivan IV-ndal oma aja kohta kõige võimsam suurtükivägi, mis koosnes valatud kuulidega tulistavatest valatud pronks-, hiljem aga malmkahuritest ja arkebuusidest.

Samasse ajalooperioodi kuulub kirikukellade valamine vahast ja loomarasvast sulatatud mudelite järgi. Ivan Motorini «tsaarkell» ja Andrei Tšohhovi «tsaar-suurtükk», mis on üles seatud Kremlis, Leningradi ja selle ümbruse rohkearvulised mälestusmärgid, Moskvas Punasel väljakul asuv mälestussammas Mininile ja Požarskile on meie esivanemate, osavate valajate valukunsti ületamatuteks meistriteosteks.

Metallurgilise teaduse ja tehnika arengule aitas kaasa palju kuulsaid vene teadlasi, nende hulgas Mihhail Vassiljevitš Lomonossov, kes 1749. a. ehitas Peterburis esimese keemialaboratooriumi, Pavel Petrovitš Anossov, kes esimesena maailmas kasutas metallide ehituse uurimiseks mikroskoopi, Dimitri Konstantinovitš Tšernov — metallide struktuuri ja omadusi uuriva teaduse — metallograafia — rajaja, insenerid N. V. Kalakutski ja A. S. Lav-

rov, kes esimestena seletasid valatud metalli defektide põhjusi, ja lõpuks vene metallurgid XX sajandist — A. A. Baikov, M. A. Pavlov, V. J. Grum-Gržimailo, N. S. Kurnakov, M. M. Vittorf, S. S. Šteinberg jt., kelle nimed läksid vene metallurgia ja valutootmise ajalukku.

Vene valajad V. S. Knabbe, K. F. Neumeyer, A. P. Gavrilenko, M. G. Jevangulov, A. M. Botšvar jt. aitasid kaasa, et valuasjandus, mis minevikus oli käsitööks, muutus tehnoloogiliseks teaduseks valutootmisest, mis hakkas võimsalt arenema alles nõukogude võimu ajal.

1937. a. tuli NSV Liit valutoodangu poolest esimesele kohale Euroopas ja teisele kohale maailmas. Metallvormide kasutamises ning terasvalus ühekordsetesse muldvormidesse on NSV Liit praegu maailmas kindlalt esikohal.

Nõukogude võimu aastail on Kusnetski ja Magnitogorski metallurgiakombinaatides, «Uralmašis» ja «Krammašis», Stalingradi ja Harkovi traktoritehastes, Moskva ja Gorki autotehastes ning teistes tehastes ehitatud võimsad valutsehhid valuvormide vooltootmisega vormimismasinate abil ja valamisega konveieritel.

Valutehnika täiustamise kallal töötab meie maal palju novaatoreid — töölisi, insenere ja õpetlasi. Tootmisnovaatorid selgitavad tööviljakuse tõstmise piiramatuid võimalusi. Nende töö edukus on seletatav sellega, et nad valdavad täielikult tehnikat ja otsivad tööviljakuse tõstmiseks uusi teid, tuginedes teaduse ja tehnika uusimatele saavutustele. Sotsialistliku võistluse baasil parandavad tootmisnovaatorid töövõtteid, aidates sellega kaasa meie, kommunismiehitava maa kiiremale arengule.

NLKP XXI kongressil kinnitatud NSV Liidu rahvamajanduse arendamise kontrollarvud aastaiks 1959—1965 seavad NSV Liidu rahvaste ette ajaloolise ülesande luua kommunismi materiaalne baas sotsialistliku tootmise pideva kasvu ja täiustamise teel kõrgeima tehnika baasil. Valutootmise alal tähendab see raskete ja töömahukate protsesside laialdast mehhaniseerimist, valuprotsesside automatiseerimist, mis järsult tõstab tööviljakust, uute täiuslikumate tehnoloogiliste protsesside rakendamist, võitlust valu kvaliteedi parandamise eest, toodangu omahinna alandamist ja töötingimuste edasist parandamist.

VALUTOOTMISE ALUSED

VEDEL SULAM

VEDELATE METALLIDE JA SULAMITE OMADUSED

Igapäevases elus ja tootmises on meil kõige sagedamini tegemist sulamitega. Puhtaid metalle ehk metalle-elemente kasutatakse võrdlemisi harva. See on seletatav asjaoluga, et sulamid on tugevamad kui puhtad metallid, millest nad koosnevad. Sulamite tugevust, nagu ka nende teisi omadusi, saab muuta, reguleerida. Selles peitub sulamite hindamatu väärtus, mis tingib nende laialdast kasutamist tehnikas.

Metallid on kristalsed ained, millede paljud omadused seletuvad nende kristalse ehitusega. Järelikult ei olene metalsete materjalide omadused mitte ainult nende keemilisest koostisest, vaid ka struktuurist. Täiesti ühesuguse koostise ja ühesuguse struktuuriga materjalide omadused on ühesugused, ühesuguse koostise, kuid erisuguse struktuuriga materjalide omadused aga erinevad. Vajalikke omadusi saab tagada sobiva keemilise koostise ja struktuuriga materjalide kasutamisega.

Puhtad metallid ja nende sulamid erinevad üksteisest oma kristalse ehituse poolest. Mistahes metalli või sulami kristalliidid (nii nimetatakse neid eristamiseks soolade kristallidest) on üksteisega liitunud tahkudega, mille vahel esineb teistest ainetest kiht (kelme). Viimase paksus võib olla mitmesugune, alates ühe molekuli paksusest kuni mõne kümnendiku millimeetrini. Kristalliitidevaheline kiht koosneb räbuosakestest, väävli ja fosforiühenditest ning teistest elementidest ja sulamitest, mille tugevus tavalisel temperatuuril on väiksem kristalliitide omast. Samuti võib kristalliitide vahel leiduda gaase, millel igasugune tugevus puudub. Lõpuks võivad kristalliidid olla üksteisest eraldatud ka kahanemisest põhjustatud tühimikega.

Seepärast tuleb metallides ja sulamites toimuvate protsesside vaatlemisel, nende omaduste muutumise põhjuste selgitamisel arvestada metallide ja sulamite kristalse ehituse iseärasusi (defekte).

Võret moodustavad aatomid on võnkuvas liikumises. Mida kõrgem on temperatuur, seda suurem on soojusliku võnkumise amplituud. Võnkeamplituudi suurenemine viib selleni, et kuumutamisel

metalleseme mõõted suurenevad, jahutamisel aga vähenevad, s. o. esineb niinimetatud soojuspaisumine. Metalli kuumutamisel sulamistemperatuurini kasvab aatomite soojusvõnkumine suurima piirväärtuseni, mille juures nende asetus võres jääb endiseks. Väheneb ainult metalli erikaal. Kui temperatuuri veelgi tõsta, nii et see ületab sulamise algtemperatuuri (solidustemperatuuri), siis purustavad aatomid oma võnkeliikumise tagajärjel kristallvõre.

Kui sulatatava metallitüki kuumutamist jätkata, saabub olukord, kus kõva keha hakkab lagunema väikesteks osadeks, mis on igast küljest ümbritsetud vedelikuga. Metall hakkab voolama, kuid elementaarvoolustes ujuvad tahkete tükikeste jäänused. Likvidustemperatuuri saavutamisel (viimase tahke osakese sulamisel) muutuvad tahke metalli jäänused täielikult vedelikuks, mida nimetatakse sulatiseks. Vedeliku aatomid ei ole üksteisega seotud kristallvõres ja alluvad maa külgetõmbejõule, mis nüüd osutub tugevamaks sulatatud aine aatomite vahelistest sidemetest. Vedel voolav metall hakkab alluma seadustele, mis on detailselt läbi uuritud hüdraulikas.

Sulamisprotsessiga kaasneb seega metalli tunduv paisumine, metalli üleminek tahkest olekust vedelasse ja tema erikaalu langus.

Kaasaegsete arusaamade kohaselt on aatomid sulatises pidevas liikumises, kuid selles liikumises ei esine taolist korrapärasust, mida märkisime kristallvõrede kirjeldamisel. Aatomid liiguvad vabalt, põrkuvad üksteisega kokku ning eemalduvad, et seejärel uuesti kokku põrgata teistega jne. Aatomitevaheline külgetõmbejõud on vähenenud, vedelikuosakeste liikuvus aga suurenenud. Tõsi küll, viimastel aastatel on nõukogude teadlased (Dankov jt.) kindlaks teinud, et mida lähemal tardumistemperatuurile, seda korrapärasem on vedela metalli aatomite asetus, s. o. nende paiknemine kindlates, võrdlemisi väikestes ruumalades on analoogiline aatomite asetusele kristallvõres. Vedeliku mahu üksikutes kohtades aatomite paigutus meenutab kristallvõret. Püsiva temperatuuri hoidmisel sellised kohad kord kaovad, kord tekivad uuesti. Seda nähtust nimetatakse fluktuatsiooniks ehk kõrvalekaldumiseks keskmisest olekust, mille antud kohas määrab vedeliku koostis, temperatuur ja rõhk. Pärast metalli täielikku tardumist asetuvad aatomid kogu mahu ulatuses kindlas geomeetrilises korras, moodustades kristalse struktuuri.

Järelikult tekivad kristalliidid tardumisprotsessis. Seepärast nimetatakse metallograafias vedelast olekust tahkesse üleminekut, s. o. metallide ja sulamite tardumisprotsessi, kristallisatsiooniprotsessiks.

Sulamite ja tardumise vaadeldud käik kehtib kristalse ehitusega ainetele — metallidele, sooladele ja kivimitele.

Vaikude või klaasi tüüpi kolloidsed ained sulavad teisiti, ilma järsu üleminekuta tahkest olekust vedelasse. Nad lihtsalt pehmenevad.

Kui mõõta temperatuuri muutumist sulamisel, siis võib märgata, et puhtad metallid ja eutektilised sulamid (eutektiline malm) sulavad mingil kindlal temperatuuril, s. o. temperatuur tõuseb edasi alles pärast seda, kui kogu puhas metall või sulam on muutunud vedelaks. Teiste sulamite puhul tõuseb temperatuur pärast sulamise algust (solidus) pikkamööda edasi kuni sulamise lõpuni (likvidus), misjärel temperatuuri tõus (kui soojust antakse juurde endise intensiivsusega) kiireneb. Selliste sulamite sulamine toimub teatud kindlas temperatuuri-intervallis.

Metallid ja sulamid sisaldavad:

a) alalisi lisandeid kindlates hulkades, sõltuvalt kasutatud täitematerjalidest, millest antud sulam on saadud. Rauasulamitel kuuluvad alaliste lisandite hulka — süsinik, räni, mangaan, fosfor ja väävel, vasesulamitel — väävel, antimon, vismut, hõbe jne.;

b) spetsiaalseid ehk legeerivaid lisandeid, mida manustatakse sulamile kõrge tugevuse, elastsuse, kuumuskindluse, elektrijuhtivuse jne. andmiseks. Nende hulka kuuluvad Ni, Cr, Cu, Mo, W, V, Ti, Co, Nb, samuti aga ka alalised lisandid C, Si, Mn, S ja P, kui nende sisaldus ületab tavalise määra;

c) varjatud lisandeid — vesinikku, hapnikku ja lämmastikku;

d) juhuslikke lisandeid — arseeni, tsinki, tina, vismutit jt.

Sulami koostises esinevad kõik ülaltoodud lisandid erinevais seisundeis. Ühed neist lahustuvad sulami põhielemendis (rauas, alumiiniumis vms.), teised moodustavad keemilisi ühendeid (oksüüde, nitriide, sulfiide, fosfiide jne.), kolmandad annavad aga struktuurselt vabu faase, näiteks gaasimullikesi, räbu, liiva jne.

Tehniline sulam sisaldab järelikult, kuigi väikestes annustes, hulga kõige mitmesugusemaid aineid. Ühed nendest lahustuvad selles, teised aga moodustavad mitmesuguse sulamistemperatuuriga iseseisvaid faase, milledest ühed sulavad metalli põhimassist varem, teised hiljem. Akadeemik A. A. Baikov, kelle nimi on omistatud NSVL TA Metallurgiainstituudile, märgib, et «... ülessulatatud sulam kujutab endast läbipaistmatut «sogast» vedelikku». Vedeliku füüsikaline homogeensus oleneb selle ülekuumutustemperatuurist. Mida kõrgem on ülekuumutustemperatuur, seda homogeensem on sulam. Siit tuleneb praktiline järeldus, et homogeensema sulami saamiseks, olgu see siis malm või teras, ei piisa ainult metalli ülessulatamisest, vaid teda tuleb ka teatud määral kuumutada üle sulamistemperatuuri.

Malmis esineb süsinik grafiidi või tsementiidina (viimane kujutab endast raua ja süsiniku ühendit Fe_3C). Grafiit ja tsementiit on raskestisulavad ained. Järelikult toimub tsementiidi sulamine või grafiidi lahustumine vedelas malmis seda suuremal määral ja seda täielikumalt, mida rohkem sulamit üle kuumutada. Ka teras nõuab mõningat ülekuumutust, et lahustada temas leiduvaid raskestisulavaid rauakarbiide, mangaani, kroomi, volframit, vanaadiumi jt. Kuid nii malmis kui ka terases võivad jääda sulamata ja lahustu-

mata paljud raskestisulavad ained, näiteks kvartsliiv, savimuld, lämmastiku ja raua ühendid — nitriidid jms.

Mistahes sulami ülekuumutustemperatuur ei tohi kriitiliste punktide temperatuuri ületada rohkem kui 100—200° C. Mõningaid värvilisi sulameid — näiteks babiite, alumiiniumisulameid, pronksi — ei tohi liiga tugevasti üle kuumutada, et vältida raskestisulavate oksüüdide tekkimist, mis osaliselt lähevad üle räbusse, osaliselt jäävad metalli. Malm, vastupidiselt, annab seda kõrgema mehaanilise tugevuse, mida rohkem teda on üle kuumutatud.

METALSETE VEDELIKE FÜÜSIKALISED OMADUSED

Vaatleme nüüd metalsete vedelike mõningaid füüsikalisi omadusi.

Vedela süsinikterase e r i k a a l on 7,2—7,6 t/m³; kõrgeltlegeeritud terastel, mis sisaldavad kroomi, volframit, niklit, molübdeeni — 7,6—7,9 t/m³, malmil — 6,5—6,8 t/m³.

Värvilistest sulamitest on kõige kergemad magneesiumi alusega sulamid, millede erikaal on 1,8—1,9 t/m³.

Alumiiniumi alusega sulamid on veidi raskemad — 2,6—2,8 t/m³; titaanisulamite erikaal on ligikaudu 4,0—4,2 t/m³, tsingi alusega sulamitel — 6,4—6,8 t/m³, tina alusega sulamitel ca 7,0 t/m³, vase alusega sulamitel 8,0—8,5 t/m³. Kõige raskemad on plii alusega sulamid, nende erikaal on üle 11 t/m³.

S u l a m i t e e r i s o o j u s sõltub metalli molekulkaalust ja sulamistemperatuurist. Sulami faasilistel muundumistel, näiteks γ-raua muundumisel α-rauaks, muutub hüppeliselt ka erisoojus.

Malmi keskmine erisoojus c_k (kcal/kg° C) ja soojussisaldus Q_t (kcal/kg) sõltuvad temperatuuripiirkondadest, milles nad määrati:

Temperatuur ° C	0—200	0—800	0—1150	0—1350
c_k kcal/kg ° C	0,110	0,159	0,211	0,220
Q_t kcal/kg	22	125	245	300

Malmi koostisse kuuluvate f a a s i d e e r i s o o j u s on prof. N. G. Giršovitši andmetel: ferriidil — 0,115, tsementiidil — 0,15 ja grafiidil — 0,20 kcal/kg ° C.

Neelduva soojuse hulk L (kcal/kg) on α-raua muundumisel γ-rauaks 2,9—6,7, valgemalmi sulamisel 46—59 ja hallmalmi sulamisel 58—78 kcal/kg.

Mida enam neeldub soojust sulami üleminekul ühest olekust teise, seda suurem on erisoojus, seda rohkem soojust tuleb sulamile anda, et teda sulatada. Ülekuumendatud sulam annab valuvormi valamisel temas sisalduva soojuse ära aeglasemalt, järelikult täidab vormi paremini ning jäljendab selle piirjooni täpsemalt.

Valutööstuse seisukohalt on vedela metalli või sulami peamiseks tehnoloogiliseks omaduseks vedelvoolavus ehk sulami võime täita korralikult valuvormi ning anda reljeefse pinnaga valandeid. Metallide ja sulamite vedelvoolavusest sõltub valu kvaliteet ja praagi hulk valutsehhides. Sulamite mitteküllaldane vedelvoolavus põhjustab fassongvalandite ja valuplokkide pinna ebaühtlust, samuti nende saastumist oksüüdide ja räbuga.

Metallide ja sulamite vedelvoolavus sõltub sulami ja valuvormi omadustest, samuti ka vormi sulatisega täitmise tingimustest.

Vedelvoolavuse mõistet võib peale metallide ja nende sulamite laiendada ka teistele ainetele: veele, piiritustele ja muudele vedelikkudele, samuti vaikudele, vaatamata sellele, et nende ainete struktuur on teistsugune. Sulatatud metallid ja sulamid erinevad vaikudest ja teistest vedelikkudest omaduse poolest kiiresti kaotada soojusvaru kokkupuutumisel vormi külmade seintega.

Vedela kristalliseeruva sulami vool on oma füüsikaliselt olemuselt sarnane jõe vooluga tugeva pakase ajal, kui vees tekib arvutul hulgal jääkristalle. Akadeemik A. A. Botšvari määrangu kohaselt lakkab vedelik voolamast, kui temas moodustub ühtne tahke faasi skelett.

Saavutades tardumise algtemperatuuri, langeb vedela sulami liikuvus järsult, kuid ei lõpe täielikult, nagu ei lakka voolamast tugevasti saastunud vesi. Kuid teatud momendil võib vee saastumise aste saavutada piiri, mil vesi enam ei läbi väikese läbimõõduga torusid. Sama nähtus esineb ka terase või teiste sulamite tardumisel. Niipea kui tahkete kristallikeste hulk suureneb seevõrra, et nad hakkavad omavahel kokku puutuma, kaotab sulam voolavuse. See ei toimu mitte tardumise algul ega lõpul, vaid kusagil vahepeal.

Liikuva ja kirtalliseeruva sulami olekut momendil, kui ta lakkab voolamast, nimetatakse null-vedelvoolavuseks.

Vedela sulami sisenemisel vormi toimub intensiivne soojusvahetus ümbritseva keskkonnaga. Metallijuga on keemiliselt väga aktiivne. Metall mitte üksnes ei kaota kiiresti soojust, vaid ka põleb, tekitades oksüüde. Joa pinnal (aga ka kopa pinnal ja vormis vedela metalli pinnal) tekivad lisaks tahketele kristalliitidele oksüüdikiled. Kristalliidid ja kiled halvendavad vedela metalli voolavust. Null-vedelvoolavus võib saabuda eriti ruttu juhul, kui metalli temperatuur ei ole küllaldane (väikese ülekuumutuse korral) või kui kanalid, mida mööda metall voolab, on liiga kitsad ja nende seinad liiga külmad.

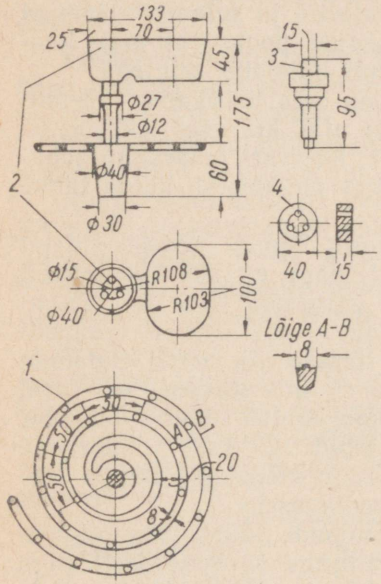
Metalli voolamisel vormis esinevate nähtuste keerukus sundis vedelvoolavuse määramiseks kasutusele võtma mitmesuguseid meetodeid. Vedelvoolavuse määramine nendel meetoditel ei ole tulemuste poolest küll eriti täpne, kuid annab siiski ettekujutuse üksikute sulamite (malm, teras, pronksid, kerged sulamid) vedelvoolavuse muutumisest tehnoloogiliste tegurite muutumisel.

Otstarbekam on sulami mingi spetsiifilise omaduse muutumise laadi, mis võib mõjutada valamist, uurida koostise funktsioonina sulami olekudiagrammi abil.

Vedelvoolavuse määramise viisid

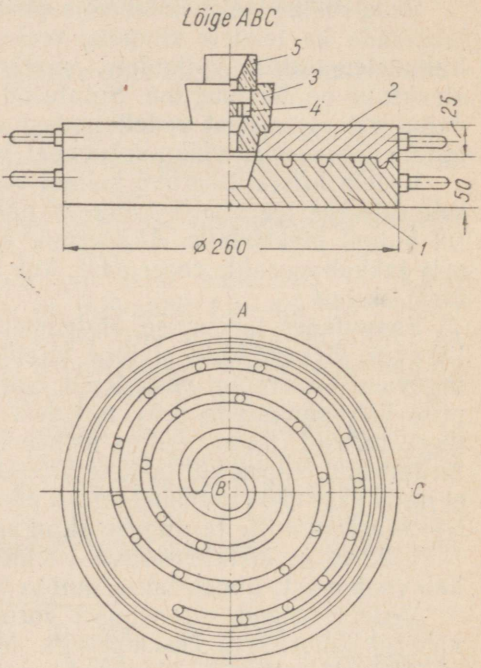
Sulamite ja metallide vedelvoolavust määratakse tehnoloogilise proovi abil.

Kõige levinenum vedelvoolavuse määramise viis on sulami valamine spiraalvormi (joon. 1).



Joon. 1. Spiraalproov vedelvoolavuse määramiseks valamisel muldvormidesse:

1 — spiraal; *2* — valukauss; 3 — püstkanali mudel; *4* — filter-räbupüüdja.



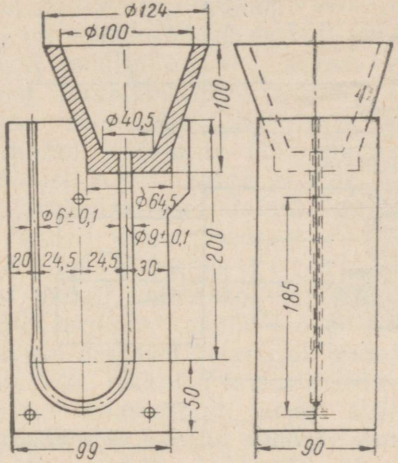
Joon. 2. Spiraalproov malmi vedelvoolavuse määramiseks valamisel metallvormidesse:

1 — alumine vormipool; *2* — ülemine vormipool; *3* — tsentrikärn; *4* — valukurn; *5* — valulehter.

Enne valamist pannakse proovi vormi mõlemad pooled kokku, asetatakse valukausi süvendisse räbu püüdmiseks valukurn ja valatakse metall kopast vormi. Kui proov on tardunud, võetakse vorm lahti ja mõõdetakse spiraali pikkus. Spiraali pikkus millimeetrites on vedelvoolavuse mõõduks. Pikkuse arvutamise kiirendamiseks tehakse spiraali mudelile iga 50 mm järel väikesed ümmargused nukid.

Vedelvoolavus on seda suurem, mida pikem tuleb spiraal. Et saada võrreldavaid andmeid, tuleb kinni pidada spiraali ristlõike, püstkanali kõrguse ja ristlõike, valukurna aukude arvu ja suuruse standardsetest mõõdetest. Samuti peab vorm proovi valamisel asetsema horisontaalselt, valukopp aga ulatuma valukausi servale.

Olenevalt vormide valmistamise ja täitmise viisist valatakse spiraalid vedelvoolavuse määramiseks kas märgades või kuivades vormides. N. P. Dubinin töötas vedelvoolavuse määramiseks välja metallvormi konstruktsiooni (joon. 2).



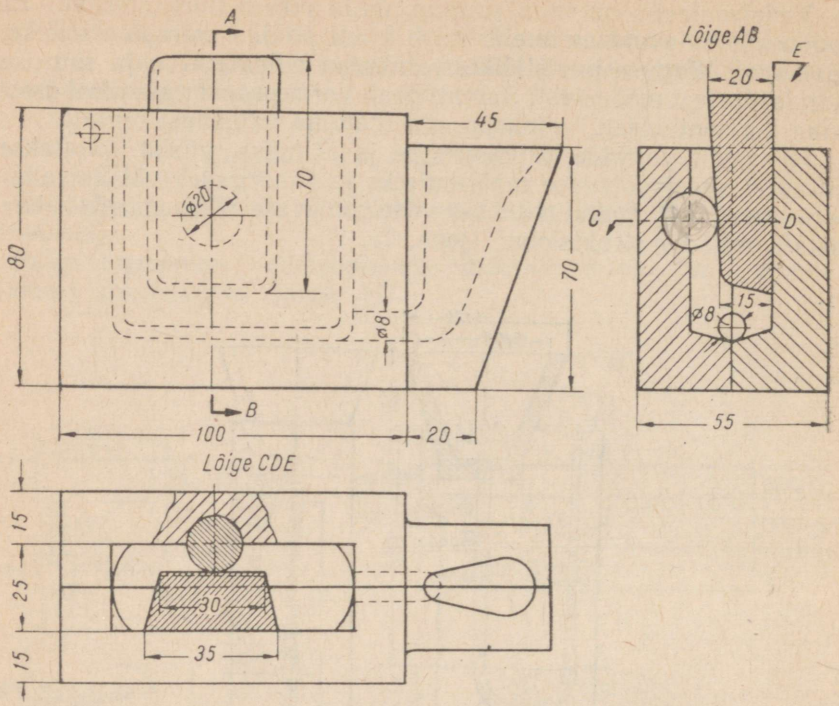
Joon. 3. J. A. Nehendzi ja A. M. Samarini U-kujuline sifoonproov terase vedelvoolavuse määramiseks.

Tähelepanuväärne on ka A. M. Samarini ja J. A. Nehendzi poolt esitatud meetod terase vedelvoolavuse määramiseks valamisega U-kujulisse metallvormi (joon. 3).

J. A. Nehendzi ja A. M. Samarin loevad, et tahke faas sulamis lakkab voolamast kristallisatsiooni-intervallis null-vedelvoolavuse temperatuuril. B. B. Guljajevi arvamuse järgi katkeb metalli voolamine momendil, kui voolu otspinnal tekib tahke koorik, mille tugevus on küllaldane vastupidamiseks hüdrostaatilisele survele.

A. G. Spasski töötas värviliste sulamite vedelvoolavuse määramiseks välja keraproovi (joon. 4). Selle prooviga määratav vedelvoolavus on seda suurem, mida väiksem on ava kera all, ja vastupidi. Keraproovi kasutatakse pronksi, alumiiniumi- ja magneesiumisulamite vedelvoolavuse määramisel.

Vedelvoolavuse sõltuvus mitmesugustest tingimustest on määratud valemiga, mille töötas välja prantsuse akadeemik Albert Porteveneau:



Joon. 4. Keraproov värviliste sulamite vedelvoolavuse määramiseks.

$$\Omega = m \cdot f \frac{t_v - t_{nv}}{t_v - t_f} \text{ mm}, \qquad (1)$$

kus Ω on vedelvoolavus mm;

m — koefitsient, mis näitab vedelvoolavuse sõltuvust vedela metalli omadustest;

f — koefitsient, mis näitab vedelvoolavuse sõltuvust vormi pinna seisukorrast;

t_v — sulami vormi valamise temperatuur;

t_{nv} — null-vedelvoolavuse temperatuur;

t_f — vormi temperatuur valamise algmomendil.

Akadeemik A. A. Botšvar leiab, et metallide ja sulamite omadus vormi täita (vedelvoolavus) väheneb ja kaob kristalse faasi ühtse skeleti tekkimise tagajärjel.

Kuna erineva koostisega sulamite kristalliseerumisprotsessid on erinevad, oleneb sulamite vedelvoolavus nende asukohast olekudiagrammil.

Kõige parem vedelvoolavus on muude tingimuste (sulami ülekuumutus ja vormi eelsoojendus) võrdsuse korral eutektilistel sula-

mitel. Hea vedelvoolavuse poolest on laialt tuntud valgevask ja fosformalm, mida kasutatakse kunstiliste ja arhitektuursete toodete valamiseks. Malmi vedelvoolavus on suurem kui terasel; sellega seletub, et praktikas kasutatakse malmi keerulise kuju ning õhukeseseinaliste valandite tootmisel laialdasemalt kui terast.

Vedelvoolavuse sõltuvus mitmesugustest teguritest

Modifitseerimine, s. o. sulamite töötlemine enne vormi valamist spetsiaalsete lisanditega, muudab vedelvoolavust tunduval määral. Nii näiteks on eeleutektilisel malmil pärast räni või teiste lisandite-taandajatega modifitseerimist parem vedelvoolavus kui enne modifitseerimist, järeleutektilisel malmil aga halvem, sest süsiniku lahustuvuse vähenemise tõttu rauas eralduvad grafiidiosakesed. Pärast malmi lühiajalist läbipuhumist hapnikuga või pärast malmi töötlemist kopas tagiga eeleutektilise malmi vedelvoolavus halveneb, järeleutektilisel malmil aga paraneb (kui valamistingimused on rangelt ühesugused).[1]

Metalli liikumise laad vormis mõjutab samuti vedelvoolavust. Kui metall valatakse vormi kiiresti, siis ei jõua ta valukanalite seintel tarduda, kanalid jäävad puhtaks ning vedelvoolavus on suurem kui aeglasel valamisel. Viimasel juhul kristalliseerub vedelik juba joas, tekkivad kristalliidid moodustavad torukujulise kooriku, mille vabaristlõige järjest aheneb, ning metalli vedelvoolavus langeb kiiresti.

Vedelvoolavus sõltub valuvormi materjali soojusjuhtivusest. Metallvormid juhivad soojust ära seda rohkem, mida paremini märgab vedel metall vormi seinu. Koefitsient f võrrandis (1) arvestabki vormi soojusjuhtivust, märguvust ja kanalite pinna ebatasasust, mida mööda liigub vedel metall. Metallvormi valamisel on sulami vedelvoolavus väiksem kui muldvormi valamisel, märga muldvormi valamisel aga väiksem kui kuiva muldvormi valamisel jne.

Liige $t_v - t_{nv}$ võrrandis (1) väljendab metalli ülekuumutuse astet ehk valatava metalli faktilise ja null-vedelvoolavuse temperatuuri vahet. Massiivset paksuseinalist valu (vasarate šabotid, ramminuiad, vundamendiplaadid, valtspinkide kered jms.) võib saada ka vähe ülekuumutatud sulamitest. Õhukeseseinalist valu tavaliselt ilma metalli tugeva ülekuumutuseta (100—150° C üle likvidustemperatuuri) saada ei õnnestu, kuna madalatemperatuuriline metall ei täida vormi, põhjustades praaki vajakvalu tagajärjel. Halvasti ülekuumutatud metall peatub vormis kiiresti, ei välju tõusupeadesse, tardub kopa seintel ja moodustab seal purikaid. Töölised ütlevad selle kohta, et taoline metall «ei lähe» vormi.

---

[1] Autori katsetused Teraseinstituudis.

Sulami vedelvoolavus oleneb vormi temperatuurist, millesse sulatatud metall valatakse. Vahe $t_v - t_f$ võrrandi (1) nimetajas näitab vormi eelsoojenduse astet. Kui see vahe muutub nulliks, kasvab vedelvoolavus lõpmatult suureks, kuna liikudes sellises vormis ei kaota metall soojust ega saavuta kunagi null-vedelvoolavuse temperatuuri. Märgadesse vormidesse valamiseks ette nähtud metalli vedelvoolavus peab olema suurem kuivadesse vormidesse valatava metalli vedelvoolavusest.

Metalli vedelvoolavuse hindamisel on suur praktiline tähtsus. Teades õigeaegselt, et sulametalli vedelvoolavus ei ole küllaldane, püüab valumeister võimaluse korral metalli kvaliteeti ja valuomadusi enne ahjust väljalaskmist parandada.

Vedelvoolavuse proov võimaldab metalli vajalikke tehnoloogilisi omadusi määrata täpsemalt, kui metalli temperatuuri mõõtmine termopaari või püromeetriga.

Liiga kõrge ülekuumutus tingib kütuse, elektrienergia ning tööaja kulutuste suurenemist.

Optimaalne vedelvoolavus ühe või teise seinapaksusega valandi saamiseks määratakse igal konkreetsel juhul katseliselt.

Metalli vedelvoolavus sõltub viskoossusest, pindpinevusest ja mõningal määral metallijoa (alumiiniumvalu) või kopas oleva sulami pinnal tekkivate oksüüdikilede tugevusest. Kuid otsest seost viskoossuse ja vedelvoolavuse vahel siiski konstateerida ei saa.

Alumiiniumi 13%-lisel ränisulamil — silumiinil, on 750° C juures sama viskoossus mis veel 20° C juures, kuid silumiini vedelvoolavus on väiksem. 4% C ja 0,5% Si sisaldava malmi viskoossus võrdub elavhõbeda viskoossusega toatemperatuuril, kuid nende vedelvoolavused on erinevad. Seda põhjustab vedela metalli ja vormi temperatuuride vahe, mistõttu vorm võtab ülekuumutatud metalli soojusliia kiiresti ära. Niipea kui tekivad mittelahustuvad oksüüdikiled ja seejärel tahked kristalliidid, muutub metalne vedelik füüsikaliselt mittehomogeenseks, mistõttu vormi täitumist vedela metalliga viskoossuse põhjal hinnata ei saa. Seepärast vedelate metallide viskoossust valutsehhi tingimustes ei määratagi.

Pindpinevuseks ehk vedeliku pinnaenergiaks nimetatakse erijõudu, mida mõõdetakse düün/cm või erg/cm^2. See erijõud tekib tasakaalu puudumisest vedeliku pinnal ja vedeliku sees asuvate molekulide vahel.

Enamik tehnikas kasutatavaid vedelikke kujutab endast metalli põhikomponentide ja lisandite keerulisi lahuseid. Tasakaal lahustunud lisandite ja lahustaja vahel põhjustab väga mitmesuguste jõudude tekkimist, olenevalt iga aine energianivoost. Mõned lisandite molekulid tõugatakse teatud tingimustel naabermolekulide poolt vedeliku pinnale. Vedeliku molekulaarne väliskiht sisaldab seda rohkem lisandi molekule, mida suurem on lisandi kontsent-

ratsioon ja mida rohkem erineb lisandi energianivoo lahuse teiste koostisainete energianivoodest.

Sellega seletubki igasuguse vedela sulami pinnaenergia muutumine sulami keemilise koostise muutumisel.

3,1% C ja 1,2% Si sisaldaval eeleutektilisel malmil on pinnaenergia $\sigma \approx 1000$ ergi/cm², järeleutektilisel malmil aga $\sigma \approx 2000$ ergi/cm². Puhtal raual $\sigma \approx 970$ ergi/cm².

V. J. Vassiljevi andmetel muutub pinnaenergia lisandite sisalduse suurendamisel järgmistes piirides:

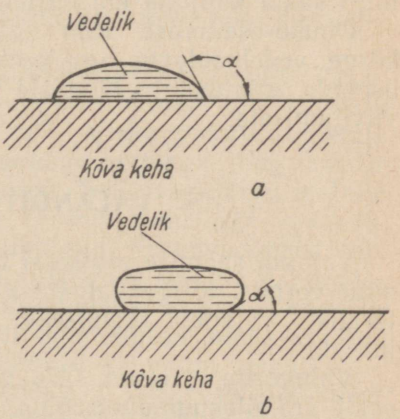
Lisandi sisalduse muutus 0,1%	Pinnaenergia muutumine $\Delta\sigma$ ergi/cm²
Si	+240
Ti	+154
Mn	+ 39
C	− 43
V	− 65
S	−122

Mida suurem on pinnaenergia, seda suurem on vedeliku vedelvoolavus. Valajatele on hästi teada väävli kahjulik ja räni väga kasulik mõju. Tõepoolest, mida rohkem väävlit on malmis, seda väiksem on ta vedelvoolavus. Esineb juhuseid, kus ülekuumutatud, kuid väävliga küllastatud metall muutub paksuks ning õhukeseseinaliste valandite jaoks mittekõlblikuks. Seepärast nimetataksegi väävlit valutootmise «vaenlaseks».

Iga vedelik püüab võtta võimalikult väikese potentsiaalse energiaga seisundit. Vedelik, mis isoleeritult võtab minimaalse pindalaga sfäärilise tilga kuju, võib nõu seinu, milles ta asub, kas märjata või mitte märjata.

Vedel metall, mille pinnal puudub oksüüdikile, muldvormi seinu ei märga. Vormi seinu märgava metalli tilk moodustab pinnaga nürinurga (joon. 5, *a*), mittemärgava vedeliku tilk aga teravnurga α (joon. 5, *b*), mida nimetatakse märgamisnurgaks. Märgavus näitab, et sulatise ja vormi pinna materjali vahel esineb keemiline sugulus.

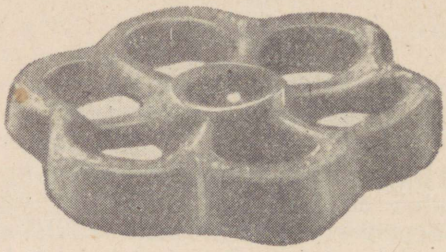
Teras oksüdeerub õhuga kokkupuutumisel kiiresti, mistõttu vedeliku pinnal tekib rauа- või mangaanioksüüdi kile. Viimane lahustub metallis ning on keemilises suguluses vormisegus leiduva ränidioksüüdiga. See ongi põhjus, miks teras märgab vormi



Joon. 5. Vedelikutilga kuju kõval pinnal:
a — märgav vedelik; *b* — mittemärgav vedelik.

seinu, tungib koos oksüüdidega mõnevõrra vormi seina teradevahelistesse kapillaaridesse ja tekitab külgepõlemisi.

Mitteküllaldane vedelvoolavus põhjustab valupraaki vajakvalu näol, mille tagajärjel valand ei jäljenda vormi kõiki kontuure. Sellist valandit parandada pole võimalik (joon. 6). Halva vedelvoolavusega püdelast metallist ei pääse gaasid välja ning valandis tekib hulgaliselt tühimikke, mis alandavad valatud metalli mehaanilist tugevust. Lisaks sellele ei saa räbulisandid, oksüüdikiled ja liivaterad tõusta pinnale ning valandis tekivad räbu- ja liivapesad ning hulgaliselt kristallidevahelisi oksüüdikilesid.



Joon. 6. Käsiratta valand. Valu on jäänud puudulikuks metalli halva vedelvoolavuse tagajärjel.

Vajakvalust põhjustatud praagi vältimiseks on valatava metalli teatud ülekuumutamine kohustuslik.

Metalli ülemäärane vedelvoolavus on gaasitühimike, külgepõlemise jne. tagajärjel tekkiva praagi võimaluse tõttu sama kahjulik kui mitteküllaldane vedelvoolavuski.

Õhukeseseinalise valu saamiseks peab ülekuumutus olema kõrge, vedelvoolavus aga veel kõrgem. Vormid tuleb valamiseks asetada sulatusahju lähedale ning järgemööda täita ilma liigse viivitamiseta.

VALANDITE TARDUMINE

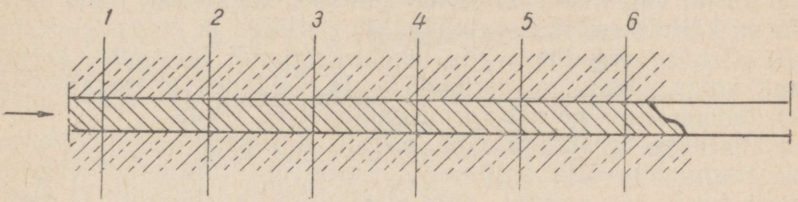
Valandi saamise protsessi tähtsaimaks osaks on metalli tardumine vormis. Kõrgekvaliteetse, s. o. tiheda, homogeense ja peeneteralise valandi saamiseks peab oskama metalli tardumist juhtida.

Valuvormi valatud sula metalli jahtumisel juhitakse kõigepealt ära ülekuumutussoojus, seejärel, likvidustemperatuuri saabumisel, aga tardumissoojus.

Metalse vedeliku tardumisele kaasneb kristallisatsioon, mida nimetatakse primaarseks, erinevalt sekundaarsest kristallisatsioonist, mis esineb γ-raua allotroopsel muundumisel α-rauaks.

A. J. Veinik[1] jagab valandi tardumisprotsessi neljaks perioodiks: vormi täitmine, ülekuumutussoojuse eemaldumine, tardumine ja jahtumine pärast valandi tardumist. Kõik neli jahtumisperioodi kulgevad erinevates tingimustes.

Jahtumise esimene staadium algab kohe pärast vormi valamist, mil vedel metall, täites ümbritseva õhu temperatuuri omava valuvormi ja valukanalid, annab ülekuumutussoojuse vormi külmadele seintele. Soojusülekande kiirus sõltub metalli esialgsest erisoojusest ja vormi seinte materjalist, s. o. metalli ja vormi algtemperatuurist ning soojusjuhtivusest, valamise kiirusest ja



Joon. 7. Lameda plaadi vormi täitumine metalliga vasakult paremale.

metalli liikumise laadist. Vedela metalli jahtumise esimene staadium (metalli ülekuumutussoojuse vähenemine) läheb kristallisatsiooni algtemperatuuri saabumisel üle teiseks staadiumiks (primaarne kristallisatsioon).

Metallivoolus ja vormi seintes toimuvate protsesside mõistmiseks vaatleme soojusülekannet metallilt vormile pika tasapinnalise plaadi valamisel (joon. 7).

Kulgegu horisontaalse õhukese plaadi vormi täitumine vasakult paremale. Vaatleme soojusülekannet valandi kolmes ristlõikes *1*, *2* ja *3*. Vasakult sisenev vedel ülekuumutatud metall puutub ristlõikes *1* kokku vormi külmade seintega ning annab viimastele ära osa ülekuumutussoojusest. Selle tagajärjel metalli temperatuur langeb, seinte oma aga tõuseb. Kuna aga vasakult sisenevad vormi järjest uued metallihulgad, hakkavad need esimest, veidi juba jahtuda jõudnud metallikogust suruma paremale. Seejuures jätkub vooluse esiosas soojuse ülekanne vormi seintele ning jõudes ristlõikesse *2* on metalli temperatuur madalam kui ristlõike *1* läbimisel. Järelikult soojenevad ka vormi seinad ristlõikes *2* mõnevõrra vähem kui ristlõikes *1*. Edasisel liikumisel paremale jahtub metall veelgi ning ristlõike *3* läbimisel on selle temperatuur madalam kui ristlõikes *2* ja tunduvalt madalam kui ristlõikes *1*. Et aga valamise lõppmomendil läbib ristlõikeid *1* ja *2*

[1] А. И. Вейник. Тепловые основы теории литья. Машгиз, 1953.

veelgi enam ülekuumutatud metall, siis kuumenevad vormi seinad selles piirkonnas veelgi.

Valamise lõpul, kui metall on vormi täitnud juba täielikult, on temperatuuri jaotus vormi seintes ristlõigete *1*, *2* ja *3* juures erinev. Ristlõikes *1* saavad seinad soojust rohkem kui seinad ristlõigetes *2* ja *3*. Vormi ja valandi temperatuur on seepärast ebaühtlane. Vormi ots, kust metall sisenes, kuumeneb rohkem, vormi ots ristlõike *3* juures aga vähem. Analoogiline on temperatuuri jaotus ka valandis endas. Järelikult on valandi vasakpoolne osa kuumem kui parempoolne.

Metalli, vormi ja ümbritseva õhu intensiivse soojusvahetuse korral võib soojuse eemaldumine ülekuumutatud sulamist toimuda aeglasel valamisel nii kiiresti, et metall ei jõua täita vormi kõiki õõnsusi ning tekib vajakvalu. Kuna metalli temperatuuri langemine vormi valamise ajal sõltub sellistest teguritest, mida arvestada on küllaltki raske (valukanalite ristlõige ja kuju, nende pikkus, valamise aeg jne.), siis tehakse valandi tardumise arvutus ainult kolme ülejäänud perioodi kohta, eeldades, et metalli keskmine temperatuur pärast vormi valamist on teada.

Küllaldase täpsusega võib metalli algtemperatuuriks vormis enne tardumist võtta optilise püromeetriga mõõdetud valamistemperatuuri (arvestades parandustegurit kiirgusele) ja tardumise algtemperatuuri keskmise.

A. I. Veinik annab kolme ülejäänud perioodi kestuse määramiseks järgmised valemid:

a) ülekuumutussoojuse ärajuhtimine

$$\sqrt{\tau_1} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{V}{F} \cdot \frac{\gamma_a \cdot c_a}{b_o} \cdot \ln \frac{t_a}{t_{kr}} \text{ tundi}^{0.5};$$

b) ülekuumutussoojuse ning tardumis- ja kristalliseerumissoojuse ärajuhtimine

$$\sqrt{\tau_2} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{V}{F} \cdot \frac{\gamma_1 \cdot q_{kr}}{b_o \cdot t_{kr}} + \sqrt{\tau_1} \text{ tundi}^{0.5};$$

c) valandi tardumise ja jahtumise kestus

$$\sqrt{\tau_3} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{V}{F} \cdot \frac{\gamma_t \cdot c_t}{b_o} \cdot \ln \frac{t_{kr}}{t_t} + \sqrt{\tau_2} \text{ tundi}^{0.5}.$$

Siin τ_1 on ülekuumutussoojuse ärajuhtimise kestus tundides;
τ_2 — tardumis- ja kristalliseerumisprotsessi kestus (võttes arvesse ülekuumutussoojuse ärajuhtimist) tundides;
τ_3 — valandi tardumise ja temperatuurini t_1 jahtumise kestus tundides;
V — valandi maht m³;
F — valandi vormiga kokkupuutuv pindala m²;
$\gamma_a, \gamma_1, \gamma_t$ — vedela, tarduva ja tahke metalli erikaalud kg/m³;

c_a, c_t — vedela ja tahke metalli keskmised erisoojused kcal/kg° C;
q_{kr} — tardumis- ja kristallisatsioonisoojus kcal/kg;
t_{kr} — tardumis- ja kristallisatsioonitemperatuur ° C;
t_a — vedela metalli algtemperatuur pärast tema valamist vormi ° C;
t_t — tahke valandi lõpptemperatuur ° C;
(Kõik temperatuurid t_v, t_{kr}, t_a, t_t arvutatakse vormi algtemperatuurist $t_{v,a}$):

$b_0 = \sqrt{\lambda_0 c_0 \gamma_0}$ kcal/m² · h^{0,5} · ° C — vormi seinte akumulatsioonitegur ehk «soojusinertsitegur», kus:
λ_0 on soojusjuhtivus kcal/mh° C;
c_0 — erisoojus kcal/kg° C;
γ_0 — vormimaterjali mahukaal kg/m³.

Vedela metalli jahtumise teine staadium — kristalliseerumine — algab, kui sulatise temperatuur valandi mahus saavutab antud sulami likvidustemperatuuri. Siis hakkavad sulametalli aatomid asetuma korrapäraselt ja moodustama kristallvõret. Väikest hulka korrapärase suhtelise asetusega aatomeid, mille ümber toimub kristalli kasvamine, nimetatakse kristallisatsioonitsentriks.

Aatomite liikumine kristallisatsioonitsentri juurde, nende pöördumine oma telje ümber ja ühinemine varemgrupeerunud aatomitega nõuab mehaanilist tööd, millega kaasneb soojuse eraldumine [1]. Mida kiiremini eralduv soojus neeldub ümbritsevas keskkonnas, seda kiiremini kasvab kristallisatsioonitsenter ja muutub tahke aine kristalliks. Kristallisatsioonitsentrid on oma tekkimise alguses kuubikeste või rööptahukate taolised ja kiirgavad soojust oma tahkude servadelt. Iga soojust kiirgav kuubike tõmbab enda ligidusse uusi aatomeid ning seda peamiselt küljest, kuhu on suunatud soojusvoog. Kui kuubiku ümbrus on tugevasti kuumutatud, siis kristallisatsioonisoojuse ärajuhtimine, ühes sellega aga ka kuubikese kasvamine aeglustub.

Momendil, mil soojusülekanne kuubikeselt katkeb, lõpeb ka kristalli kasvamine. Kui nüüd saabub olukord, et soojus hakkab kuubikesse saabuma väljastpoolt, siis hakkavad aatomid kuubikese pinnalt eemalduma ümbritsevasse ruumi. Kuubike hakkab lahustuma, jõudmata kasvada kristalliks.

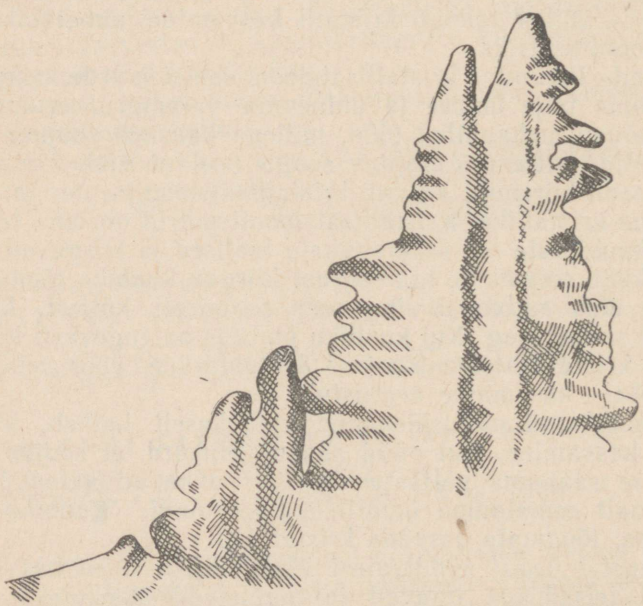
Arvutust hulgast sündivatest kuubikestest ühed kasvavad ja arenevad, teised aga sulavad ja lagunevad üksikuteks aatomiteks. Külmas, ainult veidi üle likvidustemperatuuri kuumutatud metallisulatises algab jahtumise teine staadium (kristallisatsioonitsentrite moodustumine) ruumalades, mis mingil põhjusel on jõudnud kaotada kogu ülekuumutussoojuse. Sellisteks ruumaladeks on vedela metalli osakesed, mis asuvad valamisel metalli-

[1] Bulgaaria metallurgide Stranski ja Kaiševi töödest.

joa või vormi valukanalites liikuva metallivoo pinnal. Kui voog liigub aeglaselt, näiteks ümmarguse ristlõikega kanalis, kasvavad tahke metalli kuubikesed kiiresti, tekivad kristallid, mis moodustavad pinnal null-vedelvoolavusega tahke skeleti. Liikumise lõpul on voog sarnane pudrutaolise vedelikuga, mis hakkab kaotama oma voolavust ja pärast selle tagajärjel täiesti peatub. Et vormi kogu õõnsus koos valu- ja tõusupeadega täituks täielikult ja täpselt metalliga, peab viimasel olema selline soojusvaru, millest jätkuks metalli vedelana hoidmiseks kuni valamise lõpuni.

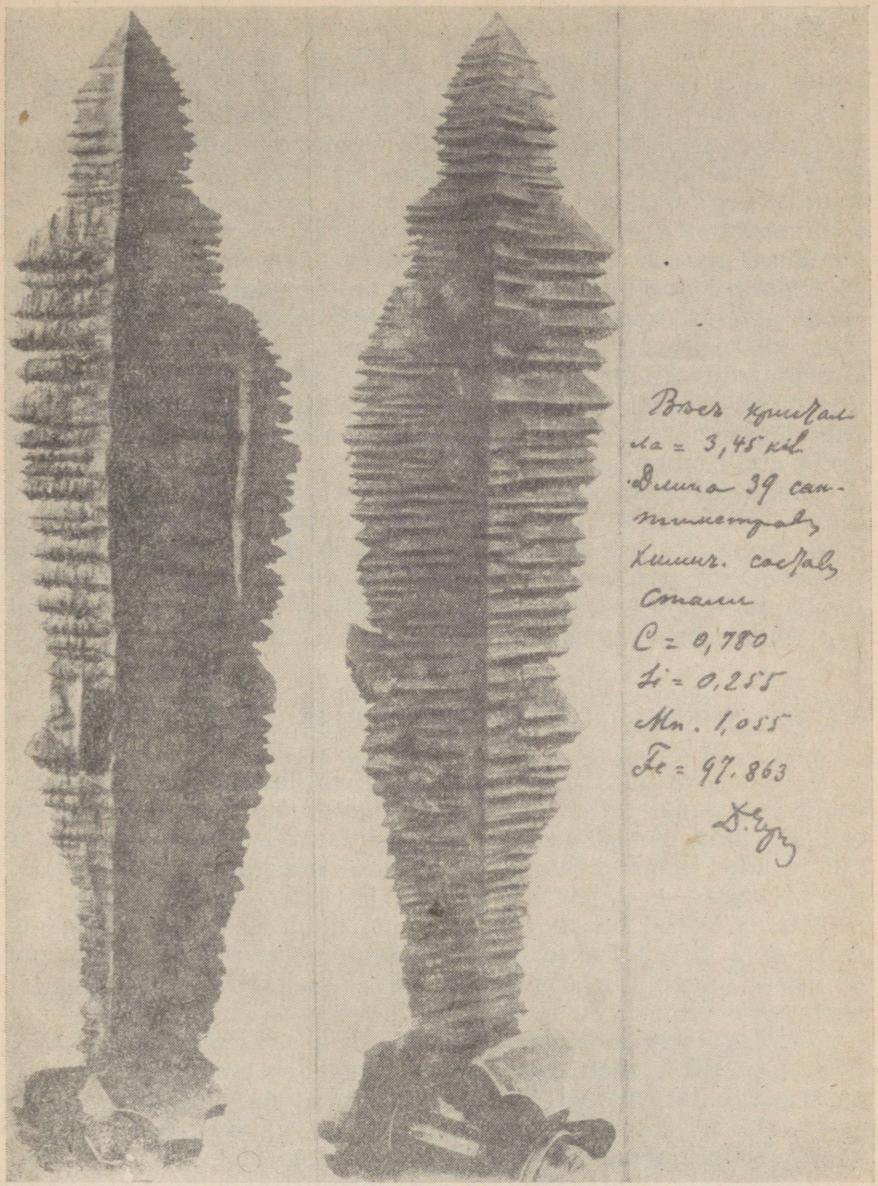
KRISTALLIDE TEKKIMINE

Terase kristalliseerumisel kasvavad tekkinud kristallisatsioonitsentrite kuubikesed kristallideks tahkude servi mööda. Servad pikenevad ja muutuvad harudeks (joon. 8), meenutades puuoksi (kreeka k. dendros), mille pikkus on suurem laiusest. Esialgselt tekkinud kuubike kaotab oma kuju ja muutub puutaoliseks kristalliks, mida nimetatakse dendriidiks.



Joon. 8. Puukujuline rauakristall — dendriit.

Üks selline ligi 300 mm pikkune kristall (joon. 9) leiti suure terasvalandi kahanemistühimikust (pärast valandi purustamist vasara all) D. K. Tšernovi ühe õpilase poolt, kes selle kinkis oma õpetajale.



Joon. 9. D. K. Tšernovi kristall.

Tšernov kirjeldas terase kristalliseerumise üksikasjalist käiku esimesena ja nimetatud kristall läks metallurgia ajalukku «Tšernovi kristalli» nime all.

Kristallisatsioonitsentrite muutumine dendriitideks on võimalik, kui nende harude kasvamine ümbritsevas vedelikus ei ole takistatud. Kui aga korraga tekib suur hulk kristallisatsioonitsentreid, mis kasvades hakkavad peatselt kokku puutuma oma naabritega, siis dendriidid tekkida ei saa. Puhtad metallid (raud, vask, tsink) moodustavad kristalliseerumisel kuuetahulisi terakesi. Raua-alusega sulamid, nagu süsinik- ja legeeritud teras, mille tardumisintervall on suur, annavad kristalliseerumisel dendriitse, mõnikord aga ka sambataolise struktuuri.

Olenemata sellest, kas kristallid on kuuetahulise või dendriitse kujuga, meenutavad kristalliidid terakesi, mis metallitüki murdepinnal on hästi nähtavad. Murdepind võib olla jämeda- või peeneteraline. «Tera» suurus sõltub kristalliseerumise tingimustest. Kui kristalliseerumine toimub kiiresti, tekib suur hulk terakesi ja murd on peeneteraline. Aeglaselt kristalliseerunud metalli murd on jämedateraline.

Seega sõltub murde teralisus kahest põhilisest tegurist: ajaühiku jooksul tekkivate kristallisatsioonitsentrite arvust ja nende kasvamise kiirusest. Kui üheaegselt tekib suurel hulgal kristallisatsioonitsentreid ja need kasvavad kiiresti, muutub metall peeneteraliseks. Kui kristallisatsioonitsentreid on vähe ja nad kasvavad aeglaselt, saame jämedateralise metalli.

METALLI STRUKTUURI MÕJU TEMA MEHAANILISTELE OMADUSTELE

Metallesemete mehaanilised omadused olenevad metalli struktuurist. Jämedateraline struktuur on praktikas paljudel juhtudel mittesoovitav, kuna suurte kristallide vahel võivad tekkida tühimikud, kiled ja muud ebaühtlused, mis järsult halvendavad mehaanilisi omadusi — tugevust ja sitkust. Peeneteralise ja homogeense struktuuri korral on tugevus suurem, kuid plastilisus ja sitkus väiksemad. Siit tuleb teha üldine järeldus, et muude tingimuste võrdsuse juures tuleb püüda saada võimalikult peenemateralist struktuuri.

Valatavate sulamite (teras, malm, pronks jt.) primaarsete kristallide suurus oleneb esmajärjekorras vedela sulami koostisest, ehitusest, valatava metalli temperatuurist, vormi täitmise kiirusest, valandi jahtumise kiirusest ja lõpuks valukanalite süsteemi konstruktsioonist ning valandi konfiguratsioonist.

Kõiki ülaltoodud faktoreid on tootmistingimustes võimalik juhtida ja seda tuleb teha.

Muude tingimuste võrdsuse juures tekib õhukeseseinalistes valandites peenem tera kui paksuseinalistes valandites. Sifoonvalu korral saadakse peenemateralisem valand kui suure kiirusega ülalt valamisel, jugakanalite kasutamisel saadakse peenemateralisemad valandid kui ilma nendeta.

Peenema tera saamiseks pannakse vormid valamise ajal vib-

reerima, või segatakse metalli ennast vormile suunatava elektromagnetilise välja abil.

Peale nende kasutatakse ka teisi meetodeid.

SUUNATUD TARDUMISE MÕJU METALLI STRUKTUURILE

Enamiku valandite korral oleneb vajaliku struktuuri saamine kristallisatsiooni suunamise täpsusest. Kui meil on muutliku ristlõikega ja valupeaga valand, siis on tiheda ehituse saamiseks vaja luua sellised tardumistingimused, et esmajärjekorras tarduks valupeast kõige kaugemal asuv osa, seejärel järk-järgult valupeale lähemal asuvad osad ja alles kõige viimasena valupea. Taolisel juhul tekib kogu kahanemistühimik valupeasse ning sellist tardumist nimetatakse *suunatud tardumiseks*. Öeldu selgitamiseks vaatleme veel kord varemkäsitletud näidet pika tasapinnalise plaadi valamisest (joon. 7). Kuumenenud vormi ning metalli suure soojusvaru tõttu plaadi vasakpoolses otsas jahtub see aeglasemalt kui plaadi parempoolne ots. Seetõttu hakkab kristalliseerumine peale plaadi parempoolsest otsast ning kandub edasi vasakule. Tulemuseks on, et plaadi parempoolne ots kristalliseerub märgatavalt varem kui ülekuumutatud vasakpoolne ots.

Et kristallisatsiooni suunatust tõsta, tuleb valandi külmema otsa kristalliseerumise algust kiirendada või ülekuumutatud piirkonna kristalliseerumist aeglustada. Praktikas kasutatakse sageli valandi peaosa kunstlikku kuumutamist kaarleegi või autogeenpõleti abil, valupeasse asetatavaid spetsiaalseid kärne, mis kutsuvad esile eksotermilise reaktsiooni (vt. lk. 55), suurema soojusjuhtivusega segusid, jahutajaid jne.

Valandite tardumisprotsessi juhtimine jahutajate abil

Üheks praktikas laialdaselt kasutatavaks valandite tardumise juhtimise meetodiks on väliste ja sisemiste jahutajate kasutamine.

Väliste ja sisemiste jahutajate kasutamise põhimõte on erinev. Väliste jahutajate juures seisab see selles, et vormi sein tehakse kohas, kus on nõutav valandi kiirem tardumine, kahest erinevast materjalist. Sisekiht on suurema soojusjuhtivusega ja kõrgema akumulatsiooniteguriga materjalist kui väline, mis valmistatakse tavalisest liiva-savi segust.

Sisemiste jahutajate kasutamisel saavutatakse valandi ühe või teise osa tardumise kiirenemine vormi viidava mõningase hulga tahke metalliga, mille soojendamiseks ja osaliseks või täielikuks sulatamiseks kulub osa vedela metalli soojust. Selle tulemusena kiireneb jahutajaga varustatud valandiosa tardumine ning viimane saab vedela metalliga toituda läbi teiste, peenemate osade.

Selle meetodiga kõrvaldatakse põhjused, mis tingivad tühimike ja poorsuse tekkimist valandis.

Valatud materjali struktuur, järelikult aga ka valandi omadused sõltuvad peamiselt primaarse kristallisatsiooni tingimustest, mis nagu teada, määratakse sulami koostisega, sulatise olukorraga kristallisatsioonieelsel perioodil, sulamis leiduvate lisanditega ja sulatise jahtumistingimustega. Mittelahustuvate lisandite osa on praktikas väga suur. Reaalsetes metalsetes süsteemides leidub selliseid lisandeid alati ning veelgi enam, parema struktuuri saamiseks viiakse neid tihti sulamisse spetsiaalselt (modifitseerimine), mis aktiivselt mõjutavad kristallide tekkimist ja kasvamist, järelikult kogu kristallisatsiooniprotsessi ja valustruktuuri kujunemist.

Käesolevaks ajaks on ülalloetletud faktorite mõju kristallide tekkimis- ja kasvamisprotsessile, samuti ka sulamite struktuuri kujunemisele küllaldase põhjalikkusega läbi uuritud reas A. A. Botšvari, N. T. Gudtsovi, V. D. Kuznetsovi, P. D. Dankovi, V. I. Danilovi, P. A. Rebinderi, V. K. Sementšenko ja paljude teiste tuntud teadlaste eksperimentaaltöödes.

MODIFITSEERIMISE MÕJU SULAMI KRISTALLISEERIMISPROTSESSILE

Kristallidevaheliste kilede kunstlikku tekitamist eesmärgiga takistada primaarsete kristallide kasvamist nimetatakse I liiki modifitseerimiseks, uute täiendavate kristallisatsioonitsentrite tekitamist aga II liiki modifitseerimiseks.

Metallurgias laialdast kasutamist leidnud modifitseerivate lisandite hulka kuuluvad: alumiinium, ferrosiliitsium, ferromangaan, ferrotitaan, silikokaltsium, sulam *AMC* (alumiinium-mangaanräni), boor, telluur, magneesium ja mitmesugused ligatuurid (legeerimiseks kasutatavad erisulamid). Modifitseerimise praktiliseks tulemuseks on homogeense, peeneteralise struktuuriga sulami saamine, tema füüsikalise tiheduse suurenemine ja mehaaniliste omaduste paranemine. Modifitseerivaid lisandeid manustatakse sajandik- kuni kümnendikprotsendilistes kogustes töödeldava vedela sulami kaalust.

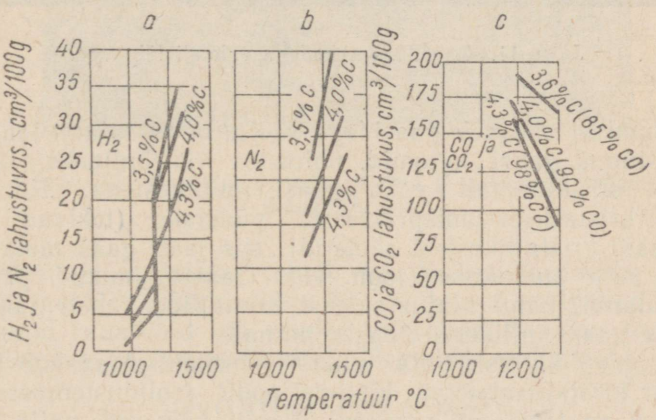
Malmi modifitseeritakse 75 või 45%-lise ferrosiliitsiumiga 0,2—0,6%-lises koguses, ferromangaaniga (0,4—0,7%), silikokaltsiumiga (0,3—0,5%) ja teiste lisanditega. Eel- ja järeleutektilise koostisega malmi modifitseeritakse magneesiumiga (0,2—0,7%) ja ferrosiliitsiumiga (0,5—0,8%).

Alumiiniumi ja räni sulamit (silumiin) modifitseeritakse metalse naatriumiga või 2 osa naatriumfluoriidi ja 1 osa naatriumkloriidi või 5 osa naatriumkloriidi, 2 osa naatriumfluoriidi ja 1 osa kaaliumkloriidi seguga. Sisseviidava segu hulk peab olema umbes 2,5% töödeldava sulami kaalust.

Ühe tonni valandite modifitseerimine maksab ainult mõnerubla, kuid selle tulemusena tõuseb sulami tugevus (või sitkus) 10—30%, võrreldes mittetöödeldud sulamiga.

GAASILISED NÄHTUSED VALANDITE KRISTALLISEERUMISEL

Gaasid võivad vedelas sulamis lahustuda või anda sellega keemilisi ühendeid. Tavaliste atmosfääri ja ahjugaaside hulka, mis ümbritsevad metalli tema sulatamisel, rafineerimisel ja valamisel, samuti gaaside hulka, mis täidavad valukanaleid ja valuvormi õõnsust, kuuluvad lämmastik, hapnik, veeaurud, põlemissaadused (süsinikoksüüd, süsihappe anhüdriid ehk süsihappegaas, väävelhappe anhüdriid ehk väävlisgaas), samuti aga ka vesinik, metaan jne. Nende hulgast lämmastik, hapnik ja veeaurud annavad rauaga, s. o. malmi ja terase keemilise põhielemendiga, ja tema lisanditega — mangaani, räni, fosfori ja väävliga keemilisi ühendeid, samal ajal kui vesinik ja metaan ainult lahustuvad terases ja malmis, moodustades lahuseid. Rauaga vesinik keemilisi ühendeid ei anna.



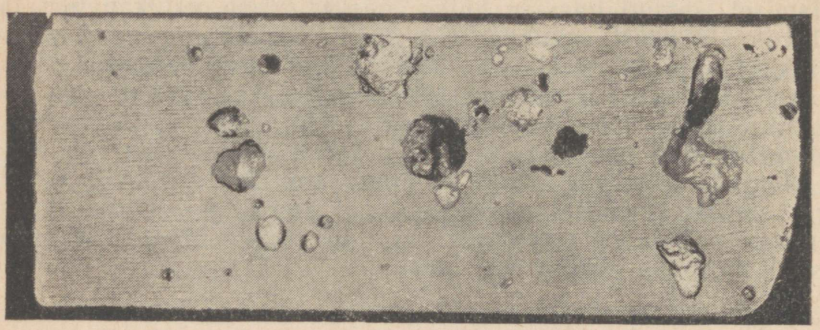
Joon. 10. Gaaside lahustuvus vedelas malmis olenevalt temperatuurist:

a — vesinik; *b* — lämmastik; *c* — süsinikoksüüd ja süsihappe anhüdriid (süsihappegaas).

Elementaargaaside ja gaasitaoliste keemiliste ühendite lahustuvus sõltub temperatuurist ja rõhust. Mida kõrgem on metalli temperatuur, seda suurem on gaasi lahustuvus. Vesiniku piirlahustuvuse sõltuvus temperatuurist normaalrõhul tema lahustumisel rauas, niklis, mangaanis ja kroomis on näidatud joonisel 10 toodud diagrammil (joon. 10). Viimasest selgub, et vesinik

lahustub tahkes metallis tühisel määral. Temperatuuri tõusmisega neelab metall gaasi järjest rohkem, kusjuures sulamisel lahustuvus suureneb hüppeliselt. Sulametallid võivad kaaluliselt või mahuliselt sisaldada mitu korda rohkem gaase kui tahke metall.

Vesiniku absorbeerimine tahke metalli poolt kasvab soojendamisel väga aeglaselt. Kuid temperatuuri edasisel tõusmisel lahustuvus kasvab ja muutub eriti suureks sulamisel, mil tahke metalli jäägid ja sulamisel tekkiv vedelik neelavad intensiivselt vesinikku.



Joon. 11. Gaasitühimikkudega valandi läbilõige.

Tardumisel väheneb gaasidega küllastunud sulami lahustuvus ja lahustunud gaasi aatomid, ühinedes molekulideks, lahkuvad metallist struktuurselt vaba gaasi mullikestena. Kui metall muutub kristalliseerumisprotsessis püdelaks (tekivad tihedad tahke faasi kristallikestest skeletid), siis jääb gaas metalli ning muudab selle auklikuks (joon. 11). Gaasitühimikud paiknevad kogu valandi mahu ulatuses, sest kristallide vahele takerdudes ei suuda gaasimullikesed tõusta pinnale.

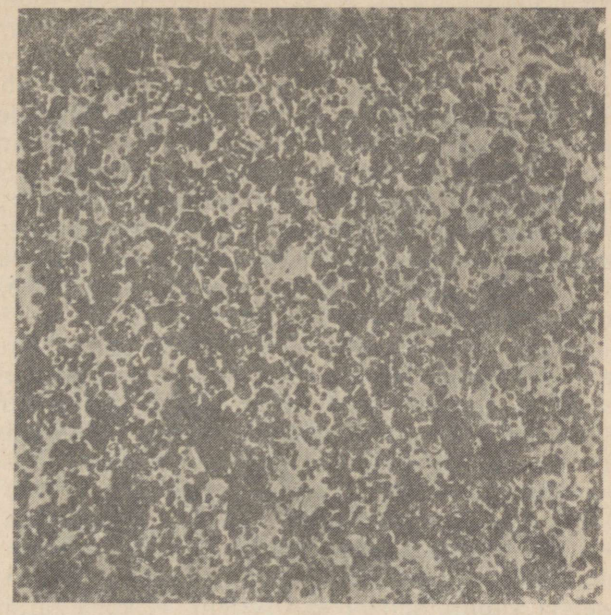
Gaasidega küllastumata sulami jahutamisel saabub lahustuvuse piir kristallisatsiooni lõpp-perioodil (solidustemperatuuril). Sel puhul on tekkivad gaasimullid eriti väikesed, palja silmaga vaevalt nähtavad (joon. 12) ning nad muudavad sulami peaaegu käsnataoliseks massiks. Sellist valatud metalli defekti nimetatakse gaasiliseks poorsuseks ehk gaasidest tingitud kobeduseks. Gaasitühimikud ja gaasiline poorsus vähendavad järsult valandite mehaanilisi omadusi ja on sageli masinaosade ootamatute purunemiste põhjuseks.

Üheks peamiseks valandis gaasitühimikke tekitavaks gaasiks on vesinik, mille metalli sattumise allikad on üldtuntud — s. o. roostene täide, läbikuivatamata kopavooder jne.

Vesinik tekib valandites vedela metalli või süsinikuga kokkupuutuvate veeauruosakeste lagunemise tagajärjel:

$$H_2O + Fe = FeO + H_2$$
$$H_2O + C = CO + H_2$$
$$2H_2O + C = CO_2 + 2H_2.$$

Vähesel hulgal veeauru satub ahjugaasidesse õhuga, kivisöes, koksis, puidus leiduva niiskusega jne.



Joon. 12. Gaasiline poorsus valatud ja gaasidega küllastunud metallis.

Veeauru ja vesinikku leidub ka generaatorgaasis, millega köetakse martäänahjusid. 700—800° C juures eraldavad niiskust roostetanud rauatükid või raudhüdroksüüde sisaldav tagi. Hüdraadid lagunevad kuumutamisel järgmise reaktsiooni kohaselt

$$Fe(OH)_2 = FeO + H_2O.$$

Et vältida veeaurude sattumist vedelasse metalli valurenni või kopa puudlikult kuivatatud voodrist, tuleb viimast kuumutada temperatuuril mitte alla 1100—1200° C.

VÕITLUS GAASILISTE LISANDITEGA

Et kõrvaldada voodrist niiskus, mis põhjustab metalli keemist ja kopast väljapaiskumist plahvatuste tagajärjel, vooder kuivatatakse. Seejuures tuleb aga silmas pidada, et kopa voodrisegule

plastilisuse andmiseks juurdesegatud vee kiirel väljaaurutamisel võib vooder mõraneda ja kummida. Peale selle võivad voodris tekkida praod ka savi mahu vähenemise tõttu. Järelikult peab kuivatamine toimuma pikkamööda ja ühtlaselt. Niiskuse väljaauramise kiirus voodrist sõltub kuivatamise temperatuurist. Soojendamine 100° C-ni on juba küllaldane mehaaniliselt juurdesegatud vee eemaldamiseks. Kuid lisaks tavalisele veele sisaldab vooder ka hügroskoopset niiskust ja kristallvett. Hügroskoopne niiskus kujutab endast tugevasti voodri terakeste külge liibunud veeosakesi. Madala kuivatustemperatuuri korral nõuab hügroskoopse niiskuse kõrvaldamine, eriti voodri sisekihtidest, palju aega. Seepärast tõstetakse kuivatustemperatuuri järk-järgult kuni 250—300° C. Lastes aga voodrit pärast kuivatamist jahtuda toatemperatuurini, ilmub hügroskoopne niiskus uuesti, kuna meid ümbritsev õhk sisaldab alati veeauru, mis kergesti sadestub ümbritseva keskkonna temperatuurist madalama temperatuuriga tahkete kehade pinnale. Kristallvesi ei ole nähtav ega kombatav, kuid tekitab samasugust kahju kui tavaline vesi, kuigi ta ei põhjusta plahvatusnähtusi. Kristallvesi on keemiliselt seotud kaoliniidiga, mis on savi põhikomponendiks. Kristallvee eraldumine kaoliniidist algab 400° C juures, kuid kulgeb sellel temperatuuril väga aeglaselt. Kristallvee eraldumiskiirus kasvab märgatavalt alles 500—600° C juures, kuid kiirel kuivatamisel on niiskuse jääkide täielik eemaldumine tagatud alles temperatuuril 800° C. Seepärast tuleb koppasid enne malmi valamist kuumutada temperatuuril 500—600° C, terasvalukoppasid aga temperatuuril 1100—1200° C. Kristallvee puudulik eemaldamine terasvalu koppade kuivatamisel ja kuumutamisel viib selleni, et kopa täitmisel terasega eraldub vesi algul voodri pindmistest, edasi aga sügavamatest kihtidest. Paisudes mahuliselt kuni 1600 korda, tungivad veeaurud mullikestena sulametalli, kuumenevad seal vedela terase temperatuurini ning lagunevad vesinikuks ja hapnikuks. Viimased lahustuvad sulametallis, moodustavad kahjulikke lisandeid ja halvendavad terase kvaliteeti. Koppasid eelsoojendatakse ja kuumutatakse enne valamist mitte ainult niiskuse eemaldamiseks, vaid ka sulametalli soojuskao vähendamiseks kopa esmakordsel täitmisel.

Vedela metalli kokkupuutumine veega (valutsehhi liiga niiske põrand või liiga niiske vorm) põhjustab veeaurude kiire dissotsiatsiooni, paukgaasi tekkimise ja järgneva ümbruskonnale vägagi ohtliku plahvatuse.

Vedela metalli gaasidega küllastumise vastu võitlemiseks tuleb silmas pidada järgmist:

1. Tagada martään- ja elektriterase sulatusahjude vannide energiline keemine, et eemaldada vesinik vedelast metallist.

Keemisprotsessis tekkivad süsinikoksüüdi mullikesed, mis nee-

lavad vesinikku, tõusevad pinnale ja kannavad nii osa vesinikku metallist ahjugaasidesse.

2. Vanni keemise ajal mitte laadida ahju niisket maaki ja teisi niiskunud lisandeid ja manustusi.

3. Läbi kuumutada ferrosulamid enne nende andmist ahju.

4. Kuivatada ning kuumutada renni ja kopa voodrit.

5. Leekahjudes sulatamist toimetada kiiresti, sulametalli nendes hoidmata.

VALUVORMI MÕJU VALANDI KVALITEEDILE

Tiheda valu saamine sõltub mitte ainult metalli kvaliteedist, vaid ka valuvormi ehitusest ja valamise tingimustest. Valutsehhis, kus tootmine on korraldatud hästi, esineb gaasitühimikest tingitud praaki harva ning sedagi ainult halvakvaliteedilise metalli kasutamisel. Nimetatud praagi põhjustajaiks on kõige sagedamini valuvormi defektid ehk täpsemalt öeldes — inimesed, kes vormisegusid ja vorme valmistasid.

Ei tohi unustada, et valuvormi tööõõnsust täitev õhk kuumeneb vedela metalliga kokkupuutumisel peaaegu metalli temperatuurini. Füüsikast on teada, et mistahes gaas paisub soojendamisel 1° C võrra $^1/_{273}$ oma esialgsest ruumalast. Soojendamisel 273° C võrra suureneb õhu ruumala kaks korda, soojendamisel 1092° C-ni viis ja 1638° C-ni seitse korda. Kui õhu vaba väljapääs vormist on valamise ajal millegipärast takistatud, siis metalliga seguneb õhuga ja valandi ülemistes osades tekivad suured gaasitühimikud (joon. 13). Seepärast peab vormi täitmise kiirus vedela metalliga vastama kuumenenud õhu ja gaaside väljatõrjumise kiirusele valuvormi tööruumist. See tähendab, et ajaühiku jooksul vormi siseneva metalli maht peab olema väiksem sama aja jooksul vormist väljatõrjutava õhu mahust.

Kuid vormi valatava metalli juga võib teatud tingimustes haarata kaasa õhku ning seda juhul, kui metalli rõhk kanalis, peamiselt just püstkanalis, on madalam atmosfäärirõhust. Kaasahaaratud õhk surutakse nagu inžektorpumbaga valuvormi tööruumi, kus ta seguneb vedela metalliga ja takerdub valandis, tekitades gaasitühimikke ja poorsust. Selle nähtuse vastu võitlemiseks tehakse vormi püstkanal koonusekujuline. Kui püstkanali ülemine ristlõige on alumisest suurem (või võrdne), siis täitub kogu püstkanal vedela metalliga, rõhk selles tõuseb üle atmosfäärirõhu, ja õhu sisseimemine lakkab. Vastupidisel juhul tekib aga püstkanalis paratamatult hõrendus ning õhu sisseimemine on vältimatu.

Õhule väljapääsu võimaldamiseks vormi tööruumist (joon. 14), tuleb valandi kõige ülemistele osadele teha tõusupead või pliiatsi-

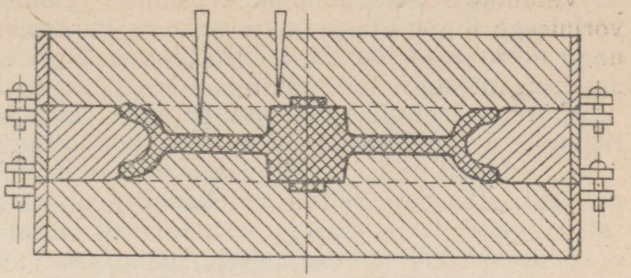


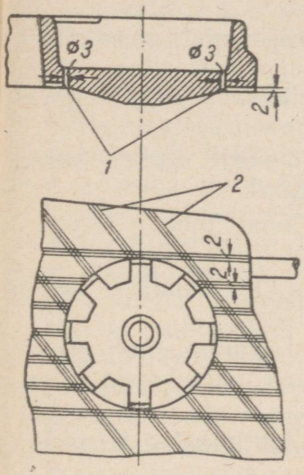
Joon. 13. Suured gaasitühimikud massiivse malmvalandi ülaosas.

kujulised tõusukanalid (joon. 15). Viimaste väike ristlõige laseb läbi küll õhku, kuid mitte metalli [1].

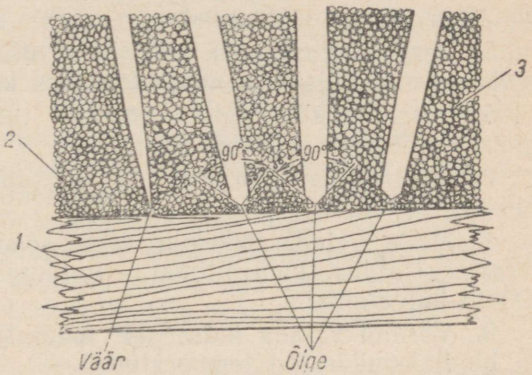
[1] Tõusupeade kasutamine gaaside eemaldamiseks on otstarbekohane ainult keskmiste ja suurte valandite puhul. Pliiatsikujulised pisted tehakse vormi selle gaasiläbitavuse suurendamiseks, kuid need ei tohi kunagi ulatuda vormi õõnsuseni. *Toim.*

Joon. 14. Gaasikanalid õhu eemaldamiseks vormist (valamisel).





Joon. 15. Gaasikanalid metallvormi poolte lahutuspinnas:
1 — pliiatsikujulised kanalid; *2* — niitkanalid.



Joon. 16. Traatvarda abil liivsavivormi torgatud kanalid gaaside ärajuhtimiseks:
1 — mudel; *2* — mudelisegu; *3* — täitesegu.

Gaasitühimike tekkimist valandites aitab ära hoida ka vormisegu ja vormi valmistamise tehnoloogilisest protsessist range kinnipidamine. Liigniiske segu eraldab vedela metalliga kokkupuutumisel suurel hulgal veeauru, millega võivad kaasuda ohtlikud plahvatused. Seepärast tuleb vormisegu niiskusesisaldust tingimata kontrollida.

Sama kahjulik on ka kohalik liigniiskus, mis võib tekkida vormi varisenud osade parandamisel. Valamise ajal kuumutab metall niiske koha üle vee keemistemperatuuri, mille tagajärjel tekkiv aur, leidmata väljapääsu, koguneb algul vormi seintesse, pärast aga purustab valandi veel nõrga poolvedela kooriku ja tungib metalli. Suutmata püdelas metallis pinnale tõusta, jääb aur valandisse, tekitades gaasitühimikke. Auru ärajuhtimiseks torgatakse tihendatud vormisegusse teritatud traadi abil gaasikanalid (joon. 16).

Valandites gaasitühimike tekkimise peamiseks põhjuseks on vormisegu liigne tihendamine vormi valmistamisel. Segu tihedust, nagu niiskusesisaldustki, kontrollitakse vormi valmistamisel spetsiaalsete mõõteriistade abil.

Vormist metalli tungivate gaaside poolt tekitatavate gaasitühimike ärahoidmiseks tuleb juhinduda järgmisest:

1. Rangelt täita vormi valmistamise tehnoloogilise protsessi nõudeid, ette näha selline valukanalite süsteem, mis maksimaalselt kergendaks kuuma õhu eemaldamist vormi õõnest ja gaaside ärajuhtimist, mis tekivad metalli kokkupuutumisel vormi seintega.
2. Kontrollida vormisegu niiskust selle valmistamise ajal. Niiskusesisaldus ei tohi olla üle 3—5%.
3. Mitte lubada vormi lokaalset liigniiskumist vormimisel, eriti aga vigastatud kohtade parandamisel.
4. Vorm täita seguga parajalt, mitte lubades liiga tugevat või liiga nõrka tihendamist.
5. Torgata traatvarda abil vormi alla ja peale, samuti vormi eralduspinnale gaaside ärajuhtimiseks kanalid.
6. Mitte lubada vedela metalli tungimist läbi kärnmargi gaasikanalitesse ja kärni sisemusse.
7. Kontrollida vormide ja kärnide kuivatamisel nende niiskusesisaldust.
8. Mitte valada pikemat aega seisnud vorme ilma nende niiskusesisaldust kontrollimata ning vajaduse korral neid täiendavalt kuivatamata.
9. Vormid valada katseliselt määratud optimaalse kiirusega ja kindlaksmääratud temperatuuril.

MITTEMETALSED LISANDID VALANDITES

Koos täitega satuvad sulatusahju vanni kõikvõimalikud mittemetalsed ained.

Ahi, renn, kopp ja valuvorm vooderdatakse mittemetalsete tulekindlate materjalidega. Sulatusprotsessis põlevad raud ja tema lisandid osaliselt välja ning annavad voodriga reageerides palju mittemetalseid produkte.

Teisest küljest reageerivad lisandid valamise ajal õhuhapnikuga, esineb niinimetatud sekundaarne oksüdeerumine, mis annab jällegi uusi oksüüde. Peale selle haarab raske metalse vedeliku vool endaga kaasa renni, kopa seinte ja valuvormi kanalite kühme ja ebatasasusi, uhab ära ebakindla värvikihi vormi õõnsusest jms. Ülalloetletud tegurite tõttu seguneb metalne vedelik niinimetatud mittemetalsete ainetega.

Mittemetalsed lisandid jagatakse tekkimisallikate järgi kahte liiki. Mittemetalseid lisandeid, mis satuvad metalli väljastpoolt (renni, kopa või vormi voodrist), nimetatakse eksogeense-

teks lisanditeks, vedelas metallis toimuvate keemiliste reaktsioonide tagajärjel tekkivaid aga endogeenseteks lisanditeks.

Lisandid, millede mõõted on kümnendike millimeetrite piirides, võivad metalli seismisel vannis enne koppa laskmist tõusta pinnale ning minna üle räbusse, teised, mikronitega mõõdetavad, takerduvad aga metallis, satuvad valandisse ning põhjustavad rohkem või vähem kahju, olenevalt nende hulgast ja kujust. Disperssemad lisandiosakesed, mille suurus ei ületa sajandikmikronit, jäävad metalli kauaks ning muudavad selle omadusi isegi pärast mitmekordset ümbersulatamist.

Sellised lisandid mõjutavad märgatavalt toodete kvaliteeti. Nende puuduste kõrvaldamiseks tuleb valida värsked, kahjulikest lisanditest puhtad täitematerjalid, metalli üle kuumutada, kasutada keerulisi taandamis- ja rafineerimismeetodeid, külmutada sulameid ning rakendada rida teisi abinõusid.

Mittemetalsed lisandid erinevad keemilise koostise poolest, mis määrab nende tekkimistingimused, tardumistemperatuuri, kuju ning asukoha valandites ja valuplokkides. Raua ja värviliste metallide sulamites võivad mittemetalsed lisandid esineda oksüüdidena, sulfiididena, fosfiididena, nitriididena ja karbiididena. Mida keerulisem on mittemetalsete lisandite koostis, seda madalam on nende sulamistemperatuur.

Puhta raudoksüüdi FeO sulamistemperatuur on 1370° C ja erikaal 5,7. Ta lahustuvus tugevasti oksüdeerunud metallis 1500° C juures on ligikaudu 1%, 1400° C juures aga ainult umbes 0,5%. Vaba raudoksüüd esineb tahkes madala süsinikusisaldusega terases mustade kuulikestena (joon. 17).

Räniooksüüd SiO_2 sulab 1730° C juures, erikaal on 2,4; esineb räniterases (4% Si sisaldusega trafoterases), samuti hapus martäänterases ja malmis. Räniooksüüd tekib terase taandamisreaktsioonil.

$$2FeO + Si = SiO_2 + 2Fe$$

ja annab koos raudoksüüdiga rauasilikaate

$$FeO + SiO_2 = FeO \cdot SiO_2,$$

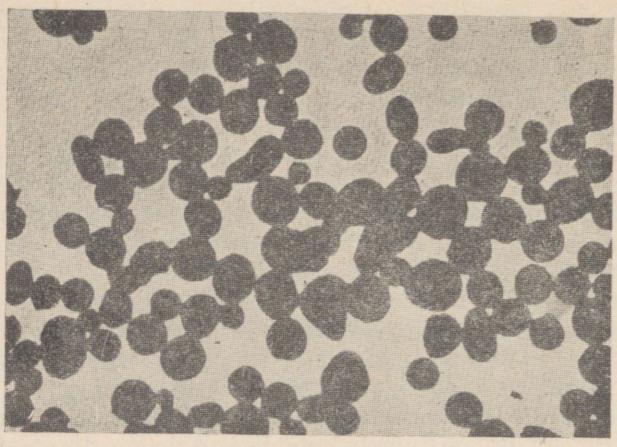
või

$$2FeO + SiO_2 = 2FeO \cdot SiO_2 \text{ (faialiit)}.$$

Räniooksüüd koos raua, mangaani, naatriumi, kaaliumi ja teiste elementide oksüüdidega annab kvartsklaasi. Klaasitaolisi lisandeid esineb terases ja malmis võrdlemisi sageli. Nende sulamistemperatuur on ca 1200° C. Sulas terases on nad vedelas olekus ning kujutavad endast ümmargusi mittemetalseid osakesi.

Alumiiniumoksüüdi sulamistemperatuur on 2000° C ning erikaal 4. Alumiiniumoksüüd ühineb raud- ja mangaanoksüüdidega,

moodustades raua, rauakroomi, magneesiumi, kaltsiumi jne. spinelle, mis esinevad metallis kuubi- või prismakujuliste mittemetalsete lisanditena.



Joon. 17. Mittemetalsed lisandid terases mustade raudoksüüdi kuulikeste näol.

Raudsulfiid FeS (sulamistemperatuur 1185° C) ja mangaansulfiid MnS (sulamistemperatuur 1620° C) lahustuvad teineteises ja annavad kaksiksulfiide. Vähesel hulgal võivad sulfiidid metallis lahustuda.

Liia korral moodustavad nad tumeda ja tumehalli värvusega lisandeid. Raskestisulavatest mangaanirikastest sulfiididest tekkivad lisandid esinevad malmis hallide kuubikestena, terases aga ümmarguste piki rauakristalliitide piirjooni väljavenitatud tilkadena. Alumiiniumiga taandatud terases ja malmis tekivad keerulised ja äärmiselt kahjulikud sulfiidid, mis sisaldavad eutektilise ehitusega Al_2S_3.

Räni ja vanaadiumkarbiidid kristalliseeruvad väga raskesti sulavate dendriitidena (sulamistemperatuur ca 2000° C).

Titaani ja raua nitriidid esinevad terases kuubikestena ja kuuluvad samuti väga raskesti sulavate ühendite hulka.

Kõige parem on, kui lisand esineb ümmarguste, madala sulamistemperatuuriga osakestena. Suure kontsentratsiooni puhul ümmargused tilgakujulised lisandid moodustavad ahelaid. Selline asetus, erinevalt üksteisest kaugelasuvatest tilgakestest, on kahjulik. Kõige kahjulikumad on piki metalliterakeste piire väljavenitatud ja rauakristalliitide vahele surutud lisandid. Lisandite kuhjaspaiknemine nõrgendab ristlõiget ja ei ole seepärast lubatav.

Et kõrvaldada mittemetalsete lisandite mõju valandi kvaliteedile, tuleb nad metallist täielikult eemaldada või nende üldist sisaldust vähendada. Nendega võitlemiseks kasutatakse metalli ja lisandi erikaalude erinevust. Lisandi pinnaleujumise kiirust väljendab Stokes'i valem, mis alla 1 mm läbimõõduga osakeste puhul avaldub kujul

$$v = \frac{2g}{9\eta} \cdot r^2 (\gamma_m - \gamma_{lis}) \text{ cm/sek},$$

suuremate osakeste puhul aga kujul

$$v = \sqrt{\frac{3}{8} gr \cdot \frac{\gamma_m - \gamma_{lis}}{\eta \cdot \gamma_{lis}}} \text{ cm/sek},$$

kus g on raskuskiirendus cm/sek^2;
η — dünaamiline viskoossus g/cmsek;
r — lisandi osakese raadius cm;
γ_m — metalli erikaal g/cm^3;
γ_{lis} — lisandi erikaal g/cm^3.

Sellest valemist järeldub, et osakeste pinnaletõusmise kiirus on võrdeline erikaalude vahega ning mittemetalse lisandi osakese raadiuse ruudu või ruutjuurega. Teiste sõnadega, suured osakesed tõusevad pinnale lühima ajaga ja lahkuvad metallist, mistõttu viimase rafineerimine kulgeb kiiresti. Väikesed osakesed aga vastupidi nõuavad endi eemaldamiseks metalli kauakestvat, tundidega mõõdetavat seista laskmist. Metalli nendest vabastamise küsimus jääb tavalise sulatamise tingimustes lahtiseks ja on kuni käesoleva ajani lahendamata. Külmast ja viskoossest metallist ujuvad mittemetalsed osakesed välja liiga aeglaselt ja temas takerduvad mitte ainult väikesed, vaid ka suured osakesed. Siit tuleneb järeldus, et mittemetalsetest lisanditest vabastamiseks tuleb metalli rafineerimisel tugevasti üle kuumutada ja pikka aega seista lasta. Kuid nendest tingimustest kinnipidamisel tõuseb tunduvalt metalli gaasisisaldus.

Kõige suuremat efekti lisandite sisalduse vähendamisel annab nende keemilise koostise reguleerimine, eesmärgiga alandada nende sulamistemperatuuri. Madalama sulamistemperatuuri korral põrkuvad kuumas metalses vedelikus korrapäratult liikuvad lisandimolekulid üksteisega kokku ning liituvad. Seda nähtust nimetatakse koagulatsiooniks. Ühinenud osakeste temperatuur langeb lahuse või keemilise ühendi tekkimise tagajärjel.

Üksikute lisandite sulamistemperatuur langeb seda enam, mida rohkem erinevaid oksüüde ühineb suuremaks tilgaks. Lisades metalli keerulise koostisega taandajaid, nagu silikokaltsiumi,

silikotitaani, silikomangaani jt., on omavahel ühinevatest oksüüdidest moodustuvate mittemetalsete lisandite sulamistemperatuur madalam kui alumiiniumoksüüdil, mangaanioksüüdil või kvartsil ning tekkivad suured tilgad tõusevad kiiremini metalli pinnale ja lähevad üle seal ujuvasse räbusse. Metall muutub puhtamaks.

Kvaliteetse metalli saamiseks ei taandata teda mitte ferromangaaniga ühes järgneva taandamisega ferrosiliitsiumi abil, vaid silikomangaaniga, silikokaltsiumiga, silikoalumiiniumiga või magneesiumi ja räni sulamiga jne. Kui terast taandatakse keerulise koosseisuga lisanditega, nimetatakse taandamist kompleksseks.

Kompleksel taandamisel on kaasaegses valutehnikas suur praktiline tähtsus ja ta levib legeeritud terasest kvaliteetsete valandite valmistamisel üha laialdasemalt.

Väliste mittemetalsete lisandite rühma kuuluvad kõik mittemetalsed ained, mis satuvad vedelasse metalli väljastpoolt. Siia kuuluvad sulatusahju või kopa põhjalt, nõlvadelt ja seintelt pudenenud ja metalli sattunud voodrimaterjali osakesed. Kui nende suurus on pinnaleujumiseks küllaldane, on nad metalli kvaliteedile kahjutud.

Kõige kahjulikumalt mõjuvad peened raskestisulavad pulbrid, mis tekivad halvasti kuivatatud renni, kopa või vormi seinte murenemisel.

Valandite saastumine on valutsehhis sagedaseks nähtuseks. Et lisandiosakest valukanali või valuvormi tööruumi seinalt lahti rebida, tuleb teha mõningat mehaanilist tööd:

$$A = K \cdot \frac{vm^2}{2},$$

kus K on proportsionaalsustegur, mis sõltub metalli valamise tingimustest;
m — metalli mass, mis möödub osakesest valamise ajal;
v — metalli liikumise joonkiirus, mis on võrdeline survekõrguse H ruutjuurega

$$v = \mu \sqrt{2gH}.$$

Asetades v avaldise töö valemisse, saame pärast lihtsustamist:

$$A = K\mu^2 mgH.$$

Ohtliku suuruse A vähendamiseks mitteohtlikuni, mille juures vormi seinte uhtumine metallijoa poolt peaaegu lakkab, tuleb vähendada läbivoolava metalli massi m (s. o. jaotada ühtne metallivoog mitmeks joaks, lastes ta näiteks läbi mitme toitekanali), hüdraulilist takistustegurit μ ja hüdraulilist rõhku H.

μ suurus väheneb, kui hüdrauliline takistus kasvab. Seda on võimalik saavutada, kui teha toitekanalite avad pilutaolised, mitte ümmargused.

Otstarbekas on ka sifoon-toitekanali kasutamine, mis suurendab valamise ajal hüdraulilist takistust metallinivoo tõusmise tulemusena vormis kopametalli nivoo suhtes. Üksikuid hüdraulilise takistuse muutmise viise vaatleme allpool.

Hüdraulilist rõhku *H* ja seega eksogeenseid mittemetalseid lisandeid võib vähendada mitmeti:

1. Asetada kopa nokk valukausile lähemale, ava kopa põhjas asetada valuvormi püstkanali tsentri kohale.
2. Vältida metalli otsese valamise viise, s. o. mitte valada metalli vormi läbi otsese püstkanali või otse vormi põhjale. Parimaid tulemusi annab sifoon-valukanali kasutamine.
3. Vorm täis valada lamavas või kaldasendis.
4. Valmistada vorm tugevatest vormimaterjalidest küllaldase hulga sideainete kasutamisega.
5. Vältida tolmu ja prahi sattumist ettevalmistatud vormi, sulgedes selleks valukoonuse ja valupeade avaused lehtterasest kaantega.
6. Mitte lubada viivitamist enne valmis vormide täisvalamist. Jäädes kauaks seisma, vormid murenevad.
7. Enne valamise algust vormid vooliku abil suruõhuga läbi puhuda.

Valandite metall võib saastuda kärnide lohaka asetamise tagajärjel. Kaardunud kärnid võivad puruneda ja põhjustada praaki liivapesade näol. Sama toimub, kui vorm oli kokkupaneku ajal kaardunud või muljutud.

Mittekvaliteetse metalli kasutamise tagajärjel esinevad mittemetalsed lisandid tekivad ahju vannis või vedela metalli valamisel esinevate keemiliste reaktsioonide tagajärjel. Sellised lisandid on oma submikroskoopiliste mõõdete tõttu kõige kahjulikumad, kuna nad takerduvad metallis. Akadeemik A. A. Baikovi väljenduse kohaselt muudavad sellised lisandid sulametalli «sogaseks», füüsikaliselt mitteläbipaistvaks vedelikuks. Saastunud jääkidest sulatatud metalli kvaliteet on halvem kui värsketest metallidest sulatatul. Et likvideerida jäätmete kahjulik mõju, tuleb mustunud jääke sulatada kõrgemal temperatuuril ja kaitsta metalli mittemetalsete lisandite sissesattumise eest väljastpoolt.

Häid tulemusi võitluses saastumisega annab metalli kaitsmine kahjulike kõrvalreaktsioonide eest, mis esinevad rafineerimisperioodi lõpul ja valamise ajal. Mida rohkem oksüdeerub täiesti puhas ahjust väljalaskmiseks valmis metall, seda rohkem tekib peenimaid oksüüde. Metalli sekundaarne oksüdeerumine valamise ajal ja valuvormis annab kõige kahjulikumaid oksüüde. Nii tekib alumiiniumisulamite valamisel metalli pinnale kiiresti väga õhuke alumiiniumoksüüdi raskestisulav kile. Kattes kogu metallipeeglit valukopas, rebeneb see nokast valamisel tükkideks

ja suundub valukoonusesse ning edasi valuvormi. Valandisse sattunud kiletükid tekitavad seal «kurde». Sifoonvalamisel esinevad kiletükid peamiselt valandi ahenevatel pindadel (joon. 18). Sellise valamise juures purustab metalli surve kõva kooriku altpoolt ja paremal juhul surub selle vormi tööõõnsuse kalduoleva lae vastu. Laienevates osades jääb valand puhtaks.



Joon. 18. Oksüüdikilede tekkimine valandite pinnal valamise ajal vedela metalli sekundaarse oksüdeerimise tagajärjel (L. J. Plotinski, ЦНИИТМАШ).

Kilede tekkimine on hästi jälgitav läbi lahtiste valupeade avauste kõrgeltlegeeritud ja alumiiniumi liiaga (1 kg/t) taandatud kroomterasest massiivsete detailide valamisel. Liigne alumiinium oksüdeerub kiiresti ja muutub paljude teiste oksüüdide tekitajaks. Alumiiniumoksüüdi kile pakseneb kiiresti ja puruneb. Ülalt valamisel või metalli lisaksandmisel, s. o. vedela metalli juurdevalamisel valupeasse ruumkahanemise täitmiseks pärast valamise lõppemist, kile mõnikord puruneb ja suundub konvektsioonivooludega alla, kus koguneb metalliga täidetud vormiõõnsuse põhja lähedal. «Kurdude» poolt põhjustatud metalli mitteterviklikkused on ohtlikud valandi tugevusele.

Suurte valandite kiirel sifoonvalamisel läheb metall vormi «puhta peegliga» ja oksüüdikile ei jõua tekkida.

Terase taandamisel vähese hulga alumiiniumiga (0,5 kg/t) või silikomangaaniga ilma alumiiniumita, samuti silikokaltsiumiga, ei ole oksüüdikilede tekkimist märgata. Mittemetalsed lisandid võtavad valandite tugevusele vähemohtliku sferoidaalse kuju.

Praktikas valatakse metall kile tekkimise vähendamiseks vormidesse kõrgendatud temperatuuril, kuna külma malmi ja külma terase valamisel tekib valanditel kilesid rohkem.

Gaaside keskkonnas kattub metall teistsuguse koosseisuga kiledega. Nii võib metalne magneesium fluori või väävliaurude keskkonnas kattuda magneesiumfluoriidi või magneesiumsulfiidi

kiledega. Tihe kile kaitseb metalli hästi oksüdeerumise eest. Seepärast lisatakse sula magneesiumi kaitsmiseks vormis oksüdeerumise ja põlemise eest vormi- ja kärnisegudele vajalikul hulgal spetsiaalseid kaitsvaid lisandeid. Sageli viiakse vormisegudesse fluori sooli, mis magneesiumi valamisel annavad lenduvaid fluoriühendeid. Viimased tõrjuvad vormist õhuhapniku välja. Malmi valamisel kasutatavatesse vormisegudesse lisatakse sageli sütt, grafiiti või antratsiiti ja teisi materjale.

FASSONGVALANDITE RUUMKAHANEMINE

Soojuslikud ja füüsikalised nähtused, mis saadavad valuvormi täitumist vedela ülekuumutatud sulamiga, on kõrgekvaliteediliste valandite saamisel suure tähtsusega. Üldiselt on tuntud reegel, et mida õhem on valandi sein ja mida suurem tema pikkus, seda kõrgem peab olema valatava metalli temperatuur. See reegel põhineb metalli ja vormi vahelise soojusvahetuse seaduspärasustele. Ülekuumutatud metalli soojusliig on seda suurem, mida kõrgem on tema temperatuur ning mida rohkem eraldab metall kristalliseerumisel soojust. Mida kiiremini vorm selle soojuse ära juhib, seda kiiremini algab kristalliseerumine ja valandi tardumine. Kui valatakse külma metalli, mille kristalliseerumine algas kopas seismisel, siis tekib «kristalliseerumine metallijoas», s. o. tahked kristallid hakkavad vedelast lahusest välja langema voolus eneses. Mida kõrgem on metalli ülekuumutus, seda aeglasemalt tardub valand. Lisaks on valandi erinevate osade tardumiskiirused erinevad. Allpool toodud L. I. Sokolskaja[1] katsete andmed 0,4% C sisaldusega terasest 200×200 mm ristlõikega valandite kristallisatsioonikiiruse määramise kohta näitavad, et algul on kristalliseerumiskiirus väga suur, hiljem aga väheneb ja muutub lõpuks esialgsest 10 korda väiksemaks.

Aeg pärast valamist, sek.	20	55	100	200	300	400	500	700	900
Keskmine tardumiskiirus mm/sek.	0,9	0,49	0,35	0,22	0,17	0,16	0,15	0,17	0,14
Tarduva metalli hulk kg/sek.	1	0,64	0,47	0,29	0,23	0,19	0,17	0,13	0,09

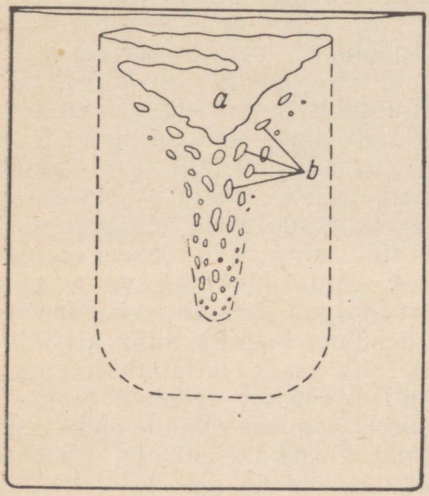
Valand tardub metallvormis tunduvalt kiiremini kui muldvormis.

Märgvormis kristalliseerub valand kiiremini kui kuivas, sest märgvormis kulub osa soojust vee aurustamiseks, tekkiv aur kannab aga osa soojust väliskihtidele ning soojusliia ülekanne

[1] Ajakiri «Литейное производство», 1952, nr. 2. lk. 19.

valandilt ümbritsevasse keskkonda intensiivistub. Vedela metalli suur tardumiskiirus külmade vormiseintega kokkupuutumise esimestel sekunditel põhjustab seda, et valandi pinnal tekib kohe tardunud sulamist koorik ja valand omandab temale omased vormi õõnsusele vastavad kontuurid.

Kui mõõta metalli temperatuuri valandi pinnal ja sellest mingil sügavusel (valandi sees), siis saame määrata temperatuuride vahe ehk temperatuurlangu mõneks ajaks vedelaks jääva kuuma südamiku ja tahke õhukese pinnakihi vahel.



Joon. 19. Kahanemistühimike tekkimine valandis:
a — koondatud kahanemistühimik; *b* — hajutatud kahanemistühimikud.

Tekkinud tahke ümbrisega valand on sel momendil sarnane vedelikuga täidetud kumminõule.

Metalse vedeliku temperatuuri langemisega valandi sees kaasneb iga molekuli mõõdete ja kogu vedeliku mahu vähenemine. Metalli ülemine nivoo vormis langeb nagu elavhõbe termomeetris. Seda nähtust nimetatakse vedela metalli kahanemiseks.

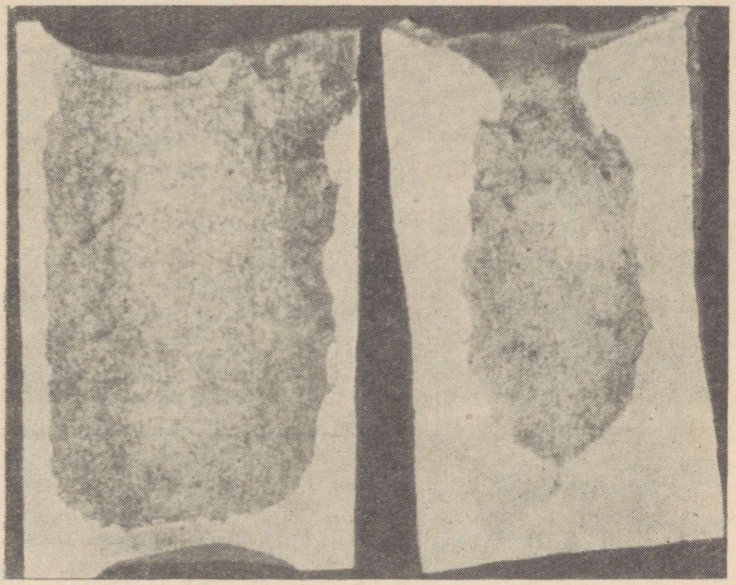
Mõni aeg pärast valamise lõppemist jõuab vormiga kokku puutuv valandi pind kattuda kõva koorikuga. Seejärel püüab vedelik alla laskudes end kooriku ülaosast lahti rebida ja valandi sees tekib täitmata õõnsus, mida nimetatakse kahanemistühimikuks (joon. 19). Õhukeseseinalistes kiirestitarduvates valandites on koorik nii õhuke, et ta võib külgedelt järele anda ja kahanemistühimikke ei teki, s. o. metall kooriku siseseintelt lahti ei rebene. Massiivses valandis on koorik paksem, mistõttu ta muutub jäigaks ja vedela metalli lahtirebenemine kooriku siseseintelt toimub märksa kergemini.

Torgates õhukese kooriku ülevalt katki ja keerates proovivalandi kummuli, valasid A. A. Lebedev ja L. I. Sokolskaja [1] sellest välja veel tardumata metallijäägi ning vaatlesid kogu alumiiniumvalandi tardumise kulgu (vt. joon. 20). Joonise vasakpoolses osas on näidatud 1 minut pärast valamist tühjaksvalatud alumiiniumvaluploki vertikaalläbilõige. Paremal on näidatud alumiiniumvaluploki läbilõige 4 minutit pärast tardumise algust.

[1] Ajakiri «Литейное производство», 1952, nr. 8, lk. 13.

Jooniselt on näha, et 4 minuti jooksul tekkinud koorik on eelmisest tunduvalt paksem.

Tarduva kihi sisepinnal on metalli temperatuur ühesugune pinna kõikides punktides. Lõigates valandi läbi (joon. 21), saame isotermi *1* (samatemperatuuri joone), mis vastab valandi kooriku tardumise esimesele ajavahemikule. Järgmise ajavahemiku jooksul muutub koorik paksemaks. Tõmmates järgnevalt isotermid *2*, *3* jne., selgub, et iga kord on tahke metalli kiht paksenenud, alles-

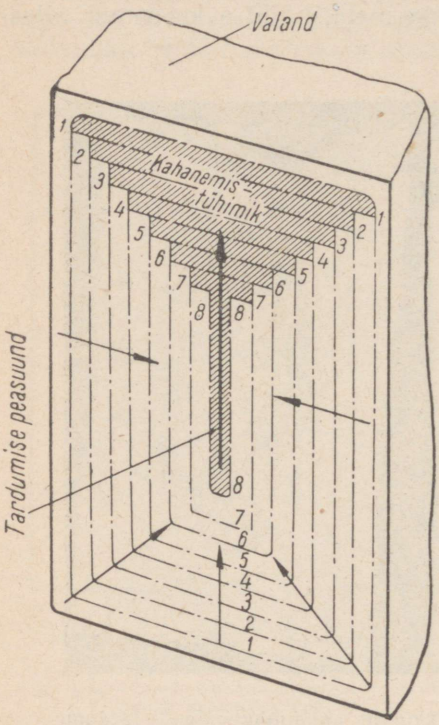


Joon. 20. Tahke metallikooriku tekkimine alumiiniumvalandi tardumisel vormis.

jäänud vedeliku nivoo aga kahanemise tagajärjel langenud. Jätkates isotermide tõmbamist kuni tardumise lõpuni, saame esiteks kahanemistühimiku lõppkuju ja, teiseks, leiame ka selle asukoha. Kui vaadelda kihtide numeratsiooni (joon. 21), siis on näha, et valand tardus algul väljastpoolt, sealt, kus soojuse ärajuhtimine toimus kiiremini, pärast aga nihkus iga järgneva isotermiga märgitud kristallisatsioonifront valandi teatavasse piirkonda, mis tardus ülejäänud piirkondadest hiljem. Seda piirkonda on kerge leida, kui tõmmata isotermide pinnale ristsirge (normaal). On näha, et viimane piirkond, mida piirab isoterm *8*, asub kahanemistühimiku «sabas». Iga isotermi ristsirge näitab kristallisatsiooni levimise suunda ja kohta, kus kristalliseerumine lõpeb kõige hiljem.

Kõikide kihtide kristalliseerumise järjestikkust esimesest kuni viimaseni nimetatakse kristallisatsiooni või tardumise suunatuseks.

Valandi ülalkirjeldatud kristallisatsiooni järjestikkus muutub veidi, kui valuvorm täita külma, null-vedelvoolavusele lähedase metalliga, mille temperatuur on veidi alla likvidustemperatuuri. Metall hakkab tarduma juba kopas ja kahanemisnähtus tekib enne valamise lõppemist. Esimene koorik (isoterm *1*) muutub paksuks ja ulatub peaaegu tsentrini. Vedeliku nivoo langeb vähesest püdel metall peaaegu ei suuda voolata. Koondatud kahanemistühimik kujuneb väikeseks. Peale selle kujutab kogu vedeliku jääk järgmisel ajahetkel pudrutaolist segu, mis on segatud tahkete rauakristallidega. Isoterm *2* läheb kuni valandi tsentrini (läbi pudrutaolise metalli piirkonna). Tahked kristallid eraldavad kogu kesktsooni üksikuteks väikesteks vedelikuruumaladeks. Iga sellist ruumala võib nüüd vaadelda kui iseseisvat valandit oma tahke ümbrisega. Vedela metalli kahanemise tagajärjel langeb vedelik igas isoleeritud ruumalas. Kogu teises kihis (esimese ja teise isotermi vahel) tekib niipalju kahanemistühimikke, kui palju selles oli isoleeritud ruumalasid (vt. joon. 19). Lõigates kogu valandi pikuti läbi, näeme kõigepealt kahanemistühimikku valandi ülaosas, nagu joonisel 21 näidatud juhtudel, teiseks aga arvutu hulga väikesi kristallidevahelisi tühimikke, mis tekkisid kõige hiljem tardunud tsoonis.



Joon. 21. Isotermide (samatemperatuuri joonte) reegel valandi tardumise järjestikkuse määramiseks.

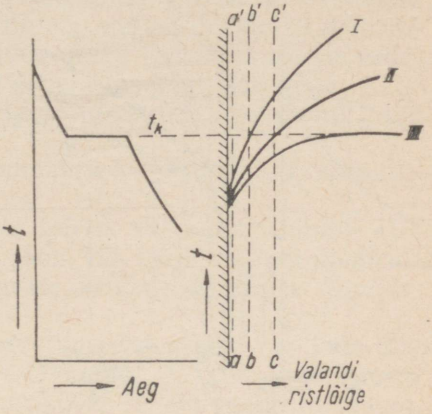
Teise kihi kahanemine soodustab kristallidevaheliste kahanemispooride ehk keskpoorsuse tekkimist. Väikesed kahanemisest tingitud tühimikud tervikuna soodustavad kogu valandi mahu ulatuses nn. hajutatud kahanemistühimiku tekkimist, mis hõlmab kogu keskkihti (vt. joon. 19). Kahanemisest tingitud pooride välisilme loob kujutluse tühikutest dendriitide harude vahel ja

nad erinevad järsult gaasilise päritoluga ümmargustest pooridest (vt. joon. 12).

Tuleb meeles pidada, et tugevasti ülekuumutatud vedela terase valamisel on koondatud kahanemistühimik suurem, kahanemispoorsus aga väiksem. Valamistemperatuuri langemisel muutub koondatud kahanemistühimik väiksemaks, ent keskpoorsuse tsoon võib kahanemisest tingitud kristallidevaheliste pooride arvu suurenemise tõttu levida ja rikkuda tühimikkudega kogu valandi.

Koondatud kahanemistühimiku suurus sõltub ka sulami tardumise iseloomust.

Kristalliseerugu sulam konstantsel temperatuuril. Selliste sulamite hulka kuuluvad puhtad metallid ja eutektilise koostisega sulamid, näiteks puhas raud, eutektiline malm, silumiin jt. Ehitame sulami kristalliseerumiskõvera koordinaatides temperatuur — aeg (joon. 2, vasakul) ja kristalliseeruva valandi temperatuuride jagunemise kõvera (paremal). Kristalliseerumine toimub konstantsel temperatuuril t_k. Mingil esimesel ajamomendil pärast valamist jõudis viirutatud pinna juures tekkida tahke koorik aa', mille temperatuur on madalam kui t_k. Temperatuuri jaotust valandis kujutab kõver *I*. Valandi keskel on temperatuur kõrgem kui väliskooriku juures. Kooriku paksuse määrab vertikaalist aa' vasemal olev tardunud kiht.



Joon. 22. Puhtast metallist või eutektilisest sulamist valandi kristalliseerumine valuvormis.

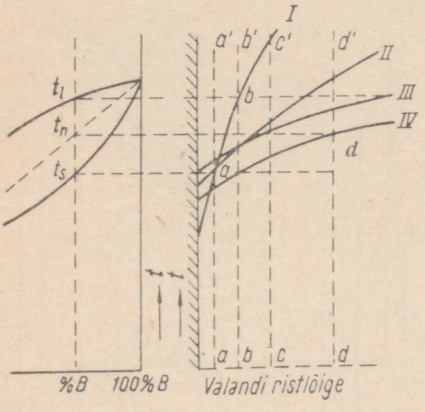
Järgmisel jahtumismomendil näitab temperatuurijaotuse kõver *II*, et temperatuur valandi sees langeb soojuse äraandmise tõttu ümbritsevasse ruumi, tardunud kiht aga muutub paksemaks (vertikaalist bb' vasakul). Kristalliseerumise lõpuks langeb kesktsooni temperatuur veel rohkem ja muutub võrdseks t_k-ga — kõver *III*. Valand tardub täielikult. Vertikaalide aa' ja bb' lõikamine horisontaaliga t_k näitab, et mistahes punktis aa'-st vasakul on esimesel ajamomendil kõik temperatuurid madalamad kui t_k, järelikult on kogu aa'-st vasakul asuv piirkond kristalliseerunud. Paremal pool aa'-d pole kristalliseerumine veel alanud ja tahkeid kristalle seal olla ei saa.

Teisel ajamomendil on sulam täielikult kristalliseerunud kõigis punktides vertikaalist bb' vasakul, sellest paremal aga pole kristalliseerumine veel alanud. Järelikult läbib kristallisatsioon järk-järgult kõik punktid valandi välispinnalt kuni vertikaa-

lini *bb'*. Isotermidest *aa'*, *bb'* ja *cc'* paremal pool vedelik antud momendil kristalle ei sisalda.

Tekkinud tingimused võimaldavad kristallidel kasvada vasakult paremale, soojuse ärakandumisele vastassuunas. Kujunevad kristallid moodustavad ühtse kristallisatsioonifrondi. Viimase abil ongi seletatav kahanemistühimike tekkimise protsess.

Eeleutektilised ja järeleutektilised sulamid kristalliseeruvad likvidus- ja solidustemperatuuride vahelises intervallis. Siia kuuluvad näiteks kõrge süsinikusisaldusega teras, väikese süsinikusisaldusega eeleutektiline malm ja teised sulamid. Selliste sulamite kristalliseerumist iseloomustab vasakpoolne graafik (joonis 23). Vaatleme uuesti kristallisatsiooni valandi ristlõike ulatuses esimesel ajamomendil.



Joon. 23. Suures temperatuur-intervallis tarduvate sulamite kristalliseerumine.

Temperatuurijaotust näitab kõver *I*. Tõmbame kaks vertikaali *aa'* ja *bb'*, mis lõikavad kõverat *I* punktides *a* ja *b* vastavalt kristalliseerumise algtemperatuurile t_l ja lõpptemperatuurile t_s.

Vaadeldav sulam sisaldab 8% põhikomponenti *B*.

Kogu vertikaalist *aa'* vasemal asuv valandikiht on täielikult kristalliseerunud ja koosneb ainult tahkest faasist. Faasiks nimetatakse piiratud ruumala, mille sees aine olek jääb homogeenseks — näiteks rasvatilk moodustab vees iseseisva, ümbrisega piiratud vedela faasi, ülejäänud veemass aga moodustab teise faasi. Vedeliku sees ujuv kristall moodustab tahke faasi, teiseks faasiks aga on vedelik ise. Graniit koosneb kolmest mineraalist — kvartsist, vilgust ja põllupaost, mis moodustavad kolm faasi. Vertikaalide *aa'* ja *bb'* vahelises valandikihis langeb temperatuur esimesel momendil alla t_l, kuid jääb kõrgemaks t_s -st. Järelikult on selles kihis kristalliseerumine alanud, kuid ei ole veel lõppenud. Selles kihis asub vedel sulam, milles kasvavad igast küljest vedelikuga ümbritsetud tahked kristallid. Teisiti öeldes, sellises vedelikus ujuvad kasvavad kristallid.

Kui eeldada, et valand jahtub aeglasemalt (näiteks valamisel ettesoojendatud vormi), siis on valandisisese temperatuuri jagunemise kõver *II* lamedam, kiht, kus algab kristalliseerumine (vertikaalist *aa'* vasakul), aga paksem.

Iga teatud vedelikuhulgast tekkiv kristall hõlmab väiksema ruumala kui vedelik, millest see kristall tekkis, sest vedelast

olekust tahkesse üleminekul esineb metalli kahanemine. Lisades vedeliku kahanemisele kristallisatsioonikahanemise, saame valandi täieliku kahanemise kristalliseerumise lõpuks, kui temperatuur on valamistemperatuurilt langenud solidustemperatuurini.

Kahe kristallisatsioonivariandi võrdlemiseks jälgime kristallide tekkimise käiku konstantsel temperatuuril kristalliseeruvast sulamist ($t_l = t_s$) valandi eri tsoonides. Kui temperatuur jaguneb kõverat *I* mööda, jagab vertikaal *aa'* (vt. joon. 22) valandi kaheks tsooniks. Valandi vasakpoolse osa temperatuur on t_k-st madalam ja selles osas vedelikku enam ei ole. *aa'*-st paremal pool, keskosas on temperatuur kõrgem kui t_k ja seepärast siin ei saa vedeliku kõrval olla kristalle. Joon *aa'* kujutab endast kristallisatsioonifrondi piiri. Iga kristall kasvab joonest *aa'* paremal asuva vedeliku arvel. Kristalli kasvu suund läheb vasakult paremale. Kristalli kasvamiseks kuluv vedelik liigub aga kristallisatsioonifrondi läheduses paremalt vasakule.

Tahke kristallikiht muutub kompaktseks sõltumatult kristalliseerumise kiirusest.

Kahanemisnähtuse tõttu langeb vedelik valandi tardumise ajal pidevalt ja kahanemistühimik (vt. joon. 19) tekib valandi ülemises osas. Ülejäänud osa on järkjärgulise kristalliseerumise tagajärjel tiheda metalse ehitusega.

Sulami kristalliseerumine temperatuuri-intervallis (vt. joon. 23) toimub teistsugustes tingimustes. Oletame, et kristalliseerumine kulgeb nii aeglaselt, et temperatuurikõver *III* on veelgi lamedam, tema parempoolne osa puutub ülemises punktis horisontaali t, vasakpoolne ots aga asub horisontaalil t_s. Sellised tingimused võivad esineda massiivse detaili valamisel külma (ülekuumutamata) terasega, mille temperatuur on lähedane t_l-le.

On selge, et kristallisatsioon algab nüüd kogu valandi vedelikuga täidetud mahus. Niikaua, kui ümberringi asuvad suured vedelikuvarud, ei ole ükski kristall oma arengus takistatud, s. o. kasvab igas suunas. Tema teljed kujunevad võrdseteks ja kristall kujuneb võrdtelgseks (mitte tulbakujuliseks, nagu eelmises näites). Temperatuur hakkab pikkamööda langema ja tema jagunemist näitab graafiliselt kõver *IV*, mis asub kõverast *III* allpool (vt. joon. 23).

Tõmmates vertikaali *bb'*, teeme kindlaks, et sellest vasemal olev valandi kiht on tardunud. Vedelikunivoo ülemises osas langes. Paremal pool joont *bb'* tekivad vedelikus pikkamööda võrdtelgsed kristallid.

Teatud temperatuuril t_n, mis vastab null-vedelvoolavusele, lõikab horisontaal kõverat *IV* punktis *d*. Tõmmates vertikaali *dd'* leiame, et selle ümber tekib kompaktne tahketest kristallidest skelett. Kristallide kasvamine *bb'* ja *dd'* vahelises tsoonis kulgeb nüüd materjali puudujäägi tingimustes, kuna null-vedelvoolavuse tagajärjel kogu vedelikumass saab edasi liikuda ainult mittekokkukasvanud naaberkristallide vahelisi kapillaarkanaleid mööda ja

sedagi ainult siis, kui vedelik on hea vedelvoolavusega või kui sellele mõjub kunstlikult loodud rõhk. Temperatuuri järkjärgulisel langemisel hakkavad kristallid ikka rohkem ja rohkem kokku kasvama ning kujunevad vedelikujääkidega täidetud ruumalad. Vedeliku kulumine temaga kokkupuutuvate kristallide kasvamiseks jätkub. Suletud ruumalas hakkab vedelik raskusjõu mõjul voolama allpool asuvatesse kristallidevahelistesse tühikutesse ja täidab neid ning tarvitatakse lõppude lõpuks täielikult ära.

Sirgetega *bb'* ja *dd'* piiratud kihi kristalliseerumise lõpuks tekivad kristallide vahele tühjad õõnsused, sest naaberkristallide tihedaks kokkukasvamiseks vedelikku ei jätku.

Kahanemise tagajärjel tekivad mikroskoopilise suurusega tühimikud. Kesktsooni temperatuuri langemisel jätkub kristalliseerumine vedela materjali puudujäägi tingimustes. Mikrotühimikke tekib veel rohkem. Kesktsoon muutub poorseks (vt. joon. 19). Nii erineb konstantsel temperatuuril toimuv kristallisatsioon temperatuuri-intervallis toimuvast kristallisatsioonist tekkivate kahanemistühimikkude iseloomu poolest. Esimesel juhul tekib suur koondatud kahanemistühimik, teisel juhul aga kristallidevahelised poorid. Sel alusel võib formuleerida akad. A. A. Botšvari reegli: «Konstantsel temperatuuril kristalliseeruvad sulamid moodustavad koondatud kahanemistühimikke, kristallisatsioonitemperatuuride intervallis kristalliseeruvad sulamid aga hajutatud mikropoore.»

TARDUMISKIIRUSE MÕJU KRISTALLISEERUMISELE JA KAHANEMISELE

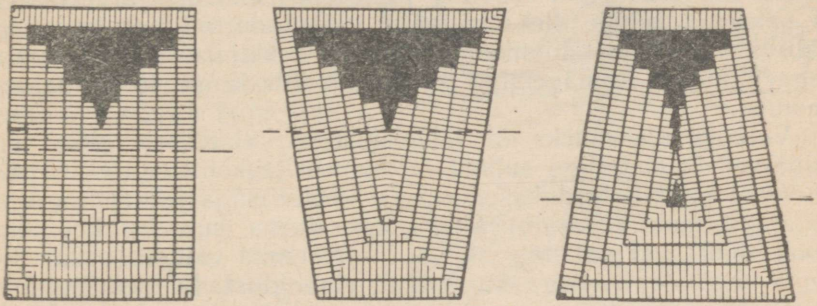
Vaatleme tardumiskiiruse mõju kristalliseerumisele ja kahanemisele.

Oletame, et veega jahutatavasse vormi valatud metall kristalliseerub selles suure kiirusega, peaaegu hetkeliselt. Kristalliseerumine toimub kogu valandi mahus, kusjuures tekivad võrdtelgsetest kristallidest koosnevad peenikesed terad ning hulgaliselt kahanemistühimikke, mis ei jõua «toituda» vedelikujääkidest. Valand tuleb poorne, sõltumatult sulami ja tema kristalliseerumise iseloomust (kas konstantsel temperatuuril või temperatuuri-intervallis). Koondatud kahanemistühimikku ei teki. Analoogiliselt toimub võrdlemisi madalal temperatuuril valatud õhukeseseinalise valandi (10—20 mm) kristalliseerumine.

Kui massiivse detaili valamine kuivas muldvormis toimub tugevasti ülekuumutatud metalliga ja vormi seinte soojusjuhtivus on halb, tekib suur koondatud kahanemistühimik. Kui valand kristalliseerus konstantsel temperatuuril, siis on metall valandi keskosas tihe, kui aga kristalliseerumine toimub temperatuuri-intervallis — siis poorne.

Et määrata tardumise suuna mõju konstantsel temperatuuril tarduva sulami kristalliseerumisele ja kahanemisele, võrdleme

omavahel mitme (sirge, ülalt laieneva ja alt laieneva) valuploki kristalliseerumist (joon. 24). Leides isotermide meetodil kristallisatsioonifrondi järkjärgulise edasiliikumise, märkame, et sirge valuploki (joon. 24, *a*) puhul saadakse koondatud kahanemistühimik vormi ülemises osas, nagu ülalt laienevas valuplokiski (joon. 24, *b*). Tühimike kujud on erinevad. Sirges valuplokis asetseb tühimik sügavamal, ülalt laienevas on tühimik aga laiem ja asub kõrgemal, sest teisel juhul väljendub tardumise suunatus täpsemalt (temperatuurilang valandi üla- ja allosa vahel on suurem).



Joon. 24. Kahanemistühimiku kuju olenevus valandi kujust.

Allapoole laienev valuplokk (joon. 24 *c*) kristalliseerub algul pärast valamist normaalselt, kuid hiljem jagunes tema kesktsoon kaheks eraldi ruumalaks ja kahanemistühimik hakkab vedeliku langemise tagajärjel tekkima korraga kahes kohas. Valuploki tardumisel tekib keskosas ahel väikesi tühimikke. Kogu tühimik kujuneb kitsamaks ja sügavamaks kui eelmistel juhtumitel. Alt laieneva valuploki tardumise suunatus väljendub ähmaselt. Tardumise lõppemisel on keskkihi alumiste ja ülemiste punktide vaheline temperatuurilang liiga väike. Et valandi tervet osa eraldada kahanemistühimikuga kahjustatud osast, tuleb valand kõigil kolmel juhul lõigata joonisel 24 näidatud tasapinda mööda pooleks. Vedela metalli kahanemine valuvormis, eriti kristalliseerumise ajal, nõuab kogu valandi vahetpidamatut toitmist. Vormi spetsiaalset vedela metalliga täidetud õõnsust, millest vedelat metalli kulutatakse kahanemistühimike täitmiseks kuni kristalliseerumise täieliku lõppemiseni, nimetatakse valupeaks. Valupeaks nimetatakse igasugust valandi ülaosa, mis tardub viimases järjekorras, millesse jääb kahanemistühimik ning mis tardumise ja kahanemise ajal toimib allasuva osa toitjana. Terve, ilma kahanemistühimikkudeta valandi saamiseks peab tardumine olema suunatud valandist valupeasse nii, et vedel metall tarduks viimasena valupeas, mitte aga valandis.

Valandi jämedate ning õhukeste osade mitteüheaegne tardumine ning ebaühtlane jahtumine põhjustab viimastena tarduvates osades kahanemistühimike, tühikute ja kobeduse tekkimist ning valupingeid. Seepärast on üheks kõige tähtsamaks valandi konstruktsioonile esitatavaks nõudeks tema ristlõigete ühtlus ning kohalike paksenduste, sõlmede ja metalli kuhjumiste puudumine.

Neil juhtudel, kui konstruktiivsed kaalutlused ei võimalda paksendusi ja kohalikke metallikuhjumisi vältida, on valatava detaili konstruktsioon soovitav projekteerida sellise arvestusega, et paksendi kohale oleks võimalik paigutada valupea ja sellega vältida kahanemistühimike ja poorsuse tekkimist. Sobiva suurusega valupea ettenägemine soodustab tiheda ja terve valandi saamist.

Valupea ülesandeks on lähedalasuva valandiosa pidev toitmine vedela metalliga sulami tardumisel ja kahanemisel. Selleks et vedel metall tarduks valupeas viimases järjekorras, pärast valandit, peab kas valupea ristlõige olema suurem, kui tema poolt toidetaval valandiosal, või vormiseinad valupea osas väiksema soojusjuhtivusega kui mujal, et aeglustada metalli jahtumist valupeas. Kui valupea tardub varem, muutub tegelikuks valupeaks paksem valandisõlm, valupea ise aga muutub toidetavaks kohaks. Kahanemistühimik tekib valandisse, valupea aga kujuneb kompaktseks. Selleks, et vähendada metallikadusid ja garanteerida kompaktse ja terve valandi saamine, peab valupea suurus olema ratsionaalne. Liiga suur valupea on sama lubamatu kui väike. Valupead nähakse ette terasest, tinavabast pronksist, valgevasest jt. valanditele, s. o. suure ruumkahanemisega sulamitele. Erinevalt malmist on terasel ruumkahanemine suur ja ulatub mõnedel terasesortidel 2,5—3%.

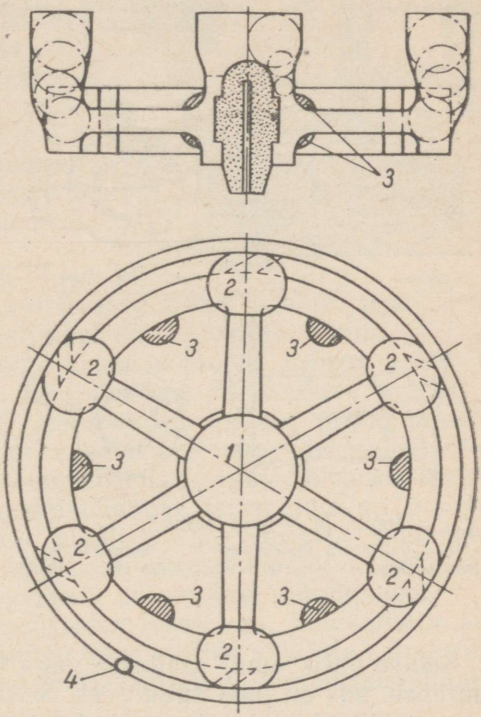
Valupea tuleb ette näha ka massiivsetele sferoidaalse grafiidiga malmist (magneesiummalm) valanditele. Valupea täidab oma ülesande kõige paremini tardumise täpselt väljendatud suunatuse tingimustes.

Tardumise suunatus kindlustatakse:

1. Valandi seinapaksuste suhte õige valikuga valandi konstrueerimisel.
2. Valupea asukoha, kuju ja õige suuruse valikuga.
3. Valandi õige asendiga vormis.
4. Õige valukanalite süsteemi valikuga, mis tugevdab valandi tardumise suunatuse efekti. Seda tagab osaliselt metalli andmine valupeasse või vahetult valupea alla.
5. Sisemiste ja väliste jahutajate kasutamisega.
6. Valupeade soojendamisega.
7. Õigest valamistemperatuurist ja valamiskiirusest kinnipidamisega.

Metalli keskendatud juurdeandmine ei ole nendel juhtumitel tihedate valandite saamise seisukohalt hädaohtlik. Teistel juhtumitel tuleb minna metalli hajutatud andmise teed (metall juhitakse vormi suure hulga suhteliselt väikeste toitekanalite kaudu, nagu seda praktiseeritakse näiteks suurte valandite valmistamisel).

Väga tähtsaks küsimuseks valutootmises on valupeade asukoha, kuju ja mõõdete valik. Põhilised reeglid, millest seejuures juhindutakse, sõnastas väljapaistev vene teadlane V. J. Grum-Gržimailo: «Valandite kõrgemalasuvad osad on madalamalasuvatele valupeadeks» ja «valupea peab tarduma viimasena». Valupea kuju suhtes tuleb juhinduda reeglist, mis seisneb järgmises: valupea pinna suhe tema ruumalasse peab olema minimaalne. See suhe on minimaalne kerakujulistel ja ümmarguse ristlõikega valupeadel.



Joon. 25. Hammasratta valandi «kuumade sõlmede» toitmine:
1 — keskne valupea; *2* — lisa-valupead; *3* — välised jahutajad; 4 — püstkanal.

Selleks, et valupea tarduks viimasena, peavad tema mõõted ja maht olema suuremad kui toidetaval valandisõlmel. Eksisteerivad teaduslikult põhjendatud meetodid valupea suuruse arvutamiseks, kuid need on praegu veel keerulised ja jõukohased eriharidusega inimestele. Praktikas kasutatakse edukalt valupea suuruse määramise graafilist meetodit sissejoonestatud ringjoonte abil. Metalli kuhjumiskoha sisse joonistatud ring peab vabalt mahtuma läbi valupea. Sel juhul, kui seda konstruktiivselt ei ole võimalik saavutada, antakse valanditele tehnoloogiline töötlemisvaru, mis hiljem koos valupeaga maha lõigatakse.

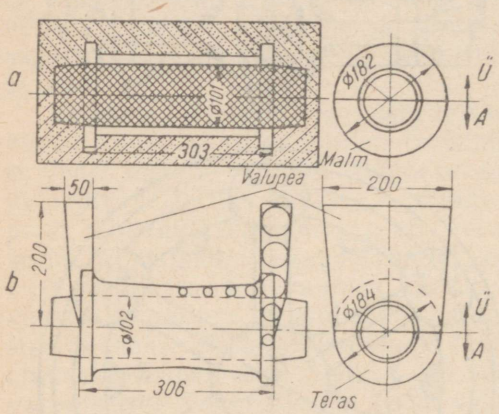
Vaatleme mõningaid valupeade paigutamise näiteid. Hammasrattal (joon. 25) on põia ja kodarate ühinemiskohtades kuus soojuslikku sõlme. Kui nähakse ette ainult keskne valupea, tekib põia ja kodarate ühenduskohtades poorsus. Toiteteed tuleb lühen-

TRÜ Raamatukogu

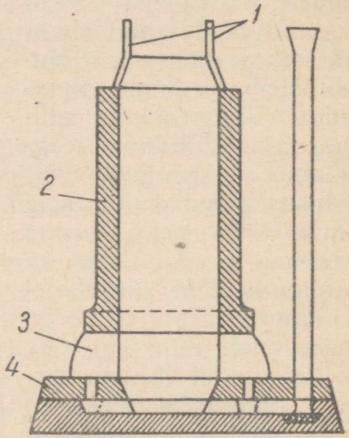
dada, asetades ühe valupea asemele seitse — ühe igasse ühinemiskohta ja ühe keskele. Valandit toidetakse kuuest toitjast, mis on juhitud iga ühenduskoha juurde valupea alla.

Joonisel 26 on näidatud valupea paigutus võrdseinalise silindrilise teraspuksi valandi toitmiseks. Sellises valandis esineb kahanemispoorsus isegi suurte normaalvalupeade asetamisel äärikutele.

Nimetatud puuduse kõrvaldamiseks antakse valandile nn. tehnoloogiline varu, s. o. puksi äärik tehakse laiem ja valupead pikendatakse või lastakse kuni horisontaalteljeni (joon. 26, *b*).



Joon. 26. Puksi valand:
a — ilma valupeata malmpuks; *b* — koonilise kahanemisvaruga ja suurte valupeadega teraspuks.



Joon. 27. Puksi valandi toitmine pöördmeetodil:
1 — ventilatsioonikanalid; *2* — valand; *3* — valupea; *4* — valukanali kärn.

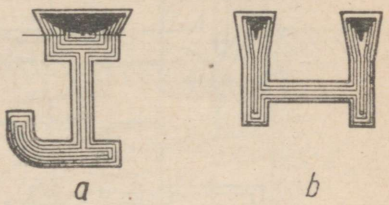
Sellise varu puhul saadakse väga tihe valand, kuid tema kaal suureneb, mis on juba puuduseks. Selline moodus õigustab ennast majanduslikult ainult legeeritud terasest valandite tootmisel.

Valandi asend vormis selle vedela metalliga täitmise ajal mõjutab kahanemistühimiku ja kahanemisest tingitud poorsuse paiknemist. Näitena keerame puksi (joon. 27) valupeaga allapoole ja valame vormi täis ümberpööratud asendis. Tõmmates isotermid, näeme, et kahanemistühimik, hoolimata sellest, et valupea konstruktsioon oli õige, tekib mitte ainult üleval, vaid ka all. Põhjuseks on, et igasugune valandi kõrgemalasuv osa on allasuvale valupeaks.

Teine kahanemistühimik tekib alla siis, kui ülemine osa tardub, alumine massiivne osa aga jätkab kristalliseerumist. Sellest näitest selgub, et valandi õigel asendil vormis on terve ja tiheda metalli saamiseks suur tähtsus. Reverssiiv- e. pöördmeetodi kasutamisel valatakse vorm täis valupeaga allapoole pööratud asen-

dis, pärast valamist pööratakse kogu vormi 180° ja valupea jääb üles. Sel juhul toidab valupea kuum metall valandit hästi.

Joonisel 28 on näidatud I-kujulise ristlõikega valandite vormide valamise variandid. Esimese variandi juures on massiivne valupea ette nähtud ainult ülemisele tallale ja vormi valamine toimub joonisel 28, *a* näidatud asendis. Isotermid näitavad, et kristalliseerumise teatud momendil esineb pöördumisnähtus, pärast seda hakkab kahanemistühimik tekkima mitte ainult ülemises, vaid ka alumises osas, kus oli oma soojuslik sõlm. Et alumise kahanemistühimiku tekkimist ära hoida, tuleb küljele asetada veel üks valupea (nagu näidatud joonisel 28, *a*), mis rahuldab sissejoonistatud ringjoonte reeglit. Valamine teise variandi kohaselt, kus valand on horisontaalasendis (joon. 28, *b*), annab märksa paremaid tulemusi.



Joon. 28. Kaksik-T-kujulise valandi toitmine.

Sellest näitest tuleneb veel üks valanditele valupeade asetamise reegel: valandil peab olema samapalju valupeasid, kuipalju tal on soojuslikke sõlmi.

Valukanalite süsteemi õige konstruktsiooni valikul on tiheda metalli saamiseks samuti suur tähtsus. Meenutame metallijoa soojuslikku toimet vormile, mis kujutab endast pikka lamedat plaati (vt. joon. 7). Valandi vasakpoolse otsa ja ümbritsevate vormiseinte intensiivsema kuumenemise tagajärjel tekib plaadi selles otsas väikeste kahanemistühimike tsoon, mis on piiratud isotermiga *2* (joon. 29), või pikuti välja venitatud koondatud kahanemistühimik. Antud näide on soojusliku sõlme tekkimise iseloomulikuks juhtumiks valandi paksenduse puudumisel.

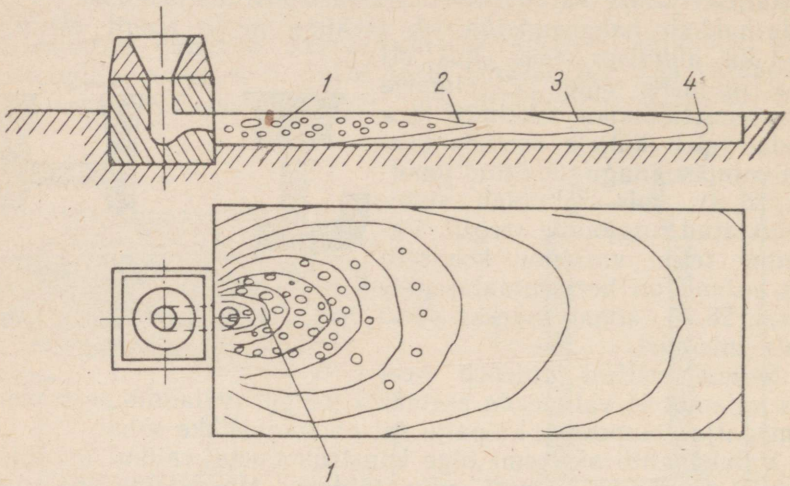
Spetsiaalse valukanalite süsteemi loomisega, toitekanalite asetusega, vormi täitmise režiimiga saab vältida väikeste kahanemistühimikkude või koondatud väljavenitatud kahanemistühimiku tekkimist valandites.

Metalli andmisega vormi tööõõnsusesse mitme toitekanali abil, valamiskiiruse tõstmisega ja valatava metalli temperatuuri vähendamisega saab loobuda valupeade kasutamisest. Selline lahendus on keskmise kaaluga valandite jaoks kõige ökonoomsem.

Suuregabariidiliste õhukeseseinaliste valandite valamisel hajutatud valukanalite süsteemi abil (mitme toitekanali kaudu) hakkab metall kristalliseeruma ühtlaselt kogu ruumalas, soojuslike sõlmede arv muutub lõpmatult suureks ja kahanemistühimikud muutuvad üksikuteks kristallidevahelisteks poorideks, mis tugevust ei mõjuta.

Mida õhemad on valandi seinad, seda väiksemad on primaarsed kristallid ning terakestevahelised poorid ja seda väiksem on

nende mõju valandi tugevusele. Sellistel juhtudel valupead ei ole vaja. Tardumise suunatus ja valupeade rakendamine on seda vajalikum, mida vastutusrikkam on valand, mida suuremaid nõudmisi esitatakse metalli tihedusele ja mehaanilistele omadustele.



Joon. 29. Kahanemistühimiku ja rabeduse tekkimine lamedas plaadis vormi ühesuunalise ühest küljest täitmise juures:
1 — kahanemispoorsus; *2* — väikeste kahanemistühimike tsooni piirav isoterm; *3*, *4* — isotermid.

Valupeade töötamise parandamiseks omistatakse suurte terasvalandite valmistamisel (hüdroturbiinide labidad, mis kaaluvad kuni 26—28 t) täisvalatud lahtiste valupeade hooldamisele suurt tähelepanu, et hoida valupea metalli võimalikult kaua vedelas olekus ja mitte lubada pinnal ühtse tardunud metallikooriku tekkimist. Lahtiste valupeade soojuslikuks isoleerimiseks puistatakse nad üle puusöega, kivisöel töötavate gaasigeneraatorite kuiva tahmaga, kuiva sooja liivaga, kuivatitest saadavate purustatud põlemisjääkidega, jahvatatud klaasiga, mõnede teiste kergestisulavate materjalidega või valatakse üle kuuma räbuga, mis jääb pärast metalli väljavalamist koppa.

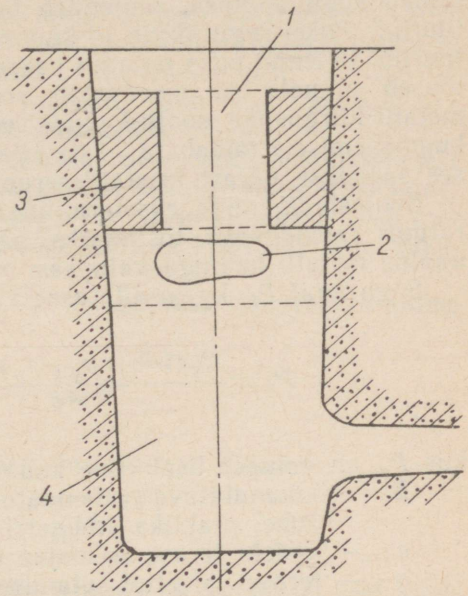
Kuiva liivaga ülepuistamisel tekib valupeale kiiresti tahke metalli koorik; kuivatijäägid aeglustavad kooriku tekkimist. Puusüsi ja tahm, käitudes soojusisolaatoritena, säilitavad samal ajal valupea metalli mõningase eelkuumutuse, mistõttu neid kasutatakse valupeade katmiseks kõige laialdasemalt. Valupeade katmine ülaltoodud materjalidega toimub tavaliselt siis, kui metall ulatub valupeas 100—300 mm kõrgusele, sõltuvalt täitumise kestusest.

Üheks proovitud vahendiks tardumise selgema suunatuse saa-

miseks on valupeade kuumutamine teatud aja möödumisel pärast vormi täisvalamist.

Valupeade kuumutamise viise on mitu. Ratsionaalse kuumutusmeetodi valik võimaldab vältida valandis poorsuse tekkimist, soodustades vedela metalli tungimist tahkete kristallide vahele.

Valupeade elektrilist kuumutamist soovitas elektrikeevituse leiutaja N. Slavjanov juba 1898. a. Valupeade elektrilist kuumutamist kaarleegi soojuse arvel kasutatakse käesoleval ajal edukalt mitmesuguse kaaluga (kuni mitukümmend tonni) terasvalandite tootmisel (peamiselt kõrgeltlegeeritud terasest), märksa harvemini ka fassongvalandite valmistamisel.



Joon. 30. Valupea soojendamine eksotermilise puksi abil:

1 — valupea; *2*— kahanemistühimik; *3* — eksotermiline puks; *4* — valand.

Novo-Kramatorski tehases (Elektrostalis) rakendatakse valupeade elektrilist kuumutamist edukalt suurte hüdroturbiinide labidate valamisel (valandi toorkaal 26,0 t). Valupea juurde asetatakse üks grafiitelektrood, mille läbimõõt on 75 mm. 40—80 V pingega voolu antakse keevitustrafodest. Kuumutamine toimub räbustaja kihi all, mis on soojusisolaatoriks ja kaitseb metalli oksüdeerumise eest ning tõstab kaarleegi stabiilsust. Kaarleegi kasutamine võimaldab luua valandi toitmiseks vajalikud tingimused, vältida kahanemispraaki ja vähendada valandi metallikulu 3—6%.

Veelgi efektiivsemateks valupeade metalli tardumise kestuse pikendamise vahenditeks on valupea ülepuistamine eksotermiliste segudega — lunkeriitidega, ja valupeade kuumutamine kõrgekaloorsusega gaaside põletamisega hapnikuga rikastatud õhu abil.

Eksotermiliste segude valmistamiseks ja lahtiste valupeade katmiseks kasutatakse alumiiniumi, ferrosiliitsiumi, puusütt, koksipuru, ferromangaani jne. Selle raamatu autori poolt koos A. M. Manakiniga tehtud arvutused näitavad, et eksotermiliste segude poolt eraldatavast soojusest kasutatakse ära ainult 5%, ülejäänud soojus aga läheb ümbritsevasse keskkonda. P. N. Bidulja ja A. M. Manakin töötasid ЦНИИТМАШ-is välja ja juurutasid Venjukovski masinaehitustehases uue valupeade kuumuta-

mise viisi spetsiaalse puksi abil, mis sisaldab 75% (kaaluliselt) termiiti (alumiiniumpulbri ja jahvatatud tagi segu), 25% portlandtsementi mark 400 ja 8% vett. Segu vormitakse tavalises kärnkastis. Pärast tsemendi seostumist saadakse ilma igasuguse kuivatamiseta valmis kooniline keskavaga puks (joon. 30), mis asetatakse enne valamist lahtisesse valupeasse. Kui vedel metall täidab kogu valupea, soojendab ta puksi segu süttimistemperatuurini. Puksi segu süttib ja kuumutab metalli vajaliku temperatuurini. Põlenud puks muutub paksuks vahutaoliseks massiks, mis tõuseb pinnale ja moodustab soojustisoleeriva kihi, kaitstes metalli kiirguslike soojuskadude eest. Tänu metalli täiendavale kuumenemisele toidab ta hästi allasuvat valandi soojussõlme ja see saadakse pärast kristalliseerumise lõppemist tihe.

Soojushulk, mida eksotermiline puks valupea metalli temperatuuri täiendavaks tõstmiseks peab eraldama, on proportsionaalne metalli kaaluga valupeas.

Segu kaal P_s kg arvutatakse valemiga:

$$P_s = \frac{P_n (1-B)[c(t_o - t_s) + \varrho] K}{Aq} \text{ kg},$$

kus P_n on valupea kaal enne kuumutamist kg;

B — kuumutatava (vähendatud) ja hariliku valupea kaalude suhe; praktika andmetel $B = 0{,}6 - 0{,}7$;

c — vedela terase erisoojus kcal/kg °C;

ϱ — terase varjatud sulamissoojus kcal/kg;

t_o — terase temperatuur valupeas enne kuumutamist °C;

t_s — solidustemperatuur °C;

A — segu kasutegur $A = 0{,}45$;

q — eksotermilise segu kaloorsus kcal/kg;

K — tegur, mis arvestab kuumutatava valupea ja ümbritseva keskkonna vahelise soojusvahetuse tingimuste muutumist, $K = 0{,}75$.

Segu kaal arvutatakse lihtsama praktilise valemi abil.

$$P_s = 0{,}25\, P_n\, (1-B) \text{ kg}.$$

Olgu näiteks valupea kaal enne kuumutamist 100 kg. Eksotermilise segu kaaluks saame seega

$$P_s = 0{,}25 \cdot 100\, (1-0{,}6) = 10{,}0 \text{ kg}.$$

Erinevalt harilikest allapoole pööratud tipuga koonuse kujulistest kahanemistühimikest tekib valupea kuumutamisel eksotermilise puksi abil lamava muna kujuline tühimik (joon. 30).

Pärast puksi sulamist saadava räbu sulamistemperatuur on umbes 1500° C ja koostis: 15 – 20% SiO_2, 45 – 55% Al_2O_3 ning 19 – 23% CaO. Metalli kokkuhoid on 30 – 40% hariliku valupea kaalust, s. o. tegeliku valupea kaal väheneb 30 – 40% võrra.

Valupeade hulka ja suurust saab tunduvalt vähendada, üksikutel juhtudel nendest aga täiesti loobuda, kasutades jahutajaid ja kahanemist pidurdavaid ribisid. Jahutajad võivad olla sisemised, kui nad asetatakse valuvormi tööõõnsusesse, ja välised, kui vormi tööpind jahutatavas kohas vooderdatakse jahutajatega. Välised jahutajad valmistatakse tavaliselt malmist ja kaetakse enne vormi asetamist õhukeselt mingi ainega (petrooleum, tulekindel värv jne.), mis kaitseb neid valandile külgekeevitumise, roostetumise ja nendele niiskuse sadenemise eest. Välised ja sisemised jahutajad asetatakse valandite sõlmedesse, kuhu ei saa teha valupeasid, või täienduseks viimastele.

Sisemisi jahutajaid kasutatakse peamiselt süsinikterasest valandite tootmisel. Nendeks on kabja-, katuse- või ehitusnaelad, ümarrauast 4—15 mm läbimõõduga vardad ja klambrid, 1—6 mm traadist spiraalid (läbimõõt 15—60 mm) ja isegi detailide lõiketöötlemisel saadud laastud [1].

Jahutaja spiraali läbimõõt d_j arvutatakse jahutatava sõlme läbimõõdu d_0 järgi:

$$d_j = \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{2}\right) d_0 .$$

Spiraali asetatakse mõnikord ümarrauast südamik:

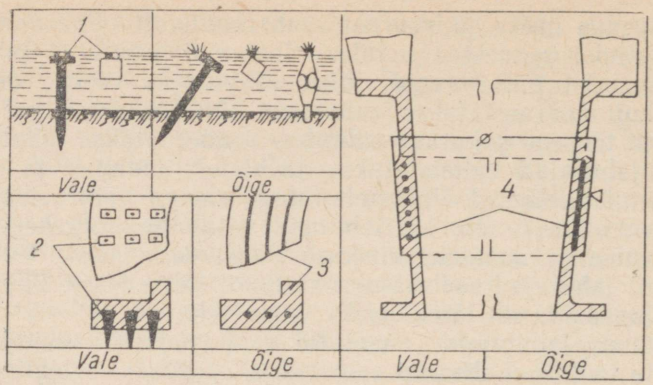
$$d_{süd.} = \left(\frac{1}{7} \div \frac{1}{10}\right) d_0 .$$

V. I. Lenini nimelises Nevski tehases on katselisel teel kindlaks tehtud, et jämedamate jahutajate kasutamine viib nende mittekülgekeevitumiseni. Jahutajad peavad olema asetatud laiali, kusjuures jahutaja ristlõike suhe jahutatava sõlme ristlõikesse peab olema 0,5—1,5% piirides. Massiivsete jahutajate kasutamine põhjustab valandites sageli pragusid. Kui jahutajad on asetatud kohale, mis allub metallivoo kuumutavale toimele, siis võetakse jahutaja suurus ülemise jämeduspiiri järgi. Kui aga metall jõuab jahutajani pärast seda, kui ta on tunduva osa ülekuumutussoojusest vormi seintele ära andnud, siis arvutatakse ta alumise piiri järgi ja kasutatakse peenemaid jahutajaid.

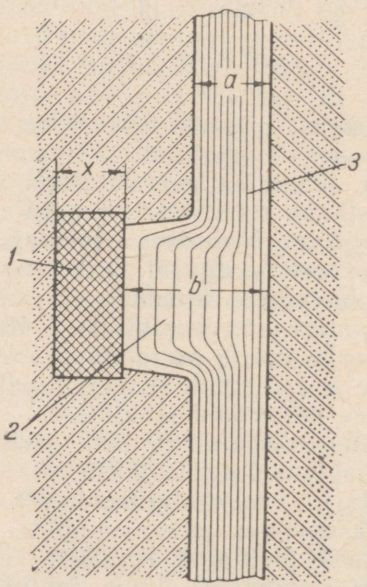
Kui valandi seina paksus on 25 mm, keevitub 3,2 mm läbimõõduga traat hästi, kabjanael aga halvasti.

Sisemiste jahutajate kaal on ligikaudu 5% jahutatava valandisõlme kaalust. Massiivsetes terasvalandites, nagu auruvasarate šabotid, on sisemised jahutajad ehituselt keerulised. 70-tonnise vasara terassaboti valandi sisemine jahutaja kujutab endast sorditerasest keevitatud metallkarkassi, millesse laotakse kindlas korras teras-valuplokkide lõiked. Jahutaja peab olema asetatud nii, et ta pärast vormi täitmist keevituks valandiga täielikult

[1] Ajakiri «Литейное производство», 1953, nr. 3, lk. 11.



Joon. 31. Jahutajate õige ja vale asetus valuvormis:
1 — horisontaalpinnas tekkivad gaasimullid; *2* — koorikualused mullid; *3* — ümarrauast raam; 4 — toitesuunaga risti (vasakul) ja pikuti (paremal) asetatud ümarrauast jahutajad.



Joon. 32. Välise jahutaja paigutamine valandi paksendi juurde:
1 — jahutaja; *2* — näsa; *3* — valand.

kokku. Sellise jahutaja kaal küünib 11 tonnini, s. o. 16% valandi kaalust.

Jahutaja asend vormis peab olema õige, et mitte põhjustada täiendavaid valudefekte. Nii tekivad naelapeade horisontaalpindade juurde gaasimullid (joon. 31), seepärast tuleb nad paigutada nii, et terase voog uhuks gaasid valamise ajal vabalt jahutaja pinnalt ära. Õige ja ebaõige asetus on näidatud joonisel 31.

Enne vormi asetamist puhastatakse jahutajad roostest, tinutatakse, nikeldatakse või värvitakse alumiiniumvärviga. Roostes jahutajat vormi asetada ei tohi. Kokkupandud vormid tuleb gaasitühimikest tingitud praagi vältimiseks täis valada enne, kui jahutajale jõuab sadestuda (kondenseeruda) niiskus. Vaatamata sisemiste jahutajate näilisele lihtsusele ja toime efektsusele, tuleb neid võitluses kahanemisdefektidega vaadelda ainult kui abivahendeid. Sisemise jahutaja sobiva suuruse, kuju ja kaalu valimise raskus viib sageli selleni, et valandi sõlm, kuhu on asetatud jahutaja, jääb jahutaja ja valandimetalli puuduliku kokkukeevitumise tagajärjel defektseks või jahutaja väiksuse tõttu poorseks. Seepärast mõningates eriti vastutusrikastes valandites sisemiste jahutajate kasutamist üldse ei lubata. Väliste jahutajate kasutamine on paljudel juhtudel mõõdapääsematu.

Vaatleme valandi külgseina paksenduse tardumisprotsessi (joon. 32). Seinast vasemale on asetatud lame väline jahutaja. Sõlme (paksendi) metall saadakse tihe nähtavasti sel tingimusel, kui iga vasakpoolse isotermi kiht on parempoolse isotermi kihist niipalju paksem, kuipalju mõõde b on suurem mõõtest a.

Peale selle peab seina, mille paksus on a, tardumise kestus olema paksendatud sõlme tardumisajast suurem või sellega võrdne.

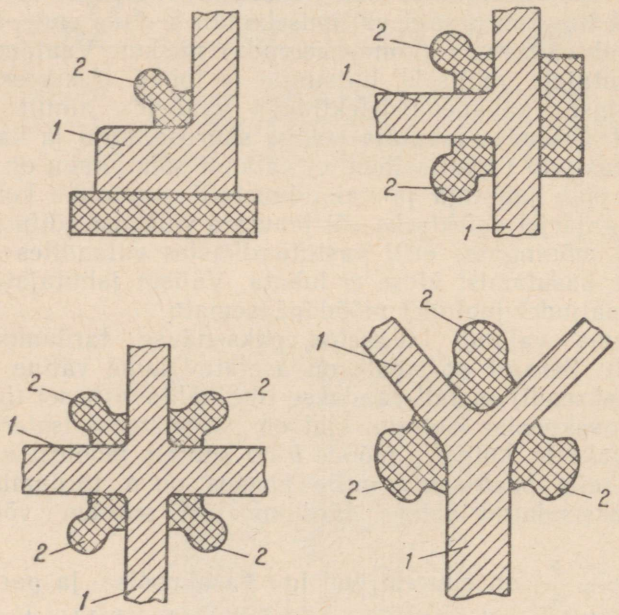
Kui suhe $\frac{b}{a}$ on suurem kui iga vasakpoolse ja parempoolse isotermi kihtide paksuste suhe, siis ei täida ükski jahutaja oma ülesannet ning paksendisse tekib kahanemistühimik. V. P. Desnitski tegi V. I. Lenini nimelise Nevski tehase praktikas kindlaks, et jahutaja paksuse x suhe paksusesse b peab olema 0,4—0,6, kui b = 15—30 mm, 0,5—0,7, kui b = 31—50 mm, ja 0,6—0,8, kui b = 51—70 mm (terasvalanditel).

Muutuvate ristlõigetega, kaksik-T- ja ristikujuliste sõlmedega valandite juures kasutatakse kipsmudelite järgi valatavaid nurkjahutajaid (joon. 33). Seda tüüpi jahutajad mõjuvad seda paremini, mida suurem on nende ja valandi kokkupuutepind.

Kui «kokkupuute perimeeter» on ebaküllaldane, on jahutaja mõju nõrgem ning sõlmedes võivad tekkida kahanemistühimikud.

Valandi õhukeste ja paksude kohtade tardumise suhtelise kiiruse muutmine on valutsehhi tingimustes võrdlemisi kergesti saavutatav valamise temperatuuri ja kiiruse reguleerimisega.

Külma metalli valamine vormi erineb kuuma metalli valamisest selle poolest, et metalli kahanemine toimub osaliselt juba kopas. Külma metalli ruumkahanemine pärast vormi täitumist erineb kuuma metalli ruumkahanemisest enne vormi valamist toimunud vedel- ja ka üleminekukahanemise võrra. Soojussõlmede ja õhukeste kohtade temperatuuride vahe muutub väiksemaks ja valandi tardumise suunatus ei ilmne järelikult nii selgesti, kui ülekuumendatud metalliga valamisel. Viimasel on suur soojusliig, mis pärast valamise lõppemist säilib ning võimaldab valupeal täita oma ülesannet paremini.



Joon. 33. Jahutajate paigutamine valandi paksendatud sõlmede ümber:
1 — valand; *2* — jahutaja.

Külma metalliga valamine annab väiksema kahanemistühimiku, kuid suurema kahanemispoorsuse. Kuum metall annab valupeas järsult suurenenud kahanemistühimiku, kuid valupeaaluse osa poorsus on väiksem.

Vormi valamise kiirus toimib samas suunas, mis temperatuurgi, kuid selle toime mehhanism on erinev. Väga suure valamiskiiruse korral ei jõua metall vormi kuumutada ning satub valupeasse kuumana isegi sifoonvalu puhul. Metalli temperatuuri lang soojussõlmedes ja õhukestes kohtades on suurem ja valupea toidab valandit paremini, s. o. koondatud kahanemistühimik tekib suurem, valandi poorsus aga väiksem. Tardumise suunatus on

sel juhul kõige selgemalt väljendatud. Vormi aeglasel täitmisel on metalli kuumendav mõju vormi alumisele osale sifoonvalu juures kõige suurem. Valupea juurde ülemistesse osadesse saabub metall jahtununa ning valupea efektiivsus langeb. Tekib väiksem kahanemistühimik, kuid suurem valupea lähedane poorsus. Tardumise suunatus peaaegu kaob, sest temperatuurilang vormi ülemise ja alumise osa vahel väheneb.

Praktikas on välja töötatud järgmised metalli kahanemise ja ebatiheduse vastu võitlemise põhialused ja soovitused:

1. Kahanemine (ruum- ja joonmõõdete vähenemine) on ülekuumutatud vedela metalli (vedelkahanemine) ning kristalliseerumise ajal jahtuva metalli (üleminekukahanemine) temperatuuri langemise vältimatuks tagajärjeks.

2. Kahanemine on seda suurem, mida suurem on vedela metalli ülekuumutus.

3. Vedel- ja üleminekukahanemise ajal langeb vedela metalli nivoo raskusjõu mõjul nii lahtistes kui ka kinnistes nõudes (valupeades, valandi paksemates kohtades ning valandi õhukeste kohtade isoleeritud ruumalades, mis ei jõudnud täielikult kristalliseeruda).

4. Vedel- ja üleminekukahanemise peamiseks kahjulikuks tagajärjeks on koondatud kahanemistühimike tekkimine paksendites (valandi soojussõlmedes) ning kristalliitidevaheliste mikrotühimike tekkimine valandi õhukeste kohtade kesktsoonides (keskpoorsus), eriti aga valupea-alustes osades.

5. Koondatud kahanemistühimikud tekivad konstantsel temperatuuril tarduvate puhaste metallide ja järeleutektiliste sulamite tardumisel. Hajutatud mikropoorid ühes nõrgalt koondatud tühimikuga tekivad temperatuuri-intervallis kristalliseeruvates sulamites (akad. A. A. Botšvari ja prof. A. G. Spasski reegel).

6. Kahanemise tagajärgedega võitlemiseks kasutatakse igasuguseid valutehnikas kasutatavaid vahendeid, mis erinevate seinapaksuste korral põhinevad peamiselt valandi tardumise suunatuse tugevdamisel kogu mahu ulatuses ja, vastupidi, üheaegse tardumise saavutamisel kogu valandi ulatuses õhukeseseinaliste, ühtlase seinapaksusega valandite puhul.

7. Tardumise suunatust iseloomustab temperatuuri lang mitte üksnes valandi paksude ja õhukeste kohtade vahel, vaid ka mistahes erineva temperatuuriga valandiosade vahel.

8. Kõige efektiivsemaks kahanemistühimikkude tekkimisega võitlemise vahendiks soojussõlmedega valandite juures on valupeade kasutamine (tühimike valandist väljaviimine).

9. Valandi ülemine osa on raskusjõu mõjul allasuvale valandiosale valupeaks (prof. V. J. Grum-Gržimailo esimene reegel).

10. Valupea peab olema toidetavast sõlmest massiivsem, et ta tarduks viimasena ja et ta suudaks toita sõlme kuni tardumise lõpuni (V. J. Grum-Gržimailo teine reegel).

11. Valand tuleb vormida nii, et kõik paksendid asuksid võimalust mööda üleval, õhukesed kohad aga all.

12. Võitluseks keskpoorsusega valupea all tuleb ülemineku-kohtadesse ette näha kooniline kahanemisvaru.

13. Võitluseks kahanemise tagajärgedega tuleb ratsionaalselt konstrueerida valukanalite süsteem ja valida selline metalli juurdejuhtimise viis, mis väldib vormi kohalikku ülekuumenemist ja tagab kuuma metalli andmise valupeasse.

14. Tardumise suunatuse tugevdamise vajalikeks vahenditeks on mittevastutusrikastel valanditel sisemised, vastutusrikastel valanditel aga välised jahutajad.

15. Valupeade kuumutamine lunkeriidiga, kaarleegiga või kõrgsagedusvooludega, mis suurendab valupea ja valandi toidetavate kohtade vahelist temperatuurilangu, aitab kaasa kahanemistühimike ja poorsuse tekkimise võimaluse kõrvaldamiseks. Kõige paremaks mooduseks tuleb lugeda kuumutamist eksotermiliste pukside abil.

16. Vormi valatava metalli temperatuuri ja valamiskiiruse tõstmine aitavad teatud tingimustes kaasa tardumise suunatusele ning võitlusele kahanemise tagajärgedega.

VALANDITE TOITMINE GAASIDE RÕHU JA VAAKUUMI ABIL

Ülalkirjeldatud valupeasid nimetatakse otsese toimega valupeadeks. Nad on lahtised või kinnised. Nende töö põhineb vedela metalli võimele raskusjõu mõjul alla laskuda ja täita valandis metalli ruumkahanemise tagajärjel tekkinud tühimikud. Otsese toimega valupead olid terasvalandite tootmisel kuni viimase ajani kõige levinenumateks. Sageli kasutatakse neid ka erimalmidest ja värvilistest sulamitest valandite valmistamisel. Metalli kulu valupeadele ületab üksikutel juhtumitel valandi kaalu, mistõttu nad väga tugevasti halvendavad tootmise tehnilis-majanduslikke näitajaid.

Lisaks suurele metallikulule, kulutatakse väga palju vahendeid ka valupeade eemaldamiseks ja nende jälgede mehaaniliseks töötlemiseks pärast jämedat mahalõikamist. Suureks saavutuseks oli valutööstuses uut tüüpi atmosfäärse ja atmosfäärist kõrgema rõhu juures töötavate, samuti ka kergestieemaldatavate valupeade leiutamine.

P. I. Jamšanov (Uraali Raskemasinaehitustehas) esitas Suure Isamaasõja ajal «meetodi tihedate terasvalandite saamiseks valupeades kõrgendatud rõhu loomisega gaasetekitavate laengute abil».

Gaaside eraldumise alguse ja kiiruse reguleerimiseks tehakse silindriline ümbris, kuhu asetatakse laeng, mitmesuguse paksusega. Silindri seinad valmistatakse savist ja kvartsliivast koos-

nevast vormisegust, täiteks aga kasutatakse mitmesuguse koostisega [1] gaasetekitavaid laenguid.

B. M. Ksenofontov töötas välja sulapronksi valuvormi (kristallisaatorisse) imemise protsessi, pumbates vormist õhu välja vaakuumpumba abil.[2]

Mõlemad meetodid võimaldavad teatud, täiesti määratud tingimustest kinnipidamisel saada tihedaid, poorideta valandeid.

Suur vene metallurg D. K. Tšernov kirjutas juba 1878. a., et kahanemistühimik on enamasti oksüdeerunud seintega, sest ülemise kooriku rebenemine, enne kui see lõplikult tardub, võimaldab välisõhul pääseda kahanemistühimikku. Teisiti öeldes, D. K. Tšernov oletas, et kahanemistühimikus on rõhk alla atmosfäärse ja soovitas seepärast valupeasisest rõhku kunstlikult tõsta, et metall, ületades kitsaste kristallidevaheliste kanalite liikumistakistuse, suudaks täita makrotühikud ja vältida kahanemispoorsust.

Gaasetekitava kärni lagunemisel tekkivate gaaside rõhu mõõtmiseks asetasid L. I. Fantalov ja L. I. Levi [3] kärni kinnisesse valupeasse (joon. 34).

Elavhõbedamanomeetriga ühendamiseks tehakse kärni 1,5 mm läbimõõduga ava. Kõige suurem gaaside rõhk (60—190 mm Hg) esines 2,3 sek. pärast valupea täisvalamist. Hiljem see rõhk langes mõnekümne sekundi jooksul. Tänu gaaside rõhule tungis metall läbi toitja osa täitva kaela valandisse.

Käesoleval ajal loovad valajad kinnistes valupeades gaasirõhku kunstlikult, kasutades:

a) harilikku atmosfäärset rõhku;

b) valupea õõnsusse asetatava spetsiaalse gaasipadruni abil tekitatavat kõrgendatud rõhku;

c) kõrgendatud rõhku gaasipadruni abil, kusjuures padrun sisaldab nii gaasetekitavat kui ka termiitsegu üheaegseks valupea metalli kuumutamiseks ning valandi toitmiseks;

d) valupeas suruõhu abil loodavat rõhuliiga;

e) kõrgendatud rõhku valupeas, rikastades terast samaaegselt süsinikuga.

Vaatleme kõiki neid meetodeid.

Atmosfäärse rõhu all töötavad valupead võttis värviliste valandite juures esimesena kasutusele A. A. Botšvar 1942. a., terasvalanditele aga L. I. Fantalov ja L. I. Levi Suure Isamaasõja aastatel tehastes «Dünamo» ja «Serp i Molot».

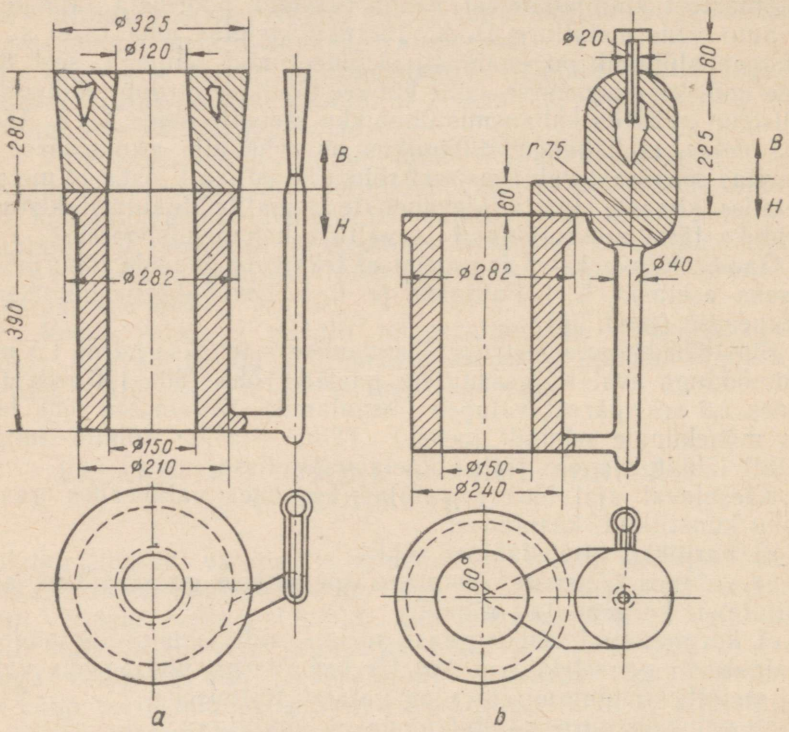
Nagu juba märkisime, seisneb otsese toimega valupeade töö selles, et vedel metall voolab neist valandisse raskusjõu toimel. Kuid kohe peale valamist tekib selliste valupeade ülaosas õhuke tarduva metalli koorik, mis isoleerib vedela metalli ümbritsevast atmosfäärist. Metalli voolamisel valupeast valandisse tekib tar-

[1] «Литейное производство», 1952, nr. 7, lk. 32.

[2] Б. М. Ксенофонтов. Литье методом вакуумного давления. Машгиз, 1952, lk. 10.

[3] «Литейное производство», 1952, nr. 3, lk. 5.

dunud kooriku alla õhutühi ruum ning vedel metall valupea alumisest osast ja isegi valandist püüab atmosfäärse välisrõhu (ca 1 kg/cm²) ning tardumisel terasest eralduvate gaaside toimel täita tekkivat tühimikku. See õhutühi ruum takistab valandi edasist toitumist. Kui aga see ruum ühendada gaase läbilaskva



Joon. 34. Valupead:
a — harilik; *b* — atmosfääriga ühendatud.

väikese soojusjuhtivusega materjali, näiteks valupeasse asetatud liivakärni abil atmosfääriga, siis kooriku all enam vaakuumi ei teki ja avaneb võimalus metalli paremaks voolamiseks valupeast valandisse. Veelgi enam, pärast valandi ja valupea pinna tardumist luuakse valupeas kooriku all üheatmosfääriline rõhk, mille mõjul metall tungib valandi alumistesse osadesse, tagades nende tihedust ja hoides ära kahanemisdefekte. Atmosfäärse rõhu all töötavates valupeades kasutatakse metalli (A. S. Filippovi [1] andmetel) efektiivsemalt kui harilikes lahtistes valupeades, mis toimivad raskusjõu mõjul (gravitatsiooni-valupead). Selles võib veenduda, võrreldes valupeade mõõteid joonisel 35.[2]

[1] А. С. Филиппов. «Стальные отливки», Машгиз, 1955.
[2] Kirjeldatud valupeades ei teki atmosfäärirõhk õhu tungimise tagajärjel

Atmosfäärsete valupeade suurus arvutatakse Uraali Raskemasinaehitustehase normaalide kohaselt valemitega:

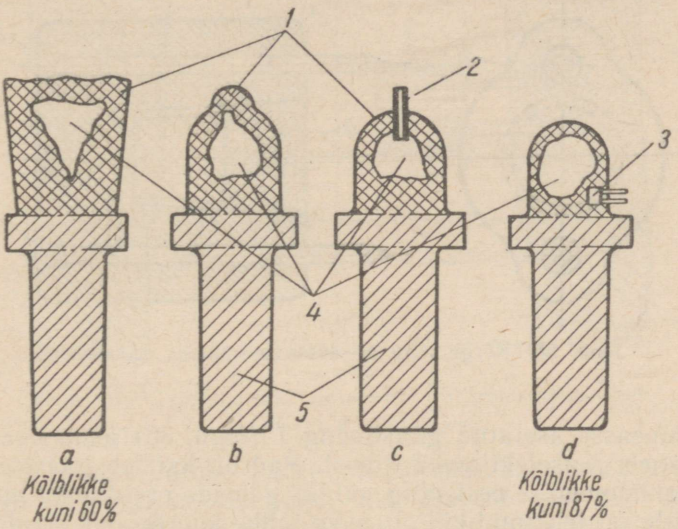
$$d_k = (1{,}3 \div 1{,}7)D,$$

kus d_k on valupea kaela kõige väiksem läbimõõt mm;
D — toidetava valandisõlme sisse joonistatud ringjoone läbimõõt,

või

$$d_0 = (1{,}8 \div 2{,}5)D,$$

kus d_o on valupea läbimõõt aluse juures.



Joon. 35. Neli samaväärse toimega valupead:
a — lahtine, otsese toimega; *b* — kerakujuline; *c* — atmosfäärsel rõhul töötav; *d* — ülerõhuga töötav;
1 — valupea; *2* — liivakärn; *3* — gaasitekitav laeng; *4* — kahanemistühimik; *5* — valand.

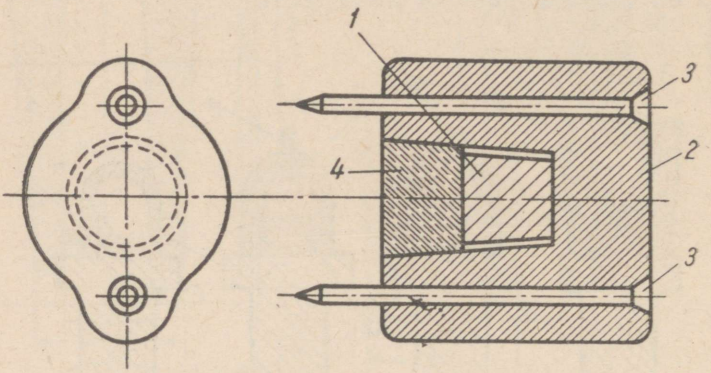
Kõige väiksemale d_0 väärtusele vastab ühe valupea poolt toidetava sõlme pikkus $L \leq 2D$, ja kõige suuremale sõlme pikkus $(3 \div 4)\ D$.

Selliste liivakärnide kasutamise puudused on ilmsed, sest gaasetekitava aine poolt tekitatav rõhk on esiteks liiga väike, et suruda vedelat terast kristallide vahelt läbi, ja teiseks tekivad gaasid kärni kuumenemisel juba 3—4 sekundit pärast valupea täisvalamist, kui tahke metallikoorik ei ole veel jõudnud tugevaks ja jäigaks muutuda. Seepärast koorik rebeneb ja gaasid

läbi kärni valupeasse, vaid, vastupidi, kärni kuumenedes tekkivad gaasid, kui nende rõhk ületab välisõhu rõhu, väljuvad kärni kaudu valupeast. Niisuguste valupeade efektiivsus oleneb kärni gaasitekitavate ainete sisaldusest ja gaasiläbitavusest. *Toim.*

tungivad välja. Ainult atmosfäärne rõhk ei suuda tardumise viimase faasi ajal tagada valandi küllaldast toitmist. Sellega seletub atmosfäärse rõhu all toimivate valupeade kasutamise tulemuste ebaühtlus.

Valupeade metalli saab efektiivsemalt ära kasutada, rakendades kõrgendatud rõhu all töötavaid valupeasid. Kinniste, rõhu all töötavate valupeade kasutamine on tihedate valandite saamisel ja valupeadele kulutatava vedela metalli hulga vähendamisel üheks kõige efektiivsemaks mooduseks.



Joon. 36. Kõrge rõhu all töötava valupea gaasilaeng.

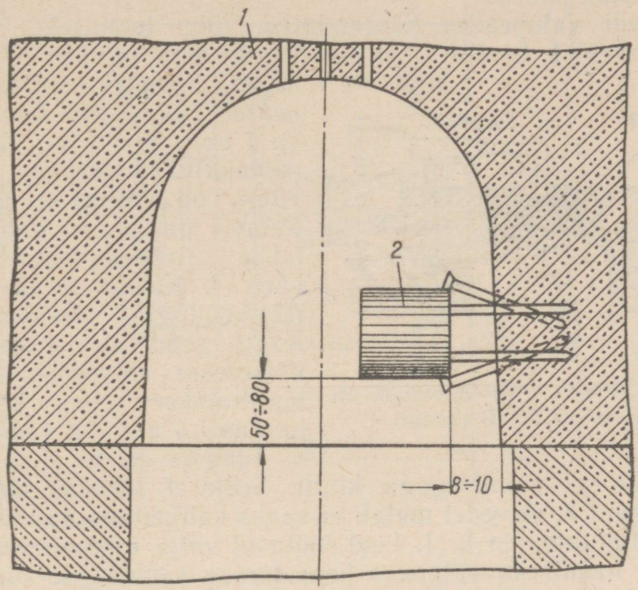
Valupeasse asetatud gaasilaeng *1* (joon. 36) asub padrunis *2* ja koosneb gaasetekitavast ainest. Padrun kaitseb gaasetekitavat ainet kuumenemise eest ning väldib gaaside eraldumist enne, kui valupeale on tekkinud küllalt paks tahke koorik, mis suudab gaaside rõhule vastu pidada. Valamisel laguneb või põleb gaasetekitav aine soojuse toimel, eraldades kindlaksmääratud hulgal gaasi, mis loobki valupeas täiendava lisarõhu. Gaasetekitava aine valik ja optimaalne kogus, nagu ka padruni seinte optimaalne paksus, sõltuvad valandi kujust, valupea kaalust, sulami tüübist ja paljudest teistest ainult katseliselt määratavatest teguritest.

Kui padruniseinte paksus on liiga väike, siis hakkab laeng tööle liiga vara ja eralduvad gaasid purustavad veel nõrga metallikooriku. Kui seinte paksus on liiga suur, tekib gaaside rõhk töötavast padrunist liiga hilja, siis, kui toidetava sõlme kahanemine on juba lõppenud.

Padrun *2* (joon. 36) on valmistatud segust, mis sisaldab 70% kvartsliiva, 30% tulekindlat savi ja 8—9% vett. Spetsiaalses kärnkastis koos naeltega *3* valmistatud padrunid kuivatatakse ja põletatakse. Kuivatamisega eemaldatakse padrunist niiskus, et see ei tekitaks valupeas enneaegset rõhku ja vormi täitmise ajal metalliga ei purustaks padruni kesta. Pärast kuivatamist laotakse

padrunid liivakihile, naelad allapoole. Samuti valmistatakse padrunile ka savikork *4*.

Padrunid ja korgid põletatakse 1100° C juures ja jahutatakse koos ahjuga. Kork peab padrunisse minema tihedalt ega tohi oma



Joon. 37. Gaasipadruni asetamine kõrgrõhu-valupeasse:
1 — valupea; *2* — gaasilaeng.

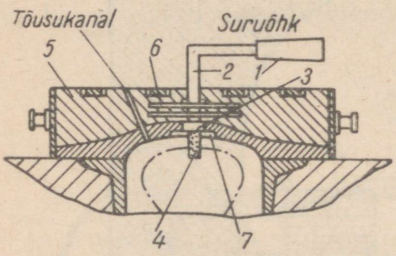
pesas pöörduda. Valmis padrun täidetakse kas 100%-liselt kriidiga või 90%-lise kriidiseguga, mis sisaldab veel 10% koksi ja 2,0—2,2% vett, või seguga 90% kriiti, 10% puusütt ja 2,0—2,2% vett. Täidetud padrunit kuivatatakse 110° C juures üks tund. Padrunid hoitakse alal kuivas kohas. Pärast pikemaajalist hoidmist kuivatatakse neid teistkordselt.

Gaasilaeng hakkab mõjuma pärast seda, kui padruni kest valupea täitumisel vedela metalliga soojeneb 700—800° C. Vedela metalli kõrge temperatuuri toimel kriit laguneb ja eraldab suurel hulgal süsihappegaasi. Kõrge temperatuuri juures põletab gaas ära koksi või puusõe süsiniku. Lisaks täiendavale gaasihulgale (süsinikoksüüdid), eraldub süsiniku põlemise soojus ning kriidi ja söe segu mõjub termiitsena, kuumutades valupea metalli. Gaasi rõhk valupeas tõuseb ja ulatub mitme atmosfäärini.

Kuivvormides kasutatavaid padruneid kuivatatakse koos vormiga 350—400° C juures. Sellel temperatuuril gaase ei teki. Padrun asetatakse valupea alumisse ossa, nagu on näidatud joonisel 37. Pilu valupea seina ja padruni vahel on 8—10 mm. Ülerõhuga töötavates valupeades ulatub metalli ärakasutamine 70%-ni. See võimaldab valupeade mõõteid tunduvalt vähendada.

Ülerõhuga töötavaid valupeasid, nagu ka teisi valupeade tüüpe, võib kasutada mistahes metallide (malm, värvilised sulamid) valamisel, kuid sellistel juhtumitel valitakse teine gaasetekitav aine ja teine kestamaterjal, et gaas eralduks madalama temperatuuri juures.

Meetodi valupeades kõrgendatud rõhu loomiseks sururõhu abil töötas V. I. Lenini nimelises Nevski tehases välja V. P. Desnitski. Surnõhk antakse valupeasse (joon. 38) kummivooliku *1* abil. Voolik on ühendatud põlvekujulise toruga *2*, mille külge on keeratud muhv *3*. Muhvis on avaus, kuhu asetatakse tulekindlast massist kärn *4*. Kärnis on 2—2,5 mm läbimõõduga tsentraalkanal. Kogu seadeldis mahutatakse väikesesse abivormkasti *5* ja kinnitatakse selles keevitatud karkassi *6* abil. Et vedel metall ei tungiks kärni *4* kanalisse, määritakse see vormiseguga kinni. Seejärel tehakse kinni abikasti süvend *7*, et vedel metall ei saaks kahjustada muhvi *3*.



Joon. 38. Surnõhu andmine kinnisesse valupeasse (V. P. Desnitski).

L. I. Fantalov ja L. I. Levi töötasid välja meetodi kõrgendatud rõhu loomiseks valupeas koos terase samaaegse süsinikuga rikastamisega. Selleks asetatakse valupeasse grafiitkärn. Grafiit süttib vahetul kokkupuutumisel oksüdeerunud terasekilega ja tekitab väikese rõhu. Lahustades süsinikku rikastub teras süsinikuga, et aga kõrge süsinikusisaldusega sulami sulamistemperatuur on madalam kui madala süsinikusisaldusega sulamil, toidab teras soojussõlme pikemat aega.

Kõik valupeasisese rõhu tõstmise viisid võivad tihedate valandite saamiseks kaasa aidata järgmiste tingimuste rangel täitmisel:

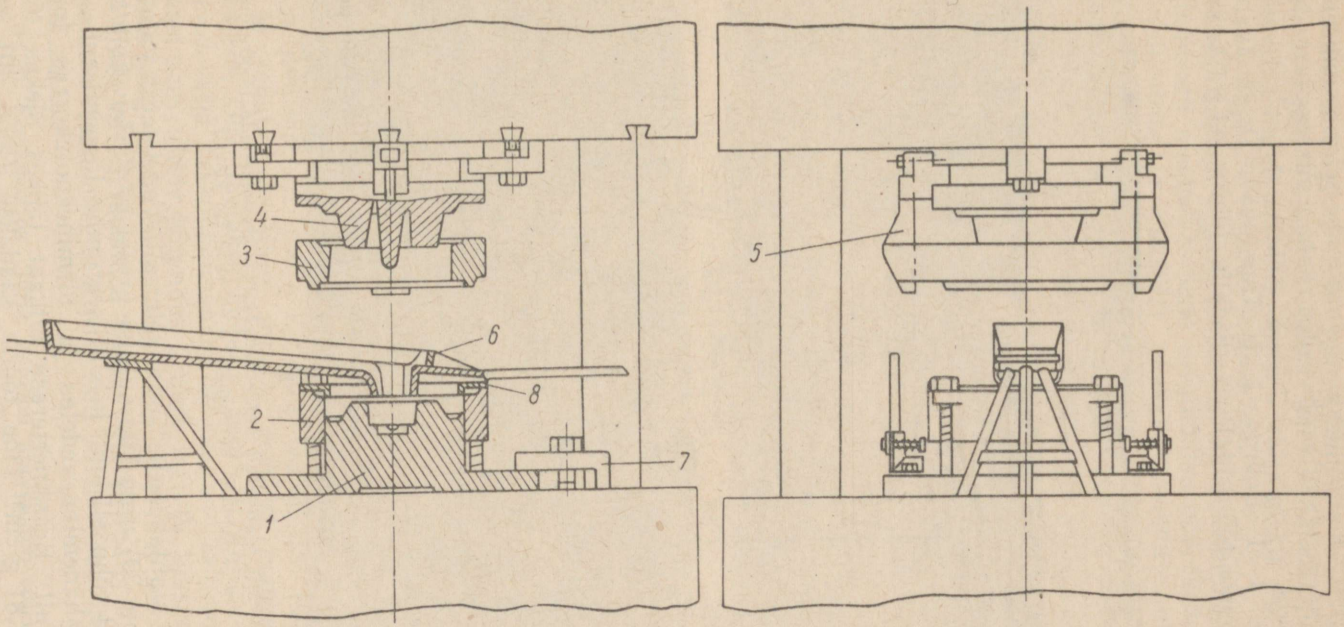
1. Valukanalite süsteem, valamise temperatuur ja kiirus, valandi asend vormis ning, lõpuks, valandi konstruktsioon peavad kindlustama suunatud tardumise.

2. Toitekanalid tuleb asetada gaasilaenguga padrunist pisut allapoole, et metallijuga ei viiks padrunit oma kohalt ja et valupeas metall oleks valamise lõpul kuumem kui toidetavas sõlmes.

3. Keskmiste ja eriti massiivsete valandite vormide seinad peavad olema nii tugevad, et nad suudaksid vastu pidada metalli hüdrostaatilisele ja täiendavale rõhule. Kuivvorm valupeas peab vastu 3—4 at, märgvorm 1—2 at.

4. Gaaside rõhk valupeas peab tõusma pikkamööda ja saavutama maksimumi pärast seda, kui valandil tekib tugev ja tahke koorik, mis suudab kõrgendatud rõhule vastu pidada.

Austeniitteras annab gaasirõhu tõstmise ükskõik millise

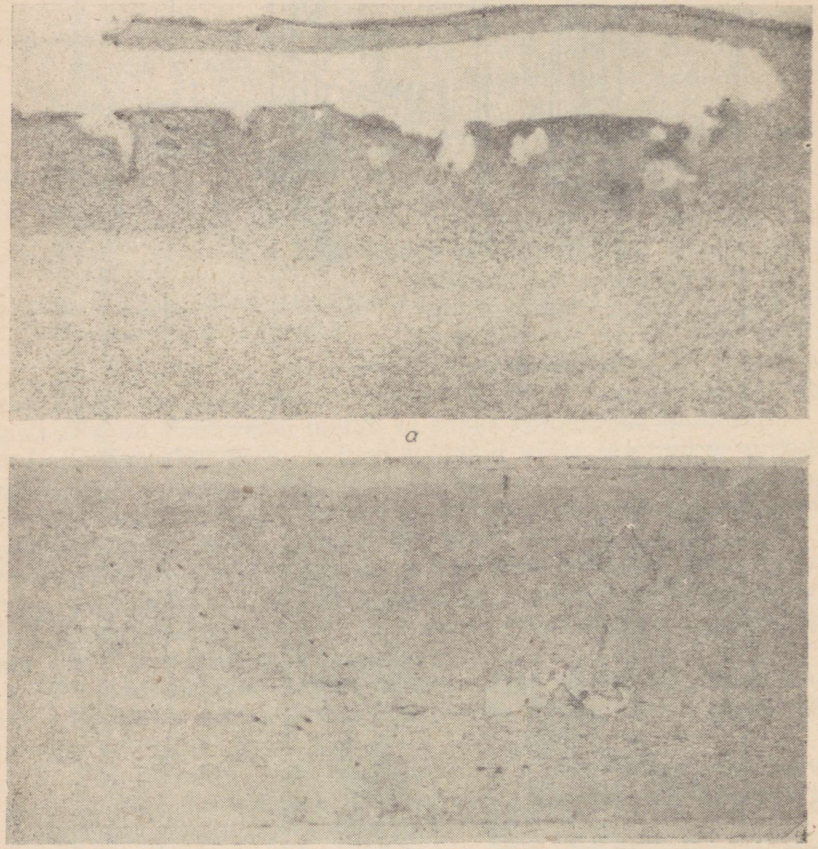


Joon. 39. Stants terase kristalliseerimiseks kõrge rõhu all:

1 — matriits; *2* — metalli vastuvõturõngas; *3* — mahalõikerõngas; *4* — tempel; *5* — lõikemehhanism; *6* — renn; *7* — klambrid; *8* — kaitseraketis (žakett).

ülalkirjeldatud viisi kasutamisel tihedad valandid ainult suure tehnoloogilise varu olemasolul ja tardumise selge suunatuse juures. Ainult kõrgendatud rõhk üksi kahanemispoorsust kõrvaldada ei suuda.

Insenerid I. I. Bobrov, J. L. Dundukov, D. P. Ivanov ja K. N. Smirnova töötasid P. N. Bidulja juhtimisel välja meetodi



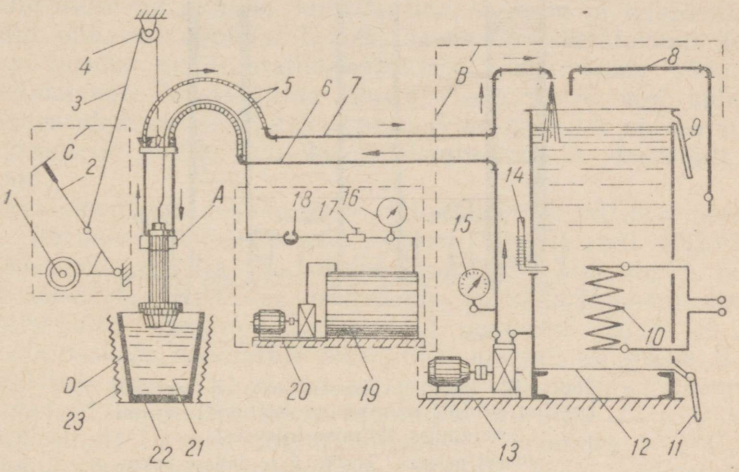
Joon. 40. Vedelalt stantsitud bessemerterasest proovikehade makrolihvid: *a* — ülerõhku kasutamata; *b* — rõhul 125 kg/cm².

vedela terase stantsimiseks suure rõhu all. Vedel teras valatakse matriitsi (joon. 39) ning hüdraulilise pressi allalaskuv kolb hoiab vedela metalli rõhu all kuni kristalliseerumise lõppemiseni.

Metalli kahanemine vedelas ja üleminekuolukorras toimub suure rõhu all. Bessemerterase erikaal tahkes olekus tõuseb 7,6-lt kuni 7,81 g/cm³. Tihe toorik saadakse (joon. 40) ainult

kindla erisurve juures. Atmosfäärsel rõhul tekib kahanemistühimik. Umbes 200 kg/cm² rõhu juures esinevad toorikus kahanemistühimiku jäljed, 500 kg/cm² juures kaob kahanemistühimik täiesti. See moodus tagab kõlbliku metalli väljatuleku kõrge protsendi (90%). Valupeade vajadus langeb ära.

Mõned aastad tagasi töötas B. M. Ksenofontov välja uue vaakuumvalu meetodi [1]. Selle originaalse pöördkehatüüpi valandite (silindrite ja pukside) saamise mooduse olemus seisab selles, et vedel metall imetakse veega jahutatavasse metallvormi (kristallisaatorisse), milles ta tardub.



Joon. 41. Vaakuumvaluseade (B. M. Ksenofontov):

A — kristallisaator; *B* — kristallisaatori jahutusseade; *C* — kristallisaatori tõstemehhanism; *D* — sulatamis-jaotusahi; *1* — kristallisaatori vastukaal; *2* — kristallisaatori tõstehoob; *3* — tross; *4* blokk; *5* — painduvad voolikud; *6* — veetoru; *7* — vee äravoolutoru; *8* — veetorustik; *9* — ülevool; *10* — veeeelsoojendi; *11* — väljalasketoru; *12* — jahutusvee paak; *13* — veepump; *14* — termomeeter; *15* — manomeeter; *16* — vaakuummeeter; *17* — süsteemi vaakuumi regulaator; *18* — vaakuumkraan; *19* — vaakuumballoon; *20* — vaakuumpump; *21* — vedel sulam; *22* — tiigel; *23* — küttekeha.

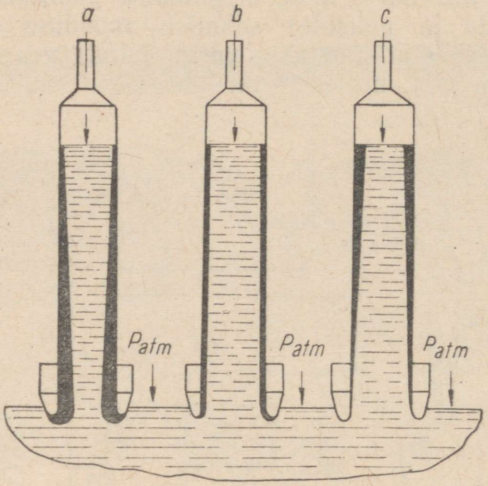
Kristallisaator *A* (joon. 41) asetatakse mehhanismi *C* abil sulametalli tiiglisse *D*. Töötamisel jahutatakse kristallisaatorit veega, mis siseneb toru *6* kaudu ja väjub läbi toru *7* paaki *12*, kus ta jahutatakse ning antakse seejärel pumbaga *13* uuesti torusse *6*. Õhk imetakse metalli lastud kristallisaatori kinnisest ruumist välja vaakuumpumbaga *20* vaakuumballooni *19*. Kristallisaatori sees tekkiv hõrendus sunnib metalli tõusma kristallisaatorisse ning jääma sinna kuni täieliku tardumiseni.

Metalli nivoo tõusmise kiirust kristallisaatoris reguleeritakse hõrenduse muutmisega. Kui metall kristallisaatoris tõuseb aeg-

[1] Б. М. Ксенофонтов. Литье методом вакуумного всасывания. Машгиз. 1952.

laselt (joon. 42), siis hakkab tahke koorik saadava tooriku alumises osas kasvama sedavõrd kiiresti, et suleb metalli sissepääsu varem, kui täitub kristallisaatori õõnsus.

Kui metalli sisenemise kiirus on suur, algab kristalliseerumine ülevalt ja tardumise suunatus on õige. Alumine osa on ülemisele valupeaks. Kui valandi ülemine osa kristalliseerub, toimub



Joon. 42. Imemisprotsessis tekkiva metallikooriku profiili muutumine sõltuvalt vormi sulamiga täitmise kiirusest:
a — altpoolt paksenev koorik; *b* — ühtlase paksusega koorik; *c* — ülalt paksenev koorik.

metalli kahanemisest tingitud vähenemise täiendamine valandis tekkiva vaakuumi arvel. On kerge ette kujutada, et kahanemise kõrvaldamiseks vajaliku metalli sisseimemine on võimalik ainult madalate kristallisaatorite kasutamisel. B. M. Ksenofontovi meetodit kasutatakse mitmes Uraali valutehases värvilistest metallidest valandite tootmiseks. Tööstuslike seadmete töötamise praktika näitas, et imemise teel valamisega saadakse tihedamad ja paremate mehaaniliste omadustega valandid kui muldvormidesse valamisel. Pealegi võib hästiorganiseeritud tootmise korral töötada odavama metalltäidisega. Kõlbliku valu väljatulek tõuseb tunduvalt, sest vähenevad töötlemisvarud ja valupraak.

LIKVATSIOON FASSONGVALANDITES JA VALUPLOKKIDES

Likvatsiooniks nimetatakse kristallisatsiooniprotsessis tekkivat sulami füüsikalis-keemilist ebaühtlust. Likvatsiooninähtuse avastasid 1866. a. A. S. Lavrov ja N. V. Kalakutski, kes esi-

mestena hakkasid õigesti tõlgitsema valatud metalli defekte. (Mõnikord nimetatakse likvatsiooni segregatsiooniks, kuid sagedamini kasutatakse esimest terminit.) Tehnilistes sulamites esineb likvatsioon mitmel kujul.

Füüsikalistele ja mehaanilistele omadustele kõige kahjulikumat mõju avaldab tsonaalne likvatsioon, mis on avastatav terasest, malmist ja värvilistest sulamitest massiivsete valandite ja valuplokkide makrolihvidel. Likvatsiooni tekkimise peapõhjuseks on erikaalude vahe, mis soodustab kergete lisandite pinnaleujumist ja raskete lisandite sadestumist valandi või valuploki alumistesse tsoonidesse. Räbu, gaasid ning kerged fosfiidid ja sulfiidid tõusevad pinnale, kuid seatina, volfram ja teised rasked lisandid püüavad uppuda. Teiseks tsonaalse likvatsiooni tekkimise põhjuseks on kristallisatsioonirõhk, ehk teiste sõnadega raskestisulavate kristalliitide tiheda rinde surve veel suladele komponentidele, mis tõrjutakse perifeeriast valandi või valuploki soojustsentrite juurde, näiteks raudsulfiidide ja -fosfiidide likvatsioon.

Likvatsiooni seaduspärasuste kindlaksmääramiseks poolitas A. A. Rõžikov[1] 400×600 mm suuruse terasvalandi (0,25% C) ja lõikas sellest välja proovikeha (joon. 43), mis lihviti, poleeriti ja söövitati. Ristlõike kesktsoonis on näha tumedate likvatsioonilisandite tihenenud «pilved». Proovikeha jagati 40 mm laiusteks osadeks, likvaatide kogumikud märgiti pliiatsiga. 3 mm läbimõõduga puuri abil võeti laast põhimetalli ja likvatsioonikohtade metalli analüüsimiseks. Tsoonides märgiga *1* ja *3* võeti proovid ainult likvatsioonipiirkondadest. Tsoonides *V-1*, *V-2* ja *V-3* tehti likvatsioonipiirkondade analüüs koos põhimetalliga. Tabelisse 1 paigutatud keemilise analüüsi tulemused illustreerivad likvatsiooni iseloomu üksikutes tsoonides.

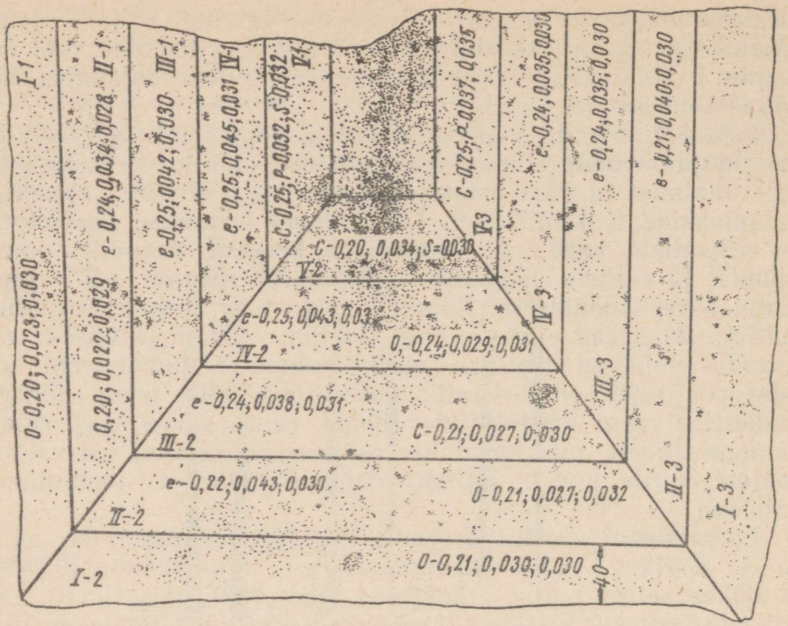
Tabeli 1 andmetest nähtub, et peamiseks likvatsiooni tekitavaks elemendiks on fosfor. Ta likveerub vedelate fosfiididena, mis surutakse kristallisatsioonirõhu mõjul valandi telgtsooni (tsoon *V* joonisel 43). Väävli, fosfori ja süsinikusisaldus põhimetallis valandi ristlõike ulatuses märgatavalt ei muutu. Kõikide tsoonide likvatsioonipiirkonnad on peaaegu ühesuguse keemilise koostisega.

Likvaatide väljatõrjumise nähtusele aitab lisaks tiheda kristallidefrondi rõhule kaasa kahanemisest tingitud makro- ja mikrotühimikes tekkiv hõrendus (vaakuum).

Järeleutektilise koostisega malmis tekib tänu mahu suurenemisele, mida põhjustab grafiidi eraldumine malmi kristalliseerumisel, positiivne rõhk (tardumisel tekib kahanemise asemel kasv) ning fosfiidid surutakse tilgakestena ehk nn. «higina» välispinnale. Fosfiidide väljahigistamine ilmneb mõnikord tinapronksi juures. Seda nähtust nimetatakse pöördlikvatsiooniks.

---

[1] А. А. Рыжиков. Улучшение качества отливок. Машгиз, 1952.



Joon. 43. Likvatsioonist tingitud lisandid terasvalandis (A. A. Rõžikov).

Tabel 1.

Likvatsiooni iseloom valandi tsoonides
(A. A. Rõžikov)

Tsooni nr.	Keemiline koostis %					
	likvatsioonipiirkondades			põhimetallis		
	C	P	S	C	P	S
I-1	—	—	—	0,20	0,023	0,030
II-1	0,24	0,034	0,028	0,20	0,022	0,029
III-1	0,25	0,042	0,030	—	—	—
IV-1	0,25	0,045	0,031	—	—	—
V-1	0,25	0,032	0,032	—	—	—
I-2	—	—	—	0,21	0,030	0,030
II-2	0,22	0,043	0,030	0,21	0,027	0,032
III-2	0,24	0,038	0,031	0,21	0,027	0,031
IV-2	0,25	0,043	0,030	0,24	0,029	0,031
V-2	0,24	0,034	0,030	—	—	—
I-3	—	—	—	—	—	—
II-3	0,21	0,040	0,030	—	—	—
III-3	0,24	0,035	0,030	—	—	—
IV-3	0,24	0,035	0,030	—	—	—
V-3	0,25	0,037	0,035	—	—	—

Tabel 1 (järg).

Tsooni nr.	Keemiline koostis %					
	likvatsioonipiirkondades			põhimetallis		
	C	P	S	C	P	S
	Tsoonide keskmised andmed					
I	—	—	—	0,20	0,027	0,030
II	0,22	0,039	0,029	0,21	0,024	0,030
III	0,24	0,038	0,030	0,21	0,027	0,030
IV	0,24	0,041	0,030	0,21	0,029	0,030
V	—	—	—	0,24	—	0,031

Arvud tähisega *e* joonisel 43 tähendavad likvatsioonipiirkondade, märgiga *o* põhimetalli ja ilma igasuguse märgita — üldise analüüsi andmeid.

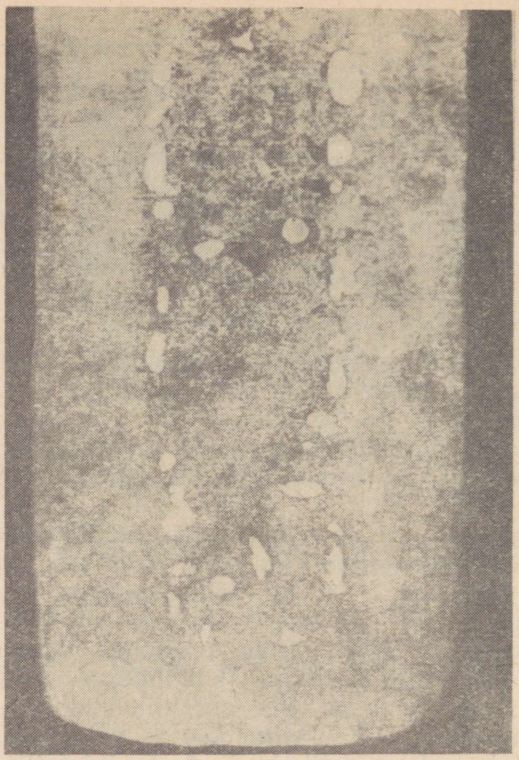
Õhukeseseinalistes valandites, mis tarduvad suure kiirusega ja kahanemise ajal vaakuumi ei tekita, tsonaalset likvatsiooni ei esine.

S. M. Voronovi ja V. I. Dobatkini töödest, kes uurisid likvatsiooni värvilistes sulamites, võib järeldada, et kui kahanemisel tekib vaakuum, s. o. kui tekib tarduvat vedelikku atmosfäärist eraldav tihe jäik koorik, koonduvad likveeruvad lisandid kesktsoonidesse. Tekib otsene tsonaalne likvatsioon. Metallvormidesse või vesijahutusega kokillidesse valamisel otsene likvatsioon kaob ja läheb üle pöördlikvatsiooniks (vask alumiiniumisulamites), sest elastne koorik nähtavasti kahanemise tõttu aheneb, surub vedelikule ja loob kristallisatsioonirõhust suurema positiivse siserõhu.

Ülalkirjeldatud otsese ja pöördlikvatsiooni nähtused toimuvad degaseeritud sulamites. Kristalliseerumisel eralduvate ja muutlikku rõhku tekitavate gaaside juuresolu muudab ainult likvatsiooni nähtavaid tulemusi, teda põhjustavad jõud aga jäävad endiseks. Prof. J. A. Nehendzi toob näiteks gaasilise likvatsiooni (joon. 44), mis tekib sulami jääkvedeliku imendumisest keeva terase gaasimullikestesse seetõttu, et kergestisulav vedelik liigub kapillaarkanalite kaudu ruumala nendesse kohtadesse, kus partsiaalrõhk on väiksem. Osa mullikeste ruumalast täitub seejuures vedelikuga.

Mõõdapääsematu on järeldus, et tsonaalse likvatsiooni peapõhjuseks on valandi või valuploki temperatuurilangudest ja suunatud tardumisest tingitud rõhkude vahe ehk rõhulang. On selge, et mida suurem on rõhulang ja mida jämedamad on kanalid (massiivsed valuplokid või valandid) kristalliitide vahel, seda kiiremini paikneb kergestisulavate lisandite mass ühest tsoonist teise. Osmootse (partsiaal-) rõhu lang on gaasilise likvatsiooni põhjuseks.

Kui rõhk valuploki servades on suurem kui keskel, liiguvad likveeruvad lisandid telgtsooni ja kutsuvad esile otsese likvat-



Joon. 44. Gaasiline likvatsioon terases (J. A. Nehendzi).

siooni. Kui rõhk valandi tsentris on suurem kui rõhk perifeerses tsoonis (malmvalandid), liigub likveeruv vedelik (raudfosfiidid) tsentrist perifeeriasse ja ilmneb pöördlikvatsioon.

Vaatleme dendriitseks ehk kristalliliseks nimetatava mikrolikvatsiooni tüüpilisi juhtumeid. Sedaliiki likvatsiooni peapõhjuseks on samuti rõhulang, mis tekib molekulidevaheliste termodünaamiliste jõudude toimel. Eristatakse kristallisisest ja kristallidevahelist likvatsiooni. Kui mikroruumala, kus asuvad mõned kristallid, lahti lõigata ning vaadelda igat kristalliiti risti- või pikilõikes, siis sarnaneb mikrolikvatsioon tsonaalse likvatsiooniga.

Kristallisisese likvatsiooni näiteks on austeniidikristall, mis tekib raud-süsiniku sulamis kristallisatsioonitemperatuuride intervallis. Kooskõlas kristallisatsiooniteooriaga langeb sulamist kõigepealt välja kõige raskemini sulav element — väikese süsinikusisaldusega teras, ümbritsev vedelik aga rikastub kangireeglile vastavalt süsinikuga. Järgmine kiht, mis sadestub kas-

vava dendriidi pinnale, sisaldab süsinikku rohkem. Kui kasvamine lõpeb, siis viimasel hetkel enne kristallisatsiooni lõppemist sadestub dendriidi pinnale kõrge süsinikusisaldusega terase kiht. Dendriidi ristlõike kesktsoon sisaldab rohkem rauda (otsene likvatsioon), perifeerne aga rohkem süsinikku (pöördlikvatsioon). Selline kristalliseerumine on omane kõigile tahkeid lahuseid moodustavatele sulamitele.

Konstantsel temperatuuril kristalliseeruvad sulamid, näiteks eutektiline malm, moodustavad kahefaasilisi kristalliite. Kumbki faas kujutab enesest austeniidist ja tsementiidist või grafiidist koosnevat homogeenset ainet.

Kui põhimetalli kristaliseerumise lõpul sulamis leidub vedelaks jäänud kergestisulavaid lisandeid, siis paiknevad need kristallide vahele ja moodustavad liimikihi taolisi teradevahelisi ümbriseid.

Seda nähtust nimetatakse kristalliväliseks likvatsiooniks. Kujutlus kokkukleepunud kristalliitidest on kaasaegses metallograafias suure tähtsusega tugevust tõstvate või alandavate põhjuste uurimisel, sest ta võimaldab leida otsese seose sulami keemilisest koostisest, kristallisatsiooni kiirusest, mittemetalsete lisandite kujust ja asendist sõltuva kristalse likvatsiooni ja valmis metalltoodete omaduste vahel. Vedelast metallist valmistatud toodete omaduste olenevuse kindlaksmääramine vedela metalli omaduste põhjal on üheks valutootmise peaküsimuseks, sest see võimaldab tehnoloogilise protsessi juhtimisega mõjutada valandite jt. metalltoodete omadusi.

Lõpuks tuleb ütelda, et likvatsioon on kahjulik nähtus, mis kutsub valandimetallis esile mitte ainult keemilist, vaid ka füüsikalist ebahomogeensust ja alandab toodete mehaanilist tugevust.

Likvatsiooninähtuste kõrvaldamiseks või nende ärahoidmiseks tuleb kasutada spetsiaalseid abinõusid. Need on:

a) likvatsiooni tekitavatest lisanditest (väävlist ja fosforist) puhtate täitematerjalide valik;

b) metalli rafineerimine sulatamisel ja tema kaitsmine teisese oksüdeerumise eest valamisel;

c) valandite kristalliseerumise kiirendamine kõigi valutootmise tehnoloogias kättesaadavate vahenditega;

d) renni ja kopa vooderdise, valukanalite ja vormi seinte uhtumise vältimine metallijoa poolt;

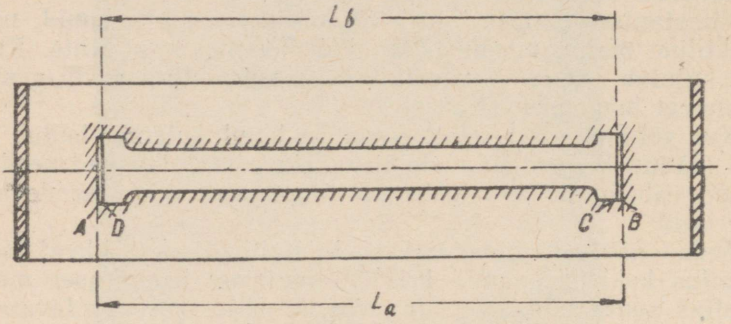
e) erijuhtudel kõrgete rõhkude kasutamine valandite kristalliseerimisel.

FASSONGVALANDITE JOONKAHANEMINE, PRAGUNEMINE JA KAARDUMINE

Kui võrrelda mudeli mõõteid valandi omadega, siis ilmneb nende märgatav erinevus.

Mudeli mõõted on valandi omadest alati suuremad. See on

tingitud kahanemisest — metalli omadusest tardumisel vähendada oma ruumala. Eristatakse joon- ja ruumkahanemist. Esimene põhjustab valandi mõõte vähenemise mingis suunas, teine — vormi õõnsusse valatud metalli ruumala erinevuse täiesti jahtunud valandi ruumalast.



Joon. 45. Valandite joonkahanemine.

Joonkahanemise määrab valandi esialgse pikkuse (valuvormi punktid *A* ja *B*, joon. 45) ja lõpliku pikkuse (valandi punktid *C* ja *D* pärast jahtumist) vahe. Seega joonkahanemine avaldub

$$\Delta L_{jk} = L_a - L_l .$$

Kui võtta lõplik pikkus L_l võrdseks 100%, jagada temaga vahe $L_a - L_l$ ning korrutada sajaga, saame suhtelise joonkahanemise protsentides.

$$\delta_{jk} \frac{L_a - L_l}{L_l} 100\%.$$

Kuuma valandi lühenemine algab kohe pärast tahke kooriku tekkimist valandi pinnal, mis fikseerib pikkuse L_a .

Eristatakse kaht vormi valatud sulamite joonkahanemise teisendit — vaba ja takistatud kahanemist. Vaba kahanemine esineb juhul, kui vormis ei ole mingisuguseid väljaulatisi (silinder, kuup, koonus jne.) ning lüheneva valandi ja vormi seinte materjali vahel puudub hõõrdumine. Viimane jäetakse arvutustes tähele panemata. Tegelikkuses esineb takistatud kahanemine, mistõttu valandi lõpp-pikkus osutub suuremaks kui vabal kahanemisel ning suurused ΔL_{jk} ja δ_{jk} muutuvad väiksemaks.

Praktikas esineb küllalt sageli juhtumeid, kus vormisegu järeleandlikkus on liiga väike. Segukiht ei anna valandi kahanemisest tekkivatele jõududele järele ning suurused ΔL_{jk} ja δ_{jk} vähenevad. Valandis tekib pingestatud olukord — pikas vardas tekivad väljaulatistele mõjuvate jõudude tagajärjel tõmbepinged.

Kõikide metallide ja sulamite tõmbe- ja muljumistugevus, samuti aga ka plastilisus vähenevad temperatuuri tõusmisel.

Metallide rabedus sulamistemperatuuri läheduses on nähtavasti sarnane klaasi rabedusega. Kui pinge takistatud kahanemisel tõuseb, hakkab valand vormis välja venima ja katkeb lõpuks nagu proovikeha tõmbekatsul. Kui vormi järeleandlikkus on väike, on valandi suhteline kahanemine δ_{jk} väiksem.

Autoril õnnestus 1927. a. tehases «Serp i Molot» vaadelda mangaanterasest rööparistmiku valandit, mis mittejäreleandlikku vormi valamise tõttu oli rebenenud viieks eraldi tükiks. Metall oli katkemiskohtades musta värvusega, mis tõendab pragude tekkimist kõrgetel temperatuuridel. Selliseid pragusid nimetatakse kuumadeks, erinevalt madalatel temperatuuridel (tõenäoliselt 150—200° C) tekkivatest külmpragudest. Kuumpraod tekivad saastunud ning oksüüdikilede või eraldunud ja kauaks vedelaks jäävate likvaatidega (eriti fosfiididega) ümbritsetud teradega metallis nendes kohtades, mis tarduvad viimases järjekorras, kui kahanemine on maksimaalselt takistatud. Eriti hädaohtlikud on valatud masinaosade töökindlusele sisemised rebestused, mis on avastatavad γ-kiirtega läbivalgustamise teel või muude vahenditega. Pinnaleulatuvad kuumpraod võib kinni keevitada või detaili lihtsalt välja praakida ning ekspluatatsiooni mitte lubada.

Välised kuumpraod ilmnevad kõige sagedamini väljaulatiste nurkades, äärikute all ja valandi teistes tugevasti ülekuumutatud kohtades. Joonisel 46 on näidatud järeleandmatu kärni poolt takistatud kahanemisest tingitud kuumpraod elektrimootori kere terasvalandis.

V. N. Saveiko uuris takistatud kahanemisest põhjustatud pingeid terasest proovikehades [1] ja leidis, et pehmes süsinikterases tekivad kuumpraod pingetel 90 kg/cm², perliitterases — 40 kg/cm² ja austeniitterases 20 kg/cm² juures, s. o. pingetel, mis on 40—45 korda väiksemad süsinikterase ja 200—300 korda väiksemad austeniitterase tugevusest toatemperatuuril.

Tsehhitingimustes täheldatavat valandite faktilist joonkahanemist nimetatakse valukahanemiseks. Malmi ja teiste sulamite valukahanemine sõltub keemilisest koostisest ja tardumise ning täieliku jahtumise perioodil esinevate rohkearvuliste metalli struktuuri muunduste täielikkusest. Need struktuursed muundused on omakorda seotud valandi jahtumise kiirusega ja sõltuvad lõppkokkuvõttes valamise temperatuurist, tardumise iseloomust ja intervallist, kristalliseerumissoojusest, metalli ja vormi soojusjuhtivusest ning teistest valu soojuslikest tingimustest.

Malmvalandite valukahanemine on keskmiselt 1%, terasvalanditel 1,5—2%, austeniitsest mangaanterasest valanditel 3%, tinapronksist valanditel 1,5%, pliid sisaldavast laagripronksist valanditel 1,3%, alumiiniumisulamitest valanditel 1,1—1,3% ja magneesiumisulamitest valanditel 1,1 — 1,4%.

Takistatud kahanemisega suurte (üle 1500 mm pikkade) teras-

[1] «Литейное производство»,1951, nr. 5, lk. 22.



Joon. 46. Kuumpraod elektrimootori kere teras-valandis (L. J. Levi).

valandite valukahanemine võetakse 1%, suurtel malmvalanditel 0,7%.

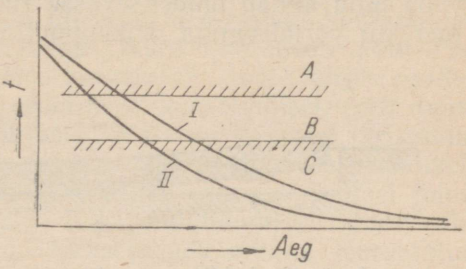
Massiivse valandi jahtumine vormis väga kiire jahutamise tingimustes, näiteks metallvormis, viib selleni, et valandi ristlõikes tekib suur temperatuurilang. Võib ette kujutada, et igal kihil, millel on oma temperatuur (välised kihid on külmad, sisemised aga kuumad), on ka erinev pikkus, kui iga kiht jahtub iseseisvalt. On pikemata selge, et kuumemad väliskihid peavad olema sisemistest lühemad. Et aga kõik kihid jahtuvad üheskoos, tekivad nende vahel pinged, mida nimetatakse termilisteks pingeteks. Iga kiht püüab end naaberkihtide küljest lahti tõmmata. Sellist jahtumispilti kirjeldasid möödunud sajandil N. V. Kalakutski ja A. S. Lavrov.

Termilised pinged jahtuvates valandites on seda suuremad, mida suurem on temperatuurilang, s. o. mida intensiivsem on soojusvahetus kuuma valandi ja suhteliselt külma vormi vahel. Metallvormides, mis juhivad soojust ära kiiremini kui muldvormid, on valandites pingete tekkimise oht suurem. Eriti suur on

temperatuurilang katmata metallvormides. Vormiõõnsuse tööpinna katmine soojust mittejuhtiva värviga kaitseb valandit liiga järsu jahtumise ja suurte termiliste pingete tekkimise eest.

Temperatuurilang Δt valandi kõige rohkem kuumutatud sisemise keskosa (*I*) (joon. 47) ja külma välisosa (*II*) vahel pärast valamist on määratud temperatuuride vahega $\Delta t = t_I - t_{II}$.

On kerge kindlaks teha, et temperatuurilang muutub nulliks alles pärast valandi täielikku jahtumist, s. o. kui valandi välis- ja siseosade temperatuurid muutuvad võrdseks.



Joon. 47. Pingete tekkimine valandi sees kuuma ja külma osa temperatuuri ning pikkuste suure erinevuse tagajärjel.

Kuumpragude tekkimise temperatuuride piirkonna *A* määrab enamiku tehniliste sulamite rabedus solidustemperatuuri lähedal. Piirkonnas *B* muutuvad sulamid plastiliseks, millel põhinevad sepistus- ja valtsimisprotsessid. Piirkonna *B* temperatuuridel võib läbi valtside lasta mitte ainult terast ning vedelvaltsimise teel saadud ja lõõmutatud malmlehti, vaid isegi hallmalmi [1] (vt. peatükk «Malmvalu»). Edasisel jahtumisel muutuvad teras ja malm piirkonnas *C* elastseks ning tooteid sepistada enam ei saa. Graafikult (joon. 47) saab määrata, et piirkonda *C* langevate temperatuuride juures temperatuurilang valandi kuumade ja külmade osade vahel veel esineb. Esinevad ka termilised pinged.

Kui sisepinged ei välju Hooke'i seadusele alluvate elastsete deformatsioonide piirkonnast, siis esineb valandi mõõdete muutumine. Tekkivad pinged on väljendatavad Hooke'i valemiga:

$$\sigma = E\delta,$$

kus σ on sisepinge kg/mm²;

E — elastsusmoodul [2] (süsinikterasel 21 000, malmil 4000—12 000, vasel 12 500 kg/mm²);

δ — suhteline pikenemine.

Timošenko annab ühelt küljelt kuumutatavate (või jahutatavate) plaatide jaoks valemi pingete arvutamiseks, arvesse võttes temeperatuurilangu $(t_I - t_{II})$:

---

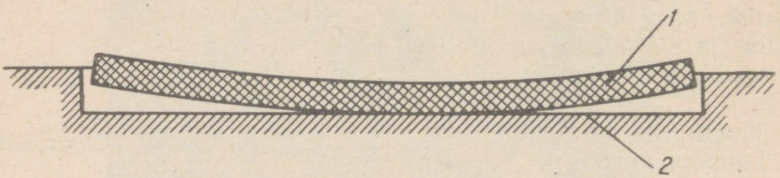
[1] Inglise patent 697743, 30. sept., 1953. a., sferoidaalse grafiidiga malmi valtsimiseks. Malm võib sisaldada 2,5—4,3% C; 0,008—0,009% Mn; 1,9—3,5% Si; 0,1% P; 0,2% S; 0,03—0,2% Mg või Cl, Ni või Co alla 20%.

[2] А. А. Горшков. Отливка для металлургического оборудования. Машгиз, 1947, lk. 16—48.

$$\sigma = \frac{\alpha E(t_I - t_{II})}{1 - \mu},$$

kus α on joonpaisumistegur;
μ — Poisson'i tegur.

Ilmekaks näiteks vormis jahtuvate valandite kaardumisest on lahtises vormis valatud lame plaat (joon. 48). Vedela metalli vaba pind annab ümbritsevasse ruumi kiirguse teel rohkem soojust kui vormiseguga kokkupuutuv alumine pind. Kui ei võeta



Joon. 48. Lahtises vormis valatud lameda plaadi kaardumine:
1 — valand; *2* — vorm.

tarvitusele ettevaatusabinõusid, tõusevad plaadi servad üles ning valand kaardub. Et valandi mõõdete muutumist ära hoida, kaetakse vormi nurgad pärast valamist seguga. Parem on selliseid plaate valada kinnises vormis ja pärast valamist paljastada hõõguva metalli pinna keskosa (s. o. kiirendada valandi keskosa jahtumist), et plaat jahtuks kõikides osades ühtlasemalt.

Kui esinevad pinged ületavad materjali tugevuspiiri, tekib valandis pragu, mida nimetatakse külmpraoks. Külmprao värske murdepind on kristalse iseloomuga ja ei ole kaetud musta tagikihiga nagu kuumpragude pind. Selle poolest erinevad külmpraod oma välisilmelt kuumpragudest.

Prof. A. A. Gorškov tegi ettepaneku jagada külmpragusid kolme liiki. I liiki pragudele on iseloomulik, et nad tekivad soojuslöögi sarnasel kiirel ja ühekülgsel kuumutamisel ning ilmuvad valandi külmal küljel. Esmakordsel selletaolisel kuumutamisel ei pruugi tootes pragusid tekkida. Sageli tekivad I liiki praod pärast korduvat kuumutamist, näiteks teras-valuplokkide malmkokillides.

II liiki praod tekivad kuumal küljel algul peenikeste, silmaga vaevalt nähtavate juuspragudena, mis iga järgneva kuumutamisega suurenevad ning muutuvad laiemaks. Lõpuks tekib kogu valandi ristlõiget läbiv pragu.

Erinevalt I liiki pragudest, mis tekivad toodete välisküljel, tekivad II liiki praod siseküljel, mis on seletatav neid esilekutsuvate põhjustega. Esimesed tekivad valandi jahtumisel, teised aga kuumutamisel.

Külmpraod tekivad kohtades, mis on sisepingete mõjul tõmbe all, kui need ületavad tõmbetugevuse temperatuuridel alla 700° C.

Paksude ja õhukeste ristlõigetega valandites tekivad praod massiivsetes kohtades. Et valandi massiivses kohas külmprao tekkimist ära hoida, tuleb selle koha jahtumist kiirendada (näiteks jahutaja või valuribide kasutamisega) või õhukeste kohtade jahtumist aeglustada (asetades toitekanalid valandi õhukestesse kohtadesse).

Külmpraod võivad tekkida ka niinimetatud faasiliste muundumiste tagajärjel, näiteks γ-raua üleminekul α-rauaks karastamise ajal. Vees karastamisel võib terase maht suureneda kuni 3%. Kui selline ruumala kasv toimus karastatava toote kõigis osades üheaegselt, näiteks õhukese žiletitera karastamisel, siis faasi muundumised pingeid ei põhjusta. Valatud terasest sepaalasi vees karastamisel ei saa austeniit kogu massi ulatuses hetkeliselt muutuda martensiidiks. Toode läbinisti ei karastu. Sellisel juhul suureneb karastatud kihi maht faasi muundumisel ainult niisugusel määral, mis on antud terasesordile omane. Karastatud kihi ja karastamata kihi vahel võivad tekkida faasipinged ja karastatud väliskihis praod [1].

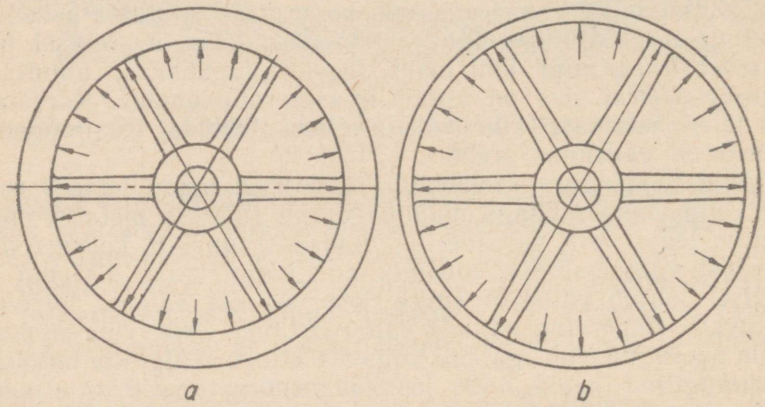
Veidi teistsuguse iseloomuga faasilised muundumised esinevad valgenenud pinnaga malmvalandite (näiteks metallvormides valatud lehtmetalli valtside) jahtumisel. Pinnakiht koosneb väga rabedast valgemalmist, südamik aga hallmalmist. Valandi tardumisel jahtub väliskiht suure, keskosa aga väikese kiirusega. Sõltuvalt temperatuurist, mis valtsi ristlõike erinevates punktides ei ole ühesugune, on iga kihi sügavus erinev. Valge- ja hallmalmi mitmesugused faasid, mille joonkahanemise tegurid on erinevad, suurendavad veelgi valgenenud kihi pikkuse erinevust halli keskkihi pikkusest. Väga suure jahtumiskiiruse juures (näiteks pakases jahtunud metallvormi valamisel) muutuvad valtsis tekkivad pinged hädaohtlikuks.

---

[1] Nendes kihtides, kus jahtumiskiirus antud momendil on suurem teiste kihtide jahtumiskiirusest, tekivad jahtumisel termilised tõmbepinged. Seepärast ükskõik millise detaili jahtumisel tekivad väliskihtides ja õhukestes osades tõmbepinged, sisemistes või paksemates osades survepinged. Kui sise- ja väliskihtide vahel on tekkinud teatud temperatuurilang, hakkavad sisemised kihid või paksemad osad jahtuma kiiremini, mis põhjustab nendes tõmbepingete tekkimist. Struktuuriliste muunduste tagajärjel tekkinud sisepinged võivad olla sama- või vastassuunalised termiliste pingetega. Kui austeniidi lagunemisel tekkinud väliskihil on suuremahulisem struktuur (martensiit, troostiit, sorbiit) kui sisekihtidel (ferriit, perliit), siis tekivad väliskihtides surve-, sisekihtides aga tõmbepinged. Kui aga väliskihtidel on väiksemamahulisem struktuur (valgemalm, perliit + grafiit) kui sisekihtidel (hallmalm, ferriit + grafiit), tekivad väliskihtides faasilised tõmbe-, sisekihtides aga faasilised survepinged. Ka ühe ja sama struktuuri tekkimisel tekivad sisepinged, sest struktuurilised muundused ei teki ühel hetkel kogu mahus. Näiteks silindrilise keha täielikul läbikarastamisel tekib martensiitstruktuur alguses pindkihtides, mis põhjustab nendes surve-, sisekihtides aga tõmbepingete tekkimist. Et sisemised osad on veel plastilised, siis annavad nad kergesti järele. Kui austeniit sisekihtides läheb üle martensiidiks, sisekihid paisuvad ning nendes tekivad survepinged, väliskihtides aga tõmbepinged. Kui tõmbepinged ületavad materjali tugevuse, tekivad välispinnal praod. — *Toim.*

Praod võivad tekkida valtsis, mis ei ole veel valuvormist välja võetud. Kõige sagedamini esinevad valtsides pikisuunalised külmpraod, seda juhul, kui valtsid pärast väljalöömist jahtuvad tõmbetuule käes. Samuti esineb valgenenud valtside purunemise juhtumeid nende transportimisel sildkraanaga.

Kokkuvõttes võib ütelda, et sisepingete tekkimiseks valandites võib olla mitu põhjust, mis ulatuvad sulami elastsusomaduste valdkonda. Vormis jahtuvas fassongvalandis, näiteks jämeda pöia ja peenikeste kodaratega hammasratta valandis (joon. 49, *a*),



Joon. 49. Soojuslike ja faasiliste valupingete tekkimine:
a — jämeda pöia ja peenikeste kodaratega hammasratta valandis; *b* —peenikese pöia ja jämedate kodaratega valandis.

võivad pinged tekkida kolmel põhjusel. Takistatud kahanemisest tekivad pöias tõmbepinged $+\sigma_v'$, peenemates kodarates aga tõmbepinged $+\sigma_v''$. Peale selle tekivad jämedas pöias termilised tõmbepinged $+\sigma_t'$ ning kodarates termilised survepinged $-\sigma_t''$. Lõpuks tekivad pöias ja kodarates faasilised tõmbepinged $+\sigma_f'$ ja $+\sigma_f''$.

Summeerime kõik pinged. Saame kõigi pöias esinevate pingete algebralise summa $\Sigma\sigma' = +\sigma'_v + \sigma'_t + \sigma'_f$ ning summaarse kodarapinge $\Sigma\sigma'' = +\sigma_v'' - \sigma_t'' + \sigma_f''$. Siit järgneb, et absoluutväärtuselt suurimad pinged tekivad massiivses pöias esinevast tõmbest.

Õhukese pöia ja jämedate kodaratega hammasrattal (joon. 49, *b*) tekivad pöias ja kodarates vastavalt tõmbepinged $+\sigma_v'$ ja $+\sigma_v''$, termilised pinged $-\sigma_t'$ ja $+\sigma_t''$ ning faasilised pinged $+\sigma_f'$ ja $+\sigma_f''$.

Pöias esinevate pingete summa $\Sigma\sigma' = +\sigma_v' - \sigma_t' + \sigma_f'$ muutub

absoluutsuuruselt kodarapingete summast väiksemaks ($\Sigma\sigma'' = + + \sigma_v'' + \sigma_t'' + \sigma_f''$). Viimasel juhul tekivad külmpraod kergemini kodarates, esimesel juhul aga massiivses pöias [1].

Tegelikud pinged väljenduvad valu-, termiliste, faasiliste ja detaili ekspluateerimisel tekkivate mehaaniliste pingete summana. Et koormuse mõjul suurenevaid jääkpingeid omava detaili võimalikku purunemist ära hoida, töödeldakse vastutusrikkaid masinaosi sisepingete kõrvaldamiseks termiliselt (vt. ptk. VI, Terasvalandite tootmine). Peale selle tuleb kokkumonteeritud masinaid katsetada alguses tühijooksul, lõpuks aga suurima võimaliku koormuse all. Merelaevade valatud ankruid proovitakse, lastes neid kukkuda 2—3 m kõrguselt sildkraana konksu otsast paksule terasplaadile.

Üksikasjalised ettevalmistavad proovimised võivad olla valandite töökindluse ja tugevuse täielikuks garantiiks.

FASSONGVALANDITE KAHANEMISE, PRAGUNEMISE JA KAARDUMISEGA VÕITLEMISE ABINÕUD

Valudetailide purunemiste võimalust tuleb ette näha juba konstrueerimisbüroos, kus tuleb tarvitusele võtta ka abinõud purunemise põhjuste ärahoidmiseks. Valandite projekteerimisel tuleb valida sellised sulamid, mis vähem kalduvad pragunemisele ja murdumisele. Selleks tuleb arvesse võtta järgmisi põhilisi asjaolusid.

1. Legeerivaid lisandeid vähem sisaldavate sulamite soojusjuhtivus on suurem; järelikult on nendel väiksemad ka kiirel jahtumisel ja kuumutamisel esinev temperatuurilang ning tekkivad pinged. Kõrgeltlegeeritud terasest ja malmist valandid kalduvad külmpragunemisele rohkem kui pehmest väikese süsinikusisaldusega terasest ja ränirikkast malmist valandid. Globulaarse grafiidiga malm kaldub külmpragunemisele rohkem kui lehekujulise grafiidiga malm. Lisaks sellele on nii külm- kui ka kuumpragude tekkimise tõenäolisus seda suurem, mida suurem on antud sulami

[1] Takistatud kahanemisel tekivad massiivses pöias tõmbepinged $+\sigma_v'$, peenemates kodarates aga tõmbepinged σ_v''. Et jäme pöid tardub hiljem kui peenikesed kodarad, takistavad tardunud kodarad pöia kahanemist, mis põhjustab pöias termiliste tõmbepingete $+\sigma_t'$, kodarates aga termiliste survepingete $-\sigma_t''$ tekkimist. Faasiliste muunduste tagajärjel suurenevad pöia maht ja ümbermõõt ning kodarate pikkus. Kui tähistada faasilise paisumise koefitsient k-ga, siis pöia ümbermõõt suureneb πkd võrra, läbimõõt aga kd võrra. Samuti suureneb kd võrra ka kodarate pikkus. See näitab, et faasilised muundused (ühesuguste faaside puhul) sisepingeid ei tekita. Summeerime kõik pinged. Põias esinevate pingete algebraline summa $\Sigma o' = \sigma_v' + \sigma_t'$, kodarates aga $\Sigma\sigma'' = \sigma_v' - \sigma_t''$. Eri faaside olemasolu pöia ja kodarate välis- ning sisekihtides põhjustab väliskihtides tõmbe- ja sisekihtides survepingete tekkimist, mis on omavahel tasakaalus. — *Toim.*

joonkahanemine. Malmvalandites ei teki praod nii sagedasti kui terasvalandites.

2. Valandites, millel üleminekud paksudelt kohtadelt õhukestele on sujuvad, on pragunemise oht väiksem. Vastupidi, järskude üleminekutega valandid alluvad pragunemisele rohkem.

3. Tardumise suunatus peab olema konstruktori ja tehnoloogi erilise tähelepanu objektiks. Valanditel, millele on antud tehnoloogiline varu ja millel puuduvad suured lamedad osad, saavutatakse valatud metalli suurim tihedus. Kuum- ja külmpragusid ei teki. Vastupidi, valandites, kus tardumise suunatus puudub, tihedat metalli saada ei ole võimalik.

Tardumise suunatust ei ole tarvis luua, kui valand on võrdlemisi väikeste gabariitidega, ilma näsadeta, nukkideta, paksude äärikuteta, keeruliste ristlõigeteta jne., ja tema seinad on ühesuguse paksusega. Sellistes lihtsa kujuga valandites pragusid ei teki.

4. Valandit tuleb valamisprotsessis toita õigesti, arvestades võimalikku kahanemisastet, ning väljaulatuvate osadega valandile ette näha järeleandlik vorm. Kärnide järeleandlikkus peab samuti olema küllaldane. Pärast valamist tuleb väljaulatuvate osade kahanemist kergendada. Valand tuleb vormist välja lüüa seda hiljem, mida keerulisema kujuga on detail. Lihtsa kujuga massiivseid valandeid võib vormist välja lüüa isegi 600° C juures (valand hõõgub punaselt).

Et kokillis kunstlikult tekitada pingeid — vastassuunalisi nendele, mis võivad tekkida ekspluatatsioonis (autofretaaž), soovitab prof. G. I. Aksjonov neid vormist välja võtta 850° C juures, kuid jätta kärn valandist välja löömata.

Kaardunud valandeid parandatakse kõige mitmesugusemate abinõudega. Meistri oskus on sellisel juhul väga suure tähtusega. Väikesi, eriti tempermalmist valandeid parandatakse pärast lõõmutamist friktsioon- või pneumaatiliste presside abil. Suure kandejõuga vagunite vankrite külgplaate ja sidurtelgi parandatakse külmalt hüdrauliliste pressidega.

VORMI JA METALLI KEEMILINE VASTASMÕJU

Iga sulametall põleb kokkupuutumisel õhuhapnikuga või veeaurudega. Põlemisproduktid moodustavad metalli pinnal oksüüdidest koosnevaid vedelaid või tahkeid (alumiinium) kilesid. Mida keerulisema koostisega on sulam, seda keerulisema koostisega on ka oksüüdikiled. Metallurgias nimetatakse seda nähtust sekundaarseks oksüdeerumiseks. Vastavalt massiseadusele põleb kõige rohkem see element, mille kontsentratsioon sulamis on kõige kõrgem. Teras ja malm annavad sekundaarsel oksüdeerumisel mittemetalseid lisandeid ja kilesid, mis koosnevad peamiselt raud-

oksüüdidest. Austeniitne mangaanteras, mis sisaldab 12—14% Mn, annab raud- ja mangaanoksüüde. Pronks annab vaskoksüüde, alumiinium moodustab rabeda ja raskestisulava oksüüdi — savimulla Al_2O_3 jne. Austeniitne kroomteras annab raud- ja kroomoksüüde.

On kindlaks tehtud, et mida kõrgem on valamise ajal sulami temperatuur ja vormis liikumise kiirus, seda väiksem on sekundaarse oksüdeerumise mõju. Sekundaarset oksüdeerumist kõrvaldada on praktiliselt väga raske. Teda vähendada on aga võimalik, kattes vormi kergestisüttivate ainetega, nagu kivisõe- või puusõe pulbriga, või kasutades petrooleumi, masuuti, kivisõetõrva, bakeliiti, grafiiti, väävliõit jt.

Metalli pinnal tekkivad aluselised oksüüdid, olles vedelas olekus, astuvad kontakti vormiõõnsust katvate happeliste ainetega. Kui vorm on kaetud peamiselt kvartsiteradest koosneva liivaga, tekivad viivitamatult raua, mangaani, kroomi, vase jt. silikaadid. Silikaatide koostis muutub keerulisemaks, kui vormisegus või värvis esineb savi, magnesiidis sisalduvaid magneesium- ja kaltsiumoksüüde jne. Tekkivad silikaadid on räbu omadustega, mille sulavuse ja vedelvoolavuse määrab keemiline koostis. Kõige suurema vedelvoolavusega silikaat haardub vormisegu teradega ja annab valandi pinnal õhema või paksema kooriku, niinimetatud külgepõlemise.

Oma tekkimise järgi nimetatakse seda liiki külgepõlemist keemiliseks, sest ta on valandimetalli oksüüdikilede ja valuvormi pinnal asuvate ainete keemilise koosmõju tulemuseks.

Külgepõlemine on valu suureks puuduseks ja tema vältimine on valutsehhi tehnoloogide ja meistrite tähtsam ülesanne.

A. Ljassi ja I. Kumanini põhjalikud uurimused näitasid, et valandite keemilise külgepõlemise kahjulik toime on täiesti seletatav ja seda saab ära hoida, mõjutades valandi ja vormi vahele tekkiva külgepõlenud kooriku koostist.

Külgepõlemise tekkimise teooria aluseks on kooriku füüsikalise olemuse mõiste. Kui koorikul on tarduva vedelikuga sarnane kristalliitne ehitus, siis annab vormi kvartsiterade kattumine väga tugeva silikaatide kihi, mida on valandilt väga raske kõrvaldada. Nii kulub keskmise mangaanisisaldusega terasest valatud 120 kg kaaluva pöörangunoole puhastamiseks ligikaudu 8 inimtöötundi. Kui külgepõlenud koorik on klaasitaoline, pudeneb ta valandi küljest kergesti ära. Klaasitaolise kooriku valandist eraldamiseks on küllalt mõnest löögist käsivasaraga. Taras- ja malmvalandid muutuvad ideaalselt puhtaks ning on kaetud õhukese sinaka värvusega oksüüdikihiga, mis tekib nähtavasti pärast klaasitaolise kooriku eemaldamist valandi jahtumise ja kahanemise ajal 300° C juures.

Valupraktikas on külgepõlemisega võitlemiseks leitud palju mooduseid, olenevalt sulami liigist.

Kõige raskem on külgepõlenud kihti eemaldada kõrgeltlegee-

ritud terasest valanditelt. Keerulised raua, mangaani ja kroomi silikaadid, mis sisaldavad alumiiniumoksüüdi, annavad valandist raskesti eraldatava kristalse kooriku. A. M. Ljassi jt. ЦНИИТМАШ-i kaastöötajate katsed V. I. Lenini nimelises Nevski tehases gaasiturbiinide kuumuskindlast austeniitterasest detailide valamisel jahvatatud kroommagnesiidi lisamisega vormisegusse andsid positiivseid tulemusi: valandite külgepõlemine kõrvaldati.

A. P. Gontšarovi katsed trammi rööparistmiku valamisel Moskva tehases «Serp i Molot» näitasid, et jahvatatud magnesiidi kasutamine mudeliseguks kõrvaldab radikaalselt 12—14% Mn sisaldava terase (mis annab palju mangaanoksüüde sisaldavate silikaatide kilesid) külgepõlemise. Magnesiit on neutraalne ja raud- ning mangaanoksüüdidega 1400° C juures nähtavasti keemilisi ühendeid ei anna, sest valanditel igatahes külgepõlemist ei ilmne. Heaks vahendiks mitte väga massiivsete süsinikterasest valandite külgepõlemise vastu on jahvatatud kvartsi lisamine mudelisegusse või vormi värvimine kvartsijahuga, mis on segatud vee, sulfiitleelise lahuse või vesiklaasiga.

Peeneksjahvatatud kvarts «kvartsijahu» näol suleb tihedalt vormi voodrikihi poorid ning silikaatkilede vedelvoolavus valandi pinnal muutub liiga väikeseks, et vedelad oksüüdid suudaksid tungida vormi seintesse. Siin peetakse silmas puhtmehaanilist mõju kui valandi külgepõlemise vältimise abinõu.

V. G. Gruzini jt. katsed ЦНИИТМАШ-is näitasid, et kivisõetõrva lisamine mudelisegusse lubab austeniitterasest saada puhta pinnaga valandeid. See abinõu on malmivalajatele ammu tuntud kui vahend kaitseatmosfääri tekitamiseks valuvormi õõnsuses. Selliste ainete hulka kuuluvad jahvatatud kivisüsi, koks, puusüsi, pulbritaoline hõbegrafiit ja teised ained, mida lisatakse malmvalandite vormivärvile ja puudrile.

Metalli oksüüdikiledega kokku puutudes süsinikku sisaldavad ained hakkavad põlema, andes süsinikoksüüdi, mis kaitseb metalli valamise ajal põlemise eest. Et mitte rikkuda valutsehhi valamisjaoskonna õhku, tuleb tõusupeast ja vormkastide vahelistest kanalitest intensiivselt väljatungivad gaasid süüdata põlema (põlemisel tekib süsinikoksüüdile omane sinakas leek).

Värv tuleb koostada sellistest ainetest, mis põleksid ja eraldaksid gaase peaaegu kogu vormi valamise ajal.

Näiteks petrooleumi kasutamisega ei saa valandeid külgepõlemise eest hoida, sest ta põleb ära liiga ruttu ja vormi valamise lõpuks saavad metallioksüüdid uuesti võimaluse ühineda kvartsiteradega ning tekitada külgepõlemist. Kasulik on segada rasvast kivisütt koksi või grafiidiga. Süsi põleb ära esimesena, grafiit viimasena. Valandi ja vormi vahel tekib gaasikiht, mis tõkestab metalli kontakti vormiga ja räbustumisreaktsiooni. Seetõttu koorikut ei teki.

Samasuguseid tulemusi võib saada, tolmutades märgvormi sisepinda koksi- või grafiidipulbriga. Magneesiumi ja magnee-

siumisulamite põlemise ärahoidmiseks lisatakse mudelisegusse ammoniaagisoolasid, mis tekitavad ammoniaagist kaitsekihti.

Malmvalandite kärnide pinna hõõrumist grafiitmäärdega kasutatakse suurte kärnide valmistamisel, näiteks miinide valamisel. Seejuures saadakse väga puhas õõnsus ja kärnimass tuleb valandi pinnalt kergesti ära.

Kõigist valandite külgepõlemisega võitlemise kontrollitud viisidest osutus parimaks klaasitaolise kooriku tekitamine, mida on valandist kerge eraldada. Sellise klaasitaolise ehitusega kooriku tekkimiseks on vajalik, et soojus kanduks vormist edasi kiiresti, sest aeglasel jahtumisel võib räbutaoline koorik mitte klaasistuda ning muutuda kristalseks ja valandist raskesti eraldatavaks. Vesiklaasi lisamine on eriti kasulik metallvormide, kroommagnesiitsegudest vormide ja lõpuks liiv-savi segudest vormide katmiseks, kusjuures viimasesse segusse lisatakse malmipuru, mis kiirendab soojuse ärajuhtimist. Vajadus külgepõlemise ärahoidmiseks on seda suurem, mida kõrgem on valatava metalli temperatuur ja mida massiivsem on valand.

Külgepõlemise kõrvaldamise erijuhud on toodud järgnevates osades.

VALUVORMI VALMISTAMINE

VALUVORMIDE TÜÜBID

Valuvormide tüübid ja nende valmistamise kord sõltuvad valandite mõõdetest, hulgast ja kujust, metalli koostisest, kohalikest tootmistingimustest, samuti valanditele ekspluatatsioonitingimustes esitatavatest nõuetest.

Ühekordsed vormid (muldvormid) valmistatakse liiva ja savi ning teiste spetsiaalsete siduvate lisandite segudest. Ühekordseid vorme kasutatakse valamiseks kas märgadena, pindkuivatatutena või pärast täielikku kuivatamist.

Poolalalised vormid valmistatakse erilistest tulekindlatest segudest ning neid põletatakse kõrgel temperatuuril nagu keraamikatooteid. Kõrgendatud tugevus ja vormi ettevaatlik käsitsemine valandite väljalöömisel lubavad poolalalisi vorme kasutada kümneid ja sadu kordi.

Alalised ehk metallvormid valmistatakse malmist, harvemini terasest. Lihtsa kujuga valandite juures ja oskuslikul hooldamisel ulatub metallvormi tööiga sadade ja tuhandete valanditeni.

Ühekordsete vormide hulka kuuluvad ka niinimetatud koorikvormid, mis paistavad silma kerguse ja saadavate valandite pinna kõrge kvaliteedi poolest, ning väljasulatatavate mudelitega täpisvalu (pretsisioonvalu) vormid.

Valuvormi tüübi valiku määravad peamiselt valutootmise iseärasused ja minimaalse omahinna juures valu kvaliteedile esitatavad nõuded. Terase valamiseks kasutatavate vormide tööpind peab vastu pidama suhteliselt kõige kõrgemale temperatuurile, mistõttu nende valmistamiseks kasutatakse suurima tulekindlusega materjale: puhast kvartsliiva ja savi, jahvatatud šamotti ja savi, duniiti, pestud kroomrauakivi, jahvatatud ja põletatud kroommagnesiiti jms. Malmvalandeid saadakse madalamatel temperatuuridel, seepärast kasutatakse ühekordsete vormide valmistamiseks vähem tulekindlaid materjale, nimelt kollaseid liivu ja savisid. Värvilist, pronks- ja alumiiniumvalu võib vormida punastest liivadest ja savidest vormidesse. Värviliste sulamite juures on külgepõlemine harva esinev nähtus.

Vormi tüübi valik sõltub ka valandi kaalust ja kujust ning

valatavate detailide hulgast. Suure partii kergete detailide valamiseks on otstarbekas kasutada metallvorme.

Masinvormimisega valutsehhides kasutatakse ühekordseid vorme. Väikesed alumiiniumi, magneesiumi ja tsingi alusega värvilistest sulamitest valandid valmistatakse malm- ja terasvormides masin-survevalu teel.

Terasplokke valatakse tänu nende lihtsale kujule ainult metallvormidesse, mida nimetatakse kokillideks. Kokillid valmistatakse tavaliselt malmist, harvemini terasest.

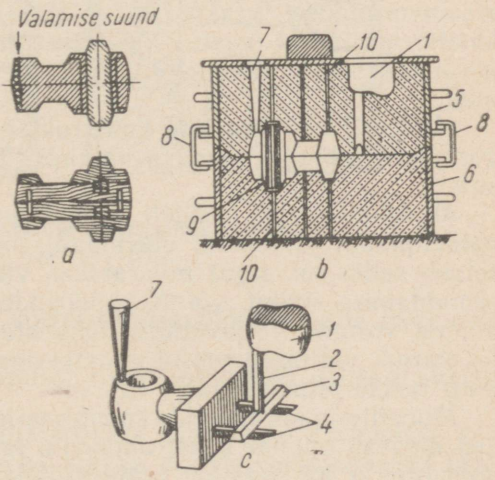
Reas tehastes katsetati suurte valandite saamist tsementvormides. Kuid jääkide kasutamise ja kasutusel olnud materjali ümbertöötamise küsimused on senini jäänud lahendamata, vaatamata selle valumeetodi teatud paremustele.

Eriti massiivsed valandid (auru- ja suruõhuvasarate šabotid, suured rihmarattad, räbukopad jm.) valatakse valutsehhi põrandasse tehtud ühekordsetes vormides.

Raskekaalulised keerulise kujuga valandid, näiteks ekskavaatorite raamid, vormitakse kärnide abil. Selline vorm valmistatakse põrandasse mitme kärni ühendamise teel.

Koorikvormid, mille kasutamine meie valutsehhides järjest laieneb, valmistatakse liiva ja pulberbakeliidi segust. Tänu gaaside heale ärajuhtimisele koorikvormide vedela metalliga täitmise ajal saadakse puhtad valandipinnad ja väga tiheda ehitusega metall.

Masinaehitusliku valu põhimass valatakse ühekordsetes vormides. Poolalalisi vorme kasutatakse tavaliselt suurte, suhteliselt lihtsa kujuga valandite (mitmesuguses tüübis ja kaalus kokillid ja räbukopad jne.) valmistamisel. Metallvorme on ratsionaalne kasutada valandite seeriatootmises.



Joon. 50. Valuvormi elemendid: *a* — mudel; *b* — vorm; *c* — valand (1—10 vt. tekstis).

Valuvormi üksikud elemendid on näidatud joonisel 50. Valandi välispind saadakse lahtivõetava mudeli *a* abil. Sisepinna annab kärn *9*. Vedela metalli valamiseks vormi õõnsusesse on valukanalite süsteem, mis koosneb valukausist *1*, püstkanalist *2*, räbupüüdjast *3* ja toitekanalitest *4*. Vormi tööõõnsuse moodustavad ülemine *5* ja alumine *6* poolvorm. Vormi metalliga täitmisel tekkivad gaa-

sid eemalduvad vormiõõnsusest tõusupea *7* ja gaasikanalite *10* kaudu. Kärni õige asendi vormis tagavad kärnmargid. Mõlemad poolvormid ühendatakse omavahel klambritega *8*.

MUDELID JA KÄRNKASTID

Ühekordsed valuvormid valmistatakse mudelite abil. Nende järgi vormitakse valuvormi tööõõnsus, mis pärast täitmist vedela metalliga annab valandi.

Valatavate detailide siseõõnsuste ja avade moodustamiseks valmistatakse kärnid, kasutades selleks spetsiaalseid kärnkaste. Mudeli materjal valitakse vastavalt vormi tüübile. Mudeleid tehakse puidust, kipsist, tsemendist ja metallisulamitest. Täpisvalu mudelid valmistatakse mäevaha, steariini ja parafiini ning teiste kergesti väljasulavate materjalide segust. Mudeli materjal valitakse, lähtudes valamisel tehtavate kulutuste ökonoomsusest, tootmistingimustest ning valmistatavate vormide hulgast. Käsitsivormimisel kasutatakse peamiselt puitmudeleid tänu puidu heale töödeldavusele ja odavusele, masinvormimisel aga metall-, kips- ja tsementmudeleid.

Puitmudelid peavad käsitsivormimisel vastu kuni 100 vormimist, masinvormimisel aga kuni 2000 vormimist. Alumiinumisulamitest mudelite tööiga on käsitsivormimisel kuni 5000 vormi, masinvormimisel aga 40 000—75 000 vormi. Kipsmudelid peavad käsitsivormimisel vastu 100—250, masinvormimisel 1000—1300 vormimist, tsementmudelid vastavalt 250—750 ja kuni 1000 vormimist.

Mudeli ja kärnkastide konstruktsioonist sõltub suurel määral vormimise lihtsus, saadava valandi tihedus ja selle mõõdete õigsus.

Mudelkomplekti (mudeli ja kärnkastide, valukanalite süsteemi, mudeliplaadi ja mudeli alusplaadi, šablooni jt.) konstrueerimine seisab selles, et algul määratakse vormimisviis, mudeli vormist eemaldamise suund, vormi ja kärnide eralduspinnad, valukalded mudeli vormist väljavõtmise hõlbustamiseks ning töötlemislisad ja -varud, valitakse vormi monteerimisel vajalike kärnimarkide ning nende pilude kuju ja suurus.

Mudelite ja kärnkastide konstrueerimise põhiliseks tingimuseks, mis määrab mudeli konstruktsiooni ja vormimise tehnoloogia, on mudelite ja kärnkastide eralduspindade õige valik. Seejuures juhindutakse järgmistest kaalutlustest:

1) valandi asetus vormis peab olema selline, et töödeldavad pinnad asuksid all või küljel, sest ülemised pinnad saadakse alati vähem tihedad ja rohkem küllastatud mittemetalsete lisanditega;

2) kärnide arv peab olema minimaalne, et vältida liigseid valukraate ja kergendada vormi koostamist;

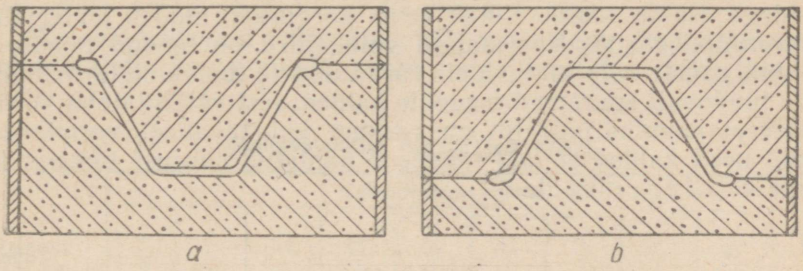
3) vormi väljaulatuvad osad (bolvanid) (joon. 51) tuleb pai-

gutada võimalikult alumisse vormkasti, et ära hoida nende allavarisemist vormimise ja vormi metalliga täitmise ajal;

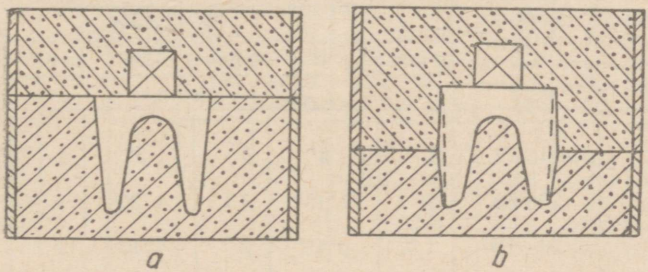
4) metalli juurdejuhtimine vormi peab olema rahulik;

5) tihedusele proovitavate ja antikorrosioonsulamitest valandite puhul tuleb ette näha kärnmargid, mis tagavad kärnide kindla asendi ilma kärnitugesid kasutamata;

6) valandi põhiosa tuleb paigutada ühte vormkasti (joon. 52), et vältida ühe valandiosa nihkumist teise suhtes;



Joon. 51. Vormipoolte eralduspinna asetus:
a — vale; *b* — õige.



Joon. 52. Vormipoolte eralduspinna asetus:
a — vale; *b* — õige.

7) igale mudelile tuleb vormist väljavõtmiseks ette näha oma tõsteabinõud.

Kärnkastide konstrueerimisel tuleb juhinduda alljärgnevatest kaalutlustest:

a) kärnkastides ette näha sobivad pinnad nii karkasside asetamiseks ja seguga täitmiseks kui ka ventilatsioonikanalite tegemiseks;

b) püüda, et pukside ja äravõetavate osade arv kärnkastides oleks minimaalne;

c) vältida kärnide kokkukleepimist, sest kleebitud kärnid kaotavad kontuuride täpsuse;

d) kärnide kuivatuspinnad peavad olema tasased või lihtsa kujuga, et vältida vajadust keerukate kuivatusplaatide järele.

Vormipoolte eralduspind peab olema valitud selline, et kärnid asuksid alumises vormipooles, et nende paigutuse õigsust oleks mugav kontrollida ja vormi kerge kokku panna.

Konstrueerimisel tuleb ette näha kärni paigutamist alumisse poolvormi ja tagada tema püsiv asend vormi kokkupanekul.

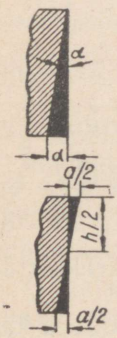
Fassongkärnid peavad margipesadesse asetamisel olema varustatud eriliste fiksaatoritega, mis hoiavad ära kärni pöördumise või nihkumise ning valandi siseõõnsuse mõõdete moonutamise.

Et kergendada mudeli väljavõtmist vormist ja kärni väljavõtmist kärnkastist, tehakse nende vertikaalseinad niinimetatud valukaldega. Kalde suurus sõltub seina kõrgusest, mudeli materjalist ja vormimisviisist. Normaalsed valukalded on toodud tabelis 2.

Märgadele väljaulatuvatele vormiosadele (bolvanitele) nähakse ette tunduvalt suuremad mudelite kalded, sest väljaulatuva vormiosa eemaldamine mudelilt on raskem kui tavalisel vormimisel. Kuid need kalded ei tohi tabelis 2 näidatud suurusi ületada üle kahe korra ega olla üle 3°.

Tabel 2

Valukalded

Eskiis	Mudeli kõrgus *h* mm	Metallmudelid (masinvormimine)		Puitmudelid			
				masinvormimine		käsitsivormimine	
		Kalded					
		a mm	α	*a* mm	α	*a* mm	α
		kuni					
	Kuni 20	1	3°	1	3°	1	3°
	20—50	1	1°15′	1,5	1°30′	1,5	1°30′
	50—100	1,5	0°45′	2	1°15′	2	1°15′
	100—200	2	0°30′	2,5	0°45′	2,5	0°45′
	200—300	2,5	0°30′	3	0°30′	3	0°30′
	300—500	3	0°30′	4	0°30′	4	0°30′
	500—800	—	—	—	—	5	0°30′
	800—1000	—	—	—	—	6	0°30′
	1000—1200	—	—	—	—	7	0°30′
	Üle 1200	—	—	—	—	8	0°30′

Kärnmarkide kaldeks võetakse 5°, silindriliste püstkärnide ülemistel markidel aga 10°.

Mudelite ja kärnkastide valmistamisel tuleb nende mõõdete valikul arvesse võtta kahanemist ning töötlemisvaru ja töötlemislisa.

Hallmalmist valanditel on kahanemisvaru 0,4—1,2%, terasvalanditel 1,4—2,2%, vaskvalanditel 0,8—1,6% ja alumiiniumvalanditel 0,3—1,2%. Selleks, et mudelseppadel oleks mudeli mõõteid tööjoonise järgi hõlpsam kindlaks määrata, valmistatakse spetsiaalsed «kahanemismeetrid». Terasvalandite jaoks kasutatava kahanemismeetri pikkuseks võetakse 1020 mm, pronks- ja alumiiniumvalanditele 1015 mm, malmvalanditele 1010 mm, s. o. arvestades vastavalt 2, 1,5 ja 1%-lise kahanemisega.

Mittetöödeldavate valandite jaoks võeti Leningradis toimunud valutöötajate konverentsil vastu negatiivsete varude süsteem (tabel 3).

Tabel 3

Malmvalandite negatiivsed varud

Valandi kaal kg	Valandi seinapaksus mm									
	Kuni 7	8—10	11—15	16—20	21—30	31—40	41—50	51—60	61—80	81—100
	Negatiivne varu mm									
Kuni 50	—0,5	—0,5	—0,5	—1,0	—1,5	—1,5	—2,0	—2,5	—3,0	—3,5
51—100	—1,0	—1,0	—1,0	—1,0	—1,5	—2,0	—2,0	—2,5	—3,0	—3,5
101—250		—1,0	—1,5	—1,5	—2,0	—2,0	—2,5	—3,0	—3,5	—4,0
251—500			—1,5	—1,5	—2,0	—2,5	—2,5	—3,0	—3,5	—4,0
501—1000				—2,0	—2,5	—2,5	—3,0	—3,5	—4,0	—4,5
1001—3000					—0,3	—3,0	—3,0	—4,0	—4,5	—4,5
3001—5000					—0,3	—3,0	—3,5	—4,0	—4,5	—5,0
5001—10000						—3,5	—4,0	—4,5	—5,0	—5,5
Üle 10000						—4,0	—4,5	—5,0	—5,5	—6,0

Negatiivse varu all mõistetakse mudeli mõõdete vähendamist, võrreldes joonisel antutega, vormi võimaliku väljapaisumise võrra. Vormi väljapaisumine ja sellega seotud valandite mõõdete suurenemine üle joonisemõõdete toimub vormi ebaühtlase ja ebatiheda täitmise ja vormide ebakindla kinnitamise tagajärjel, vedela metalli surve toimel valamise ajal, samuti mudelite lohaka vormist väljavõtmise tagajärjel.

Negatiivne varu antakse valandi mittetöödeldavatele seintele; töödeldavate osade mõõteid reguleeritakse mehaanilise töötlemise varu suurusega.

Mehaanilise töötlemise varu suurus sõltub pinna asendist valamisel, vormimisviisist ja nõutavast pinnasiledusest, samuti valandi ja töödeldava pinna suurusest.

Suurim töötlemisvaru antakse käsitsi valmistatavatele valanditele. Masinvormimisel on töötlemisvaru väiksem.

Malmvalanditel, mille suurim mõõde ei ületa 200 mm, võetakse töötlemisvaruks masstootmisel 2—3 mm, individuaaltootmisel aga 4—5 mm. Kuni 1800 mm pikkuste valandite töötlemisvaru võetakse vastavalt 5—7 ja 9—11 mm ning üle 5400 mm pikkustel valanditel 12—16 ja 16—20 mm.

Terasvalandite töötlemisvaru võetakse ligikaudu kaks korda suurem kui malmvalanditel.

Valandite konstruktsiooni, tootmistehnoloogia ja töötlemisvarude hoolikas uurimine võimaldab tunduvalt vähendada metalli kulu valamisel, koos sellega aga ka jääkide hulka kaaluliselt kuni 50%. Valandite töötlemisvarud ning mõõdete tolerantsid määratakse vastavate standarditega (ГОСТ), mis on toodud kursuse eri osades.

Tabelis 4 on antud malmvalandite toorkaalu lubatavad kõrvalekaldumised.

Tabel 4

Malmvalandite toorkaalu lubatavad kõrvalekaldumised

Valandi kaal kg	Kaalu lubatav kõrvalekalle %		
	Täpsusklass		
	1.	2.	3.
	Masstootmine	Seeriatootmine	Individuaaltootmine
Kuni 100	5	8	10
101—1000	4	6	10
Üle 1000	3	5	8

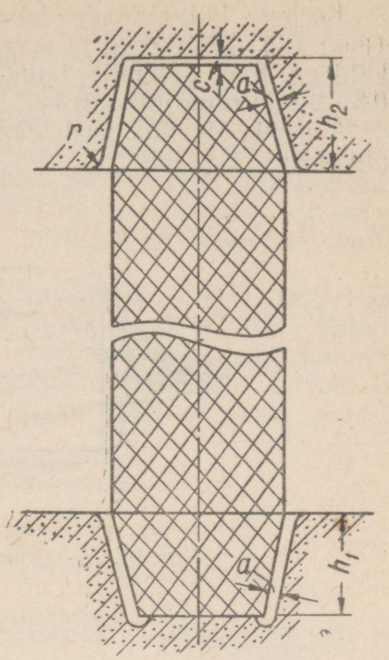
Kärni asetamiseks vormi või teise kärni nähakse ette lõtk, mille suurus sõltub kärnmarkide ristlõike suurusest, valandi nõutavast täpsusest, detaili valmistamisel kasutatavast tehnoloogiast, kärni asendist vormis, kärnmargi kõrgusest ja teistest tehnoloogilistest teguritest.

Vertikaalsete markidega kärnid asetatakse valuvormi kärnmargi telje suunas, seejuures enamikul juhtudel vertikaalselt. Kärni kinnitus on tugevam, kui tal on kaks kärnmarki — alumine ja ülemine. Alumise kärnmargiga kinnitatakse kärn vormi alumisse poolde, ülemisega aga ülemisse poolde (vormi kokkupanemisel). Kuid mitte alati ei ole tarvis teha kaht kärnmarki. Lühikestele kärnidele, mille kõrgus on väiksem nende läbimõõdust, samuti nendel juhtudel, kui valandil ei ole teise kärnmargi jaoks ava, piisab ainult ühest — alumisest kärnmargist.

Vertikaalsed kärnmargid valmistatakse tavaliselt ümmargustena (kuna need on mugavamad), kuid nad võivad olla ka neljatahulised või muukujulised, olenevalt kärni kujust. Vormimise ja kärnide paigaldamise hõlbustamiseks tehakse vertikaalsed margid kaldega.

Vertikaalse kärni alumise margi kalle võetakse 5—10°, ülemisel kuni 15° (joon. 53). Ülemise margi kalle võetakse suurem seepärast, et väikese kalde korral on ülemist vormkasti halb tsentreerida. Lisaks öeldule võimaldavad erinevad kaldenurgad vormijal kergesti määrata, milline kärnmark on ülemine ja milline alumine. Peale selle tehakse alumine kärnmark ülemisest ka pikem. Väikeste kärnide alumine mark tehakse kooniliseks ainult mudelil; kärnkastides tehakse see ilma kaldeta, kärni pikendusena. Lõtk kärni ja vormi markide vahel nähakse mudelitel ette märgvormimisel ainult ülemistele, kuivvormimisel aga üheaegselt nii ülemistele kui ka alumistele markidele.

Kuna märg vorm on võrdlemisi järeleandlik, saab kärni alumist marki kergesti asetada vormi margipesasse ka lõtku puudumisel.



Joon. 53. Vertikaalsete kärnmarkide lõtkud.

Lõtku *a* suurus (joon. 53) sõltub margi läbimõõdust (ümmarguste markide puhul). Kui kärnmargi läbimõõt ei ületa 50 mm, võetakse lõtk märgvormimisel ülemise margi jaoks, kuivvormimisel aga mõlema margi jaoks 0,1—1 mm. Kui margi läbimõõt on 50—400 mm, suurendatakse lõtku kuni 2 mm. Kui kärnmargi läbimõõt on üle 400 mm, võetakse lõtk kuni 3 mm.

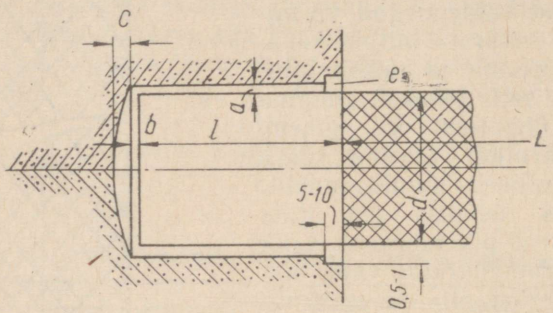
Leningradi Metallitehases (ЛМЗ) valitakse kõrgus h_1 piirides 20—45 mm, Saksamaal 10—70 mm. Ülemine mark tehakse mõnikord 0,2 h_2 kõrguseni silindriline ja alles seejärel kooniline. Variseva vormiliiva jaoks tehakse alumise margi pesasse 1—4 mm sügavune ja 2—3 mm laiune ringkanal.

Diametraalne lõtk *a* võetakse 0,1—1 mm, ülemise margi vertikaalne lõtk *b* 0,5—3 mm, eriti pikkadel kärnidel aga 5 mm.

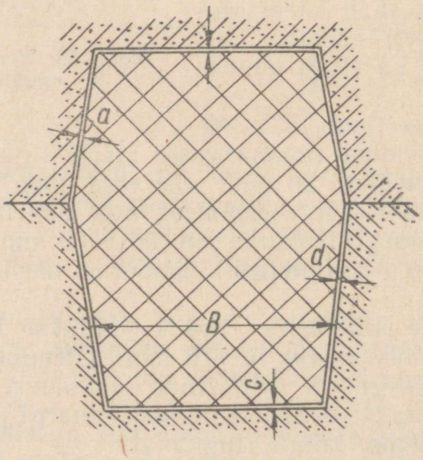
Horisontaalmarkidega kärnid asetatakse valuvormi selle eralduspinnas (joon. 54). Et kärnid paigaldamisel ei rikuks vormipesa seinu, tehakse kärnmargi ots kumeraks või lõigatakse see vormi eralduspinnast üles ja allapoole vertikaalsuunaga 5° nurga all. Markide pikkus *l* on 100—5000 mm pikkustel kärnidel 20—350 mm. Diametraallõtk *a* võetakse väikestel kärnidel (d = = 10—150 mm) 1 mm piirides, otsalõtk *b* 1—2 mm, lõtk *c* aga 1—3 mm. Ringsoone *e* mõõted on antud joonisel 54.

Kõrgete külgpindade korral tehakse kärnmargid erikujuga (joon. 55). Külgtahud ja otsad on soovitav teha 50°-se vertikaalkaldega. Kärnidel, mille laius *B* on 50—800 mm, tuleb lõtk *a* võtta 0,5—2 mm ning lõtk *c* 0,5—1 mm.

Markide otsalõtk peab ülemises vormkastis olema suurem kui alumises.



Joon. 54. Horisontaalsete kärnmarkide lõtkud.



Joon. 55. Kõrgete külgpindadega profiilkärnmargi lõtkud.

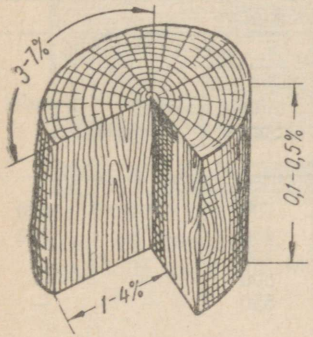
PUITMUDELITE VALMISTAMINE

Puitmudelid jagatakse kolme tugevusklassi. Esimesse klassi kuuluvad tugevatest ja kõvadest puiduliikidest (kask, pirn, pöök, lehis. jt.) valmistatud mudelid. Esimese klassi mudeleid kasutatakse suurseeria- ja seeriatootmises.

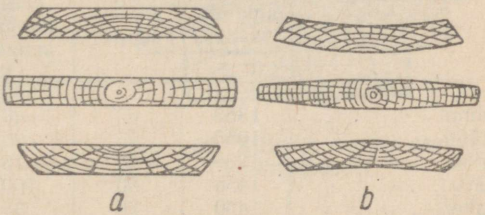
Teise klassi kuuluvad odavamatest ja kergemini töödeldavatest puiduliikidest mudelid. Selliste puiduliikide hulka kuuluvad mänd, pärn, seeder ja lepp. Haaba ja kuuske tavaliselt nende väikese tugevuse ja võrdlemisi suure rabeduse tõttu ei kasutata. Teise klassi mudeleid kasutatakse seeria- ja väikeseeriatootmises.

Kolmandasse klassi kuuluvad ühest puidutükist ilma liimimiseta valmistatud ajutised mudelid. Üksikud osad ühendatakse omavahel naeltega. Selliseid mudeleid kasutatakse individuaaltootmises.

Puidu orgaaniline aine sisaldab üle 40% C, 43% O, 10% N ja 6% H. Värskeltraiutud puu sisaldab ligikaudu 60% vett. Vabas õhus või varjualuses hoidmisel osa veest aurub ja puit kuivab, muutes järsult oma mõõteid. Pooleaastase loodusliku kuivamise jooksul väheneb puidu niiskusesisaldus 3—40%-ni, aasta pärast 20—30%-ni.



Joon. 56. Puutüve ehitus.



Joon. 57. Puidu kaardumine kuivamisel: *a* — märg puit; *b* — kuiv puit.

Puutüve läbilõikes on näha aastarõngad (joon. 56). Keskelt algavad säsikiired. Kuivamine muudab puidurakkude mõõteid erinevalt. Piki tüve telge on kokkukuivamine keskmiselt 0,1—0,5%, säsikiirte suunas 1—4%, piki aastarõngaid aga 3—7%. Seepärast kaarduvad saetud lauad kuivamisel ning kaotavad oma esialgsed mõõted, nagu on näha joonisel 57.

Kui kuivanud puitu niisutada, siis ta rakud paisuvad ja taastavad osaliselt esialgsed mõõted. Siit järgneb, et iga värvimata puitese kaardub niiskusesisalduse muutumisel. Et puitesemete mõõteid hoida püsivatena, tuleb tarbepuitu kuivatada kuni püsiva niiskusesisalduseni.

Kui puitesemeid hoitakse niiskes õhus, peab puidu niiskusesisaldus pärast kunstlikku kuivatamist olema suurem kui kuivas õhus hoidmisel.

Suur kaalukadu ja esialgsete mõõdete järsk muutumine tüve eri kohtades nõuab saematerjalide (laudade, lattide, prusside jne.) kuivatamisel erirežiimi hoidmist. Liiga kuiva õhu ja kõrge

kuivatustemperatuuri korral kuivab puit pinnalt kiiremini kui keskelt, mille tagajärjel tekivad välispraod. Kui õhk on liiga niiske ja temperatuur kõrge, kuivab puit seest kiiremini kui väljast ja praod tekivad sees.

30—50 mm paksuste männilaudade kuivatamisel tõstetakse kuivatuskambris temperatuur 4—5 tunni jooksul 75° C. Selle temperatuuri juures kuivatatakse pärna, kaske ja teisi puiduliike 6—7 päeva, tamme 12 päeva. Mudelipuidu niiskusesisaldus peab pärast kuivatamist olema umbes 15%.

Puiduliigi valikul mudelite valmistamiseks juhindutakse puidu omaduste näitajatest, ja nimelt: kuivatatud puidu tugevusest ja kõvadusest. Puiduliikide tugevus olenevalt kiudude suunast on toodud tabelis 5.

Tabel 5

Mitmesuguste puiduliikide tugevus
(I. Crchmarži järgi)

Puidu liik	Tugevus kg/cm²					
	tõmbel			survel		paindel
	kiudude suunas	radiaal-suunas	aasta-rõngaste suunas	kiudude suunas	risti kiudu	
Tamm	1350	60	40	500	250	1020
Mänd	1050	25	20	450	175	970
Pöök	1200	90	75	420	—	—
Kask	1450	80	100	500	—	—
Vaher	1450	70	35	550	—	—

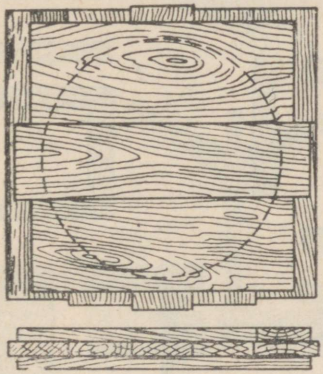
Puiduliikide kõvadus samadel andmetel on toodud tabelis 6. Kõvadest puiduliikidest valmistatakse mudeli äravõetavad osad, külgepandavad kärnimargid, hammasrataste mudelite hambad ja teised kiirestikuluvad mudeliosad.

Tabel 6

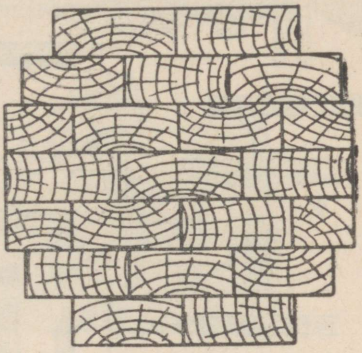
Mitmesuguste puiduliikide kõvadus
(I. Crchmarži järgi)

Puiduliik	Kõvadus kg/cm²		
	tüve telje risttasapinnas	radiaalpinnas	aastarõnga puutetasapinnas
Kuusk	281	160	182
Pärn	282	210	250
Mänd	344	231	237
Kask	635	544	480
Tamm	724	619	487
Vaher	739	521	547
Pöök	845	713	638
Valge pöök	1048	747	740

Kuivatatud puitmaterjal tuuakse mudelitsehhi ja saetakse vajalike mõõdetega klotsideks. Esimese klassi mudeli toorik koostatakse mitmest reast klotsidest, mis on lõigatud pendel- ja lintsaagide abil. Tooriku kokkuliimimisel tuleb silmas pidada teatud nõudeid. Kui liimida kaks klotsi kokku sisemisi aastarõngaid mööda, kuivab toorik lõhki ja kaardub. Kahe klotsi kokkuliimimisel väliseid aastarõngaid mööda säilitab toorik paremini oma mõõteid. Õigesti kokkuliimitud kilbi toorik, mis koosneb kolmest kihist klotsidest, on näidatud joonisel 58. Silindrilise mudeli osade kokkuliimimine on näidatud joon. 59.



Joon. 58. Puitklotside liitmine kilbi mudeli liimimisel.



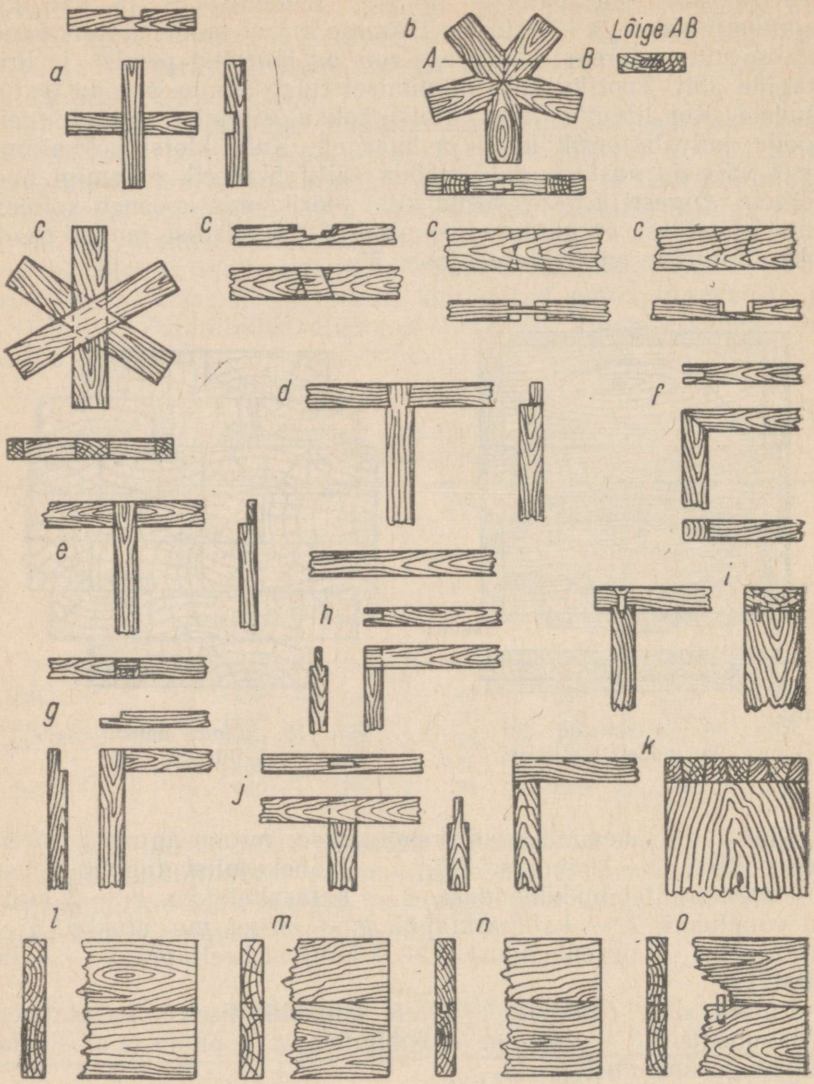
Joon. 59. Silindri mudeli osade liitmine.

Puitosade ühendamiseks kasutatakse mitmesuguseid liiteid (joon. 60): *a* — hammasristet, *b* — tähekujulist tappühendust, *c* — tähekujulist lukkühendust, *d* — kalasabalukku, *e* — T-kujulist rööplukku, *f* — kaldharktappi, *g* — sirget nurgalukku, *h* — harktappi, *i* — uureühendust, *j* — T-kujulist keeltappi, *k* — kalasabatappi.

Puitklotside (-laudade) laiuti kokkuliitmiseks kasutatakse nelja moodust: *l* — põkk-, *m* — poolpunn-, *n* — punn- ja *o* — salapulkadega ühendust.

Kärnkastide nurkade ühendamiseks võib kasutada joonisel 61 näidatud liiteid.

Tõsteabinõud ja klambrid kinnitatakse kruvide või poltidega. Kruvide ja poltide pead tuleb mudeli välispinnal kuni 8 mm sügavusele sisse lasta ning augud sisseliimitavate puitkorkidega sulgeda. Naelte ja väikeste kruvide päid võib pahteldada ja kruntida. Krunt valmistatakse 8—9 osast värnitsast või oksoolist ja 1—2 osast rauamennikust või ookrist. Pahtel valmistatakse kolmest osast jahvatatud kriidist ja ühest osast 10%-lisest tisleriliimi lahusest.

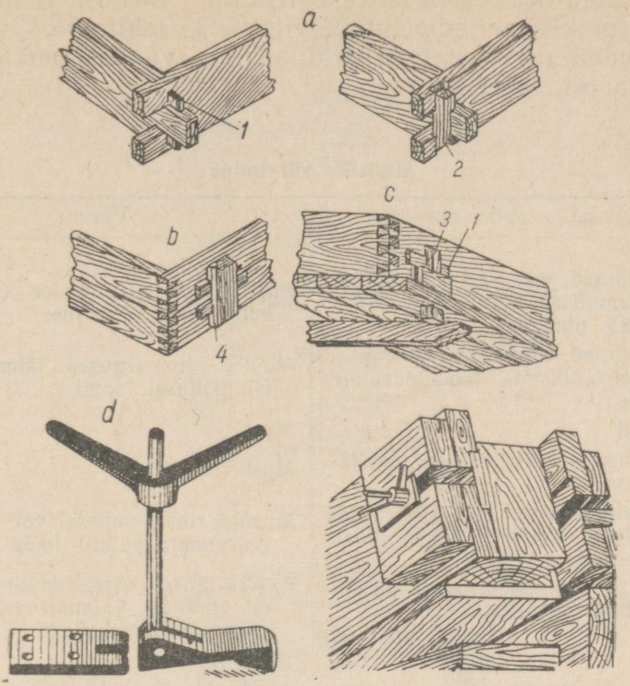


Joon. 60. Puitosade ja laudade ühendusi.

Siduda, liita ja liimida võib ainult kuiva puitu. Plokkide servad peavad olema vuugitud.

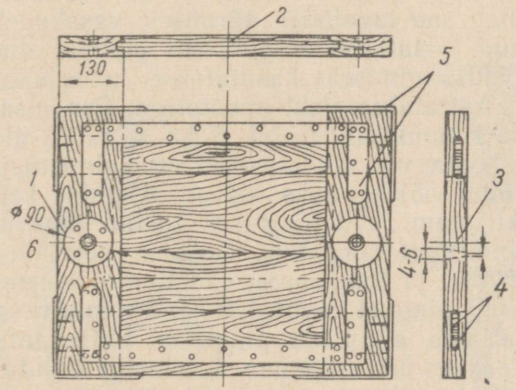
Seeria- ja suurseeriatootmiseks ette nähtud esimese klassi puitmudeleid armeeritakse rauaga, «rautatakse» (joon. 62).

Kokillide, šlakikoppade jne. vormimiseks kasutatavad rautatud mudelid püsivad remonti vajamata kaua kasutuskõlblikud



Joon. 61. Kärnkastide nurkade ühendamine:

a — kiiludega; *b* — klamberkiiluga; *c* — seadekiiluga; *d* — poltühendusega: *1* — lamekiil; *2* — ruutkiil; *3* — seadekiil; *4* — klamber



Joon. 62. Esimese klassi mudeli rautamine:

1 — metallraam; *2* — laud; *3* — turdumispilu; *4* — salapulgad; *5* — nurgarauad; *6* — kinnitustihvtide pesad.

ning ei kaota oma esialgseid mõõteid. Mädanemise ja niiskumise eest kaitsmiseks puitmudelid värvitakse ja lakitakse.

Et mudeli osi üksteisest eraldada, värvitakse nad erinevate värvidega (vt. tabel 7).

Tabel 7

Mudelite värvimine

Mudeli osa ja pinna nimetus	Värvus
Mudelite pinnad, mis vastavad valandite mehaanilisele töötlemisele mittekuuluvatele pindadele	Punane (malm), sinine (teras) või kollane (pronks) jne.
Mudelite pinnad, mis vastavad valandite mehaaniliselt töödeldavatele pindadele	Mustad ümmargused tähnid punasel või kollasel foonil
Kärnmargid	Must
Mudelite äravõetavate osade kokkupuutepinnad	Must ribaviirutus
Mudelite kinnitusosad — jäikusribid, mille jäljed vormides ja kärnides tehakse kinni	Mustad ribad punasel või naturaalsel (värvimata puidu) foonil
Valupead ja paksendid proovide ja proovikehade võtmiseks	P (П) tähega märgitud mustad ribad (et eristada valandit valupeast ja proovi-juurdevaludest)

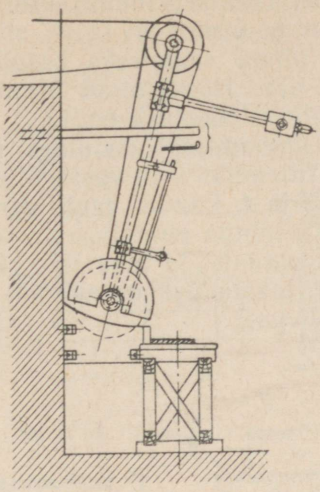
Pärast kruntimist kaetakse puitmudelid šellaklakiga. Esimese klassi mudeleid lakitakse kaks korda või värvitakse nitrolakkidega, mis on mitte üksnes tihedad, vaid ka tugevad.

Alljärgnevalt kirjeldatakse puidutöötlemise masinate kasutamist mudelite valmistamisel.

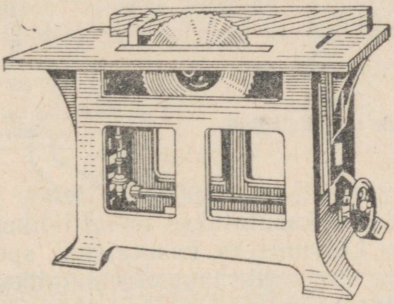
Pikkade laudade tükeldamiseks kasutatakse pendelsaage (joon. 63). Pendelsaag kinnitatakse lakke või seinakronsteinile. Vastukaal hoiab sae tavaliselt äärmises vasakpoolses asendis. Tükeldatav laud asetatakse saagimiseks puidust aluslauale. Laudade pikuti lõhkisaagimiseks kasutatakse ketassaagi (joon. 64). Mõlemad saed käitatakse elektrimootoriga. Pendelsaag pannakse pöörlema kahe rihmülekande abil. Saed seatakse üles kuiva saematerjali hoiukohta või mudelitsehhi ettevalmistusjaoskonda.

Lintsael (joon. 65) on kaks ketast. Alumine ketas pannakse pöörlema elektriajami abil ning see toetub oma tugitappidega liikumatult kinnitatud laagritele. Ülemise ketta laagrid võivad püstsoontes liikuda ja kompenseerivad lindi pikenemise selle kuumenemisel. Lindi pingust reguleerib kindla suurusega vastukaal, mis püüdes laskuda allapoole pingutab linti. Lintide laius on 6—30 mm ja paksus 0,55—0,9 mm. Lintsaage kasutatakse sirgeks ja kõverjooneliseks piki- ja risttükeldamiseks. Laudade etteandmine toimub käsitsi.

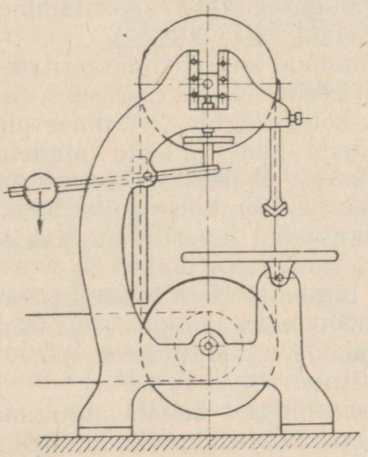
Klotsidest kinnise kontuuriga tükkide väljasaagimiseks kasutatakse jõhvsaagi (joon. 66). Esmalt puuritakse klotsi auk, piste-



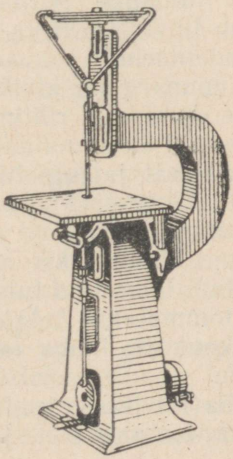
Joon. 63. Pendelsaag.



Joon. 64. Ketassaag.



Joon. 65. Lintsaag.

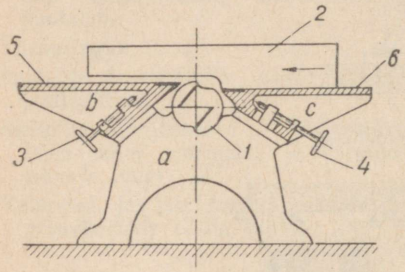


Joon. 66. Jõhvsaag.

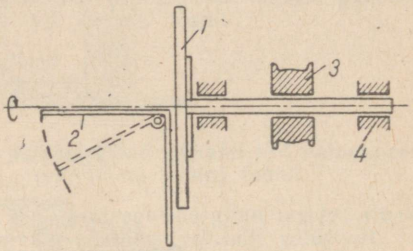
takse siis saag sellest läbi ja kinnitatakse. Saeleht liigub ülesalla. Saelehe laius on 2—5 mm.

Sileda ja tasase pinna saamiseks kasutatakse hööveldamisvuukimispinke (joon. 67). Höövelterad kinnitatakse horisontaalvõllile *1*. Nende lõiketera lõikenurk on 45°.

Töödeldava laua suunamiseks on pingi töölauale kinnitatud nihutatav juhtlatt *2*. Etteande- *6* ja vastuvõtulaua *5* asendit reguleeritakse kruvidega *3* ja *4*. Laud *5* asub höövliterade pöörlemisel moodustuva silindrilise pinna puutetasapinnas. Töödeldav materjal asetatakse etteandelauale ja lükatakse käsitsi ettevaatlikult vasakule. Eraldatava laastu paksus võrdub etteande- ja vastuvõtulaua kõrguste vahega.



Joon. 67. Hööveldamis-vuukimispink.



Joon. 68. Lihvimispink:
1 — klaaspaberiga ketas; *2* — šarniirlaud; *3* — rihmaratas; *4* — laager.

Avade, hammasrataste hammaste ja teiste puitmudelite treimiseks ja freesimiseks kasutatakse metallilõikepinkide sarnaseid trei- ja freespinke. Lihvimiseks kasutatakse spetsiaalseid puidulihvimispinke (joon. 68), mille tasasele metallkettale *1* või silindrile kinnitatakse klaaspaber. Lihvitav toode kinnitatakse töölauale. Silindrile antakse peale pöörleva liikumise ka veel edasitagasi liikumine. Mitme läbimõõduga silindrite kasutamine võimaldab lihvida erineva kujuga tooteid.

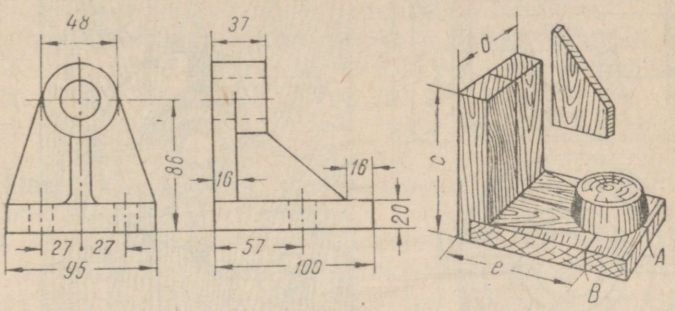
Mudelitsehhis peavad olema abinõud lõikeriistade teritamiseks, nagu ümmargune kivikäi, käi höövelterade teritamiseks, saelehtede teritamise ja rihtimise pink, ketassaagide teritamise pink jt.

Joonisel 69 on näidatud kronsteini mudel ja selle valmistamise skeem. Plaat ja tugi liimitakse kokku üksikutest klotsidest ning hööveldatakse parajaks. Plaadi äärele lõigatakse valts. Kontrollinud nurgikuga plaadi ja toe omavahelist asendit, liimitakse nad kokku ja kinnitatakse kruvidega.

Plaadi laiusele *d* tuleb pärast liimimist jätta hööveldamisvaru. Toele tõmmatakse telgjoon *A*, mõõdetakse kaugus *e* ja tõmmatakse koonilise naba (silma) asukoha määramiseks teine telgjoon *B*.

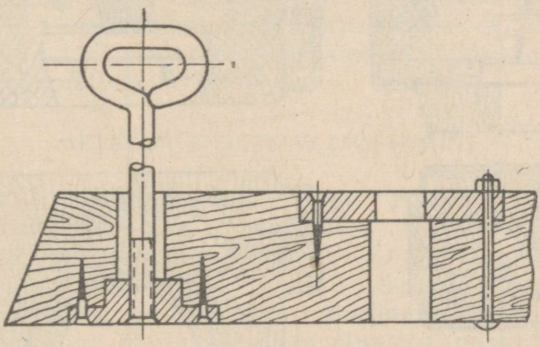
Naba lihvitakse parajaks. Naba õigeks kohalepaigutamiseks tõmmatakse joonte *A* ja *B* lõikepunktist naba raadiusega ring-

joon. Edasi tõmmatakse plaadi äärtest sellele ringjoonele puutujad, lõigatakse nende järgi tugi õigesse kujusse ning viimistletakse lihvimispingil.



Joon. 69. Kronsteini mudel.

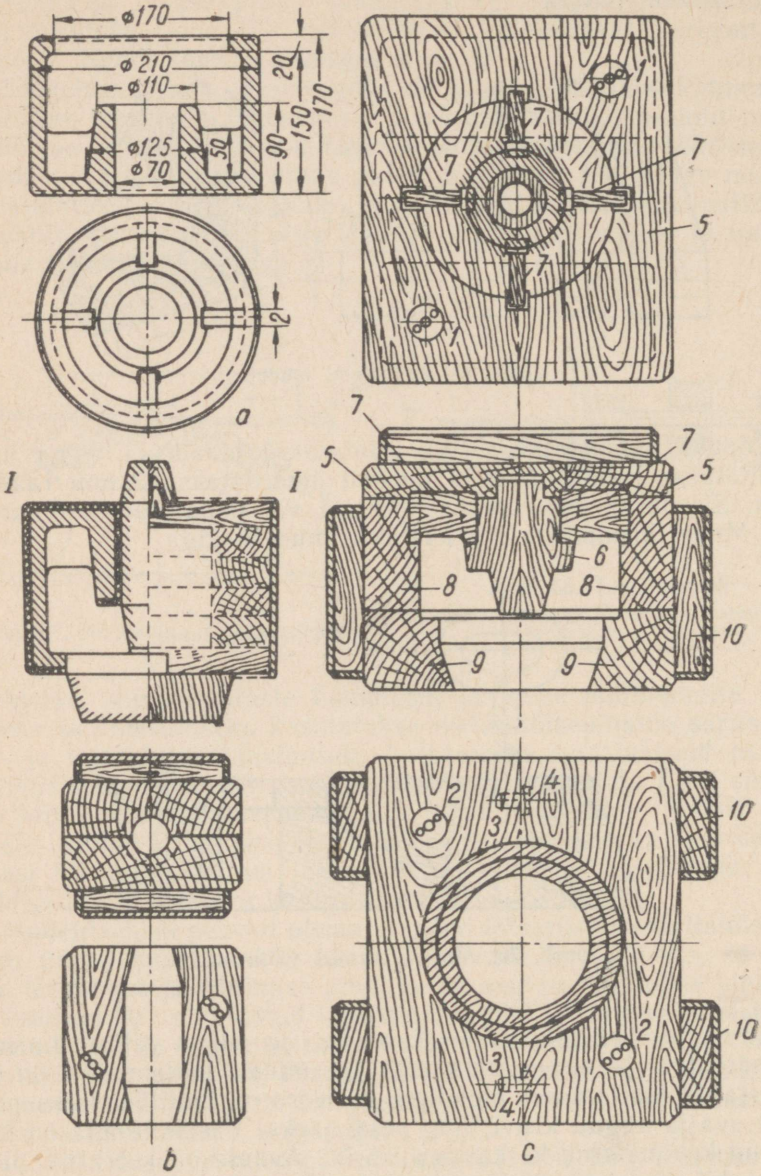
Lõpuks valmistatakse ribi, sobitatakse plaadi ja toega ning kinnitatakse kohale. Mudeli nurgad ümardatakse 2 mm raadiusega. Sisenurkadesse tehakse pastast või naharibadest ümardused. Mudel krunditakse ja kaetakse mudelilakiga.



Joon. 70. Mudeli vormist väljavõtmine.

Abinõu mudeli lahtilöömiseks vormis ja sellest väljatõstmiseks on näidatud joonisel 70. Massiivse mudeli kaitsmiseks on see varustatud lehtterasest plaadiga, millesse on lahtilöömiseks puuritud ava ja augud kruvi ning poldi jaoks. Vasakule alla on kinnitatud keermetatud keskavaga äärik. Avasse on keeratud pide, mille abil mudel tõstetakse vormist välja.

Kolvi vormimisel (joon. 71, *a*) valitakse vormi eralduspinnaks tasapind I-I. Mudel ja kärnkastid valmistatakse esimese tugevusklassi järgi. Mudel liimitakse kokku neljast reast klotsidest ja kahest kettast. Koonilised kärnmargid treitakse kõvadest puidulii-



Joon. 71. Kolvi puitmudel ja kärnkastid:
a — valand; *b* — puitmudel ja kärnkast; *c* — siseõõnsuse kärnkast.

kidest, näiteks kasest. Väike kärnmark tehakse vormimise hõlbustamiseks eemaldatavana.

Valandi peaõõnsuse kärnkast *c* käib lahti kolmeks osaks. Lahtivõetavad osad tsentreeritakse nelja düübliga *1*, *2*, *3* ja *4*. Kärnkast koosneb alusest *5*, keskmuhvist *6* ribidega *7* ja külgpooltest, mis treimise hõlbustamiseks on kokku liimitud osadest *8* ja *9*. Kogu kastile jäikuse andmiseks on tema külgedele liimitud ja kruvidega kinnitatud liistud *10*.

Kärnkasti siseõõnsus treitakse välja treipingil. Neli ribi *7* soonitakse muhvi *6* ja alusesse *5* ning liimitakse koos muhviga jäigalt aluse külge. Ribide välimised otsad asuvad vabalt kastipoolte soontes.

Kast asetatakse alusega allapoole ning täidetakse kärniseguga. Täitmise lõppemisel pööratakse kast ümber ja tõstetakse alus koos ribidega *7* ettevaatlikult välja. Külgosad eemaldatakse külgsuunas.

Töödeldavate puitosade käsitsi etteandmine puidutöötlemispingi lõiketerale nõuab suurt ettevaatust. Suured lõikekiirused ja töödeldava puitosa ettevaatamatu käsitsemine on käte haavamise ja raskete vigastuste sagedaseks põhjuseks. Seepärast tuleb mudelitsehhi töölisi, eriti noori, perioodiliselt instrueerida ja õpetada neile ohutustehnika reegleid.

Üksikasjalisemaid andmeid nii puidu omaduste ja töötlemise tehnoloogia kui ka mudelite konstrueerimise ja valmistamise kohta võib leida I. P. Jegorenkovi raamatust «Модельное производство», Машгиз, 1956.

METALLMUDELITE VALMISTAMINE

Masstootmise tingimustes ei taga puitmudelid küllaldast vormimistäpsust. Seepärast kasutatakse väikeste ja keskmiste valandite suurehulgaliseks valmistamiseks (tuhanded ja kümned tuhanded valandid aastas) metallmudeleid ja mudeliplaate. Metallmudeleid saab valmistada täpsemalt kui puitmudeleid, samuti on nad väga puhta ja sileda pinnaga, mistõttu ka valandid saadakse täpsemad. Kuna metallmudeleid kasutatakse enamasti ainult masinvormimisel, siis monteeritakse nad mudeliplaatidele. Igale plaadile monteeritakse mitte üks, vaid mitu väiksemamõõdulist mudelit.

Tootmisseisakute vältimiseks valmistatakse dubleerivad mudelid, mis võetakse ekspluatatsiooni pärast esmaste metallmudelite kulumist või nende remondi ajaks.

Käsitsi vormimisel kasutatakse metallmudeleid ainult juhtudel, kui puitmudeli tugevus osutub ebapiisavaks.

Metallmudel võib olla terviklik või lahtivõetav. Terviklikud mudelid valmistatakse lihtsa kujuga valandite jaoks. Keeruliste detailide vormimise hõlbustamiseks tehakse mudelid lahtivõetavad. Käsitsivormimisel kasutatavad metallmudelid valmistatakse

pronksist, alumiiniumisulamitest, harvemini malmist. Metallmudelite valamiseks valmistatakse esmalt kahekordse kahanemisvaruga puit-eelmudel ehk meister-mudel. Pärast valamist metallmudel puhastatakse või treitakse üle.

Metallmudelid on puitmudelitest mitu korda ökonoomsemad. Pidevalt korduvate tellimuste puhul tuleb puitmudelite kasutamist vältida. Viimased langevad kiiresti rivist välja ja nõuavad kulukat remonti.

Masstootmise mudelvarustus koosneb mudelitest, mudeliplaatidest, kärnkastidest, vormkasti terasest aluskilpidest, järelpressimisplaatidest, kärnide järelpuhastus- ja vormi asetuse kontrollšabloonidest ja -konduktoritest, samuti kuivatusplaatidest ja ventilatsiooni- ning kontrollseadmetest.

Metallmudeli *1* asetamine terasest valatud vormkasti *2* mudeliplaadile *2* ja fikseerimine kontrolltihvti *4* abil on näidatud joonisel 72. Vormkasti vasakpoolne kinnituspolt *5* on ümmargune, parempoolne *7* aga kahest küljest lamedaks töödeldud. Vormkasti parempoolne puks on ovaalne. Selline ehitus võimaldab kuuma vormkasti kohe pärast eelmise valandi väljalöömist plaadile asetada.

Metallmudelid, vormkastid ja kuivatusplaadid valmistatakse valanditena, mida hiljem töödeldakse mehaaniliselt või käsitsi. Esmalt vormitakse paaris-vormkastis puitmudel (joon. 73). Pärast mudeli vormist väljavõtmist asetatakse kastide vahele vajaliku mudeliplaadi paksune metallraam. Täites nüüd vormi metalliga saadakse ühepoolne või kahepoolne mudelitega ühte valatud plaat.

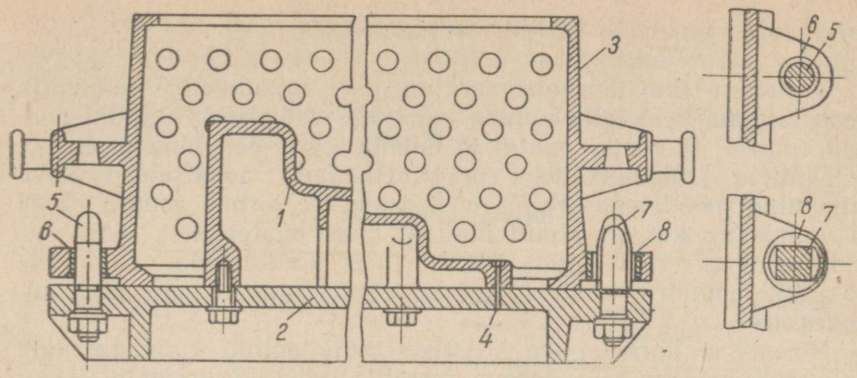
Lukksepameetodi kasutamisel valmistatakse mudeliplaat ja mõlemad mudelipooled eraldi (joon. 74). Pärast märkimist puuritakse mudelid läbi ja kinnitatakse peitpoltidega plaadi külge. Poldipead kaetakse pastaga või valatakse jootesulamit täis.

Mudeliplaate valmistatakse ka mittemetalsetest materjalidest — kipsist, tsemendist ja betoonist. Need on metallplaatidest odavamad. Valmistatud taignataoline lahus valatakse vormi ja tambitakse tihedaks. Mõne aja möödudes lahus tardub ja tekib plaat koos külgevalatud metallmudelitega.

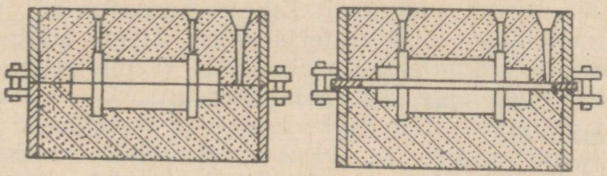
Kipsist mudeliplaadid, mida kasutatakse press-vormimismasinatel, on väikese löögitugevusega ning nad nõuavad oma hügroskoopsuse tõttu pinna lakkimist. Kipsi tardumisprotsess kestab üks kuni kaks päeva.

Tugevamate plaatide valmistamiseks kasutatakse portlandtsementi. Et plaadid tuleksid odavamad, segatakse tsemendile juurde puhast savivaba kvartsliiva (vahekorras 1 : 1). Krobe tsemendipind tasandatakse siluri abil puhta tsemendiga. Tsemendi või betooniga täidetud vormid võetakse lahti mõne päeva pärast.

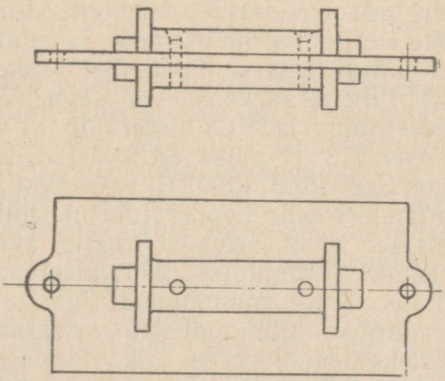
Kips- ja tsementmudeleid kasutatakse väikeste valandite tootmisel. Keskmiste valandite jaoks kasutatakse raudbetoonist mudeleid.



Joon. 72. Metallmudeli kinnitamine mudeliplaadile:
1 — mudel; *2* — mudeliplaat; *3* — vormkast; *4* — kontrolltihvt; *5* — vasak kinnituspolt; *6* — ümmargune puks; *7* — parem kinnituspolt; *8* — ovaalne puks.



Joon. 73. Ühes tükis valatud mudeliplaadi valmistamine.



Joon. 74. Lukksepameetodil valmistatud mudeliplaat.

Valuvorm kui kõrgetemperatuurilise sulametalli vastuvõtja peab tagama heakvaliteediliste valandite saamise. Valandid peavad tulema tihedad, puhta ja sileda pinnaga, ilma sisemiste defektideta (tühimikkudeta, pragudeta jne.), joonisele vastava kuju ning mõõdetega. Muld- ja keraamilisi vorme, samuti kärne ei valmistata kunagi ainult mingist ühest materjalist, vaid paljude erinevate materjalide segudest. Et kindlustada valanditele vajalikke omadusi, tuleb materjale segada rangelt määratud hulkades.

Vormi- ja kärnisegude koostiste valik sõltub valmistatavate valandite kaalust ja valatava metalli liigist. Suuremate valandite vormid peavad olema valmistatud tugevamast segust, kuna suured metallikogused avaldavad vormi seintele suuremat rõhumist, mis võib viia vormi purunemiseni. Terase valamisel tuleb kasutada suurema tulekindlusega segusid kui alumiiniumi puhul, sest terase valamistemperatuur (üle 1500° C) ületab kaugelt alumiiniumisulamite valamistemperatuuri (ligikaudu 800° C).

Materjale, millest valmistatakse ühekordseid või poolalalisi vorme, nimetatakse vormimaterjalideks. Tuleb eristada lähtevormimaterjale, sealhulgas sideaineid, ja vormi- ning kärnisegusid ning töötanud materjale (põlenud segu).

Lähte-vormimaterjalide hulka kuuluvad vormiliivad ja -savid, sideõlid, vaigud, pigid jne. «Vormimaterjalide» mõiste alla ei kuulu sulamid (teras ja malm), millest valatakse metallvorme. Vormiliivad ja savid tekivad paljastunud mäekivimite (graniidi, porfüüri, kvartsi jt.) keemilise murenemise ja järkjärgulise mehaanilise purunemise tagajärjel. Nende kivimite koostisosad vilk, põldpagu ja kvarts eralduvad pika (geoloogilise) aja jooksul, ladestudes merede ja jõgede põhja ning kallastele. Olenevalt antud koha veerežiimist võib savi vaikses vees järk-järgult sadestuda ning moodustada iseseisvaid leiukohti. Liivade tunnuseks on jäme- (osakeste suurus on üle 0,2 mm) ja teraline ehitus, kuna savid kujutavad endast väikesi libletaolisi osakesi (suurus ligikaudu 0,001 mm). Liivaterad koosnevad väga kõvast ja tulekindlast (sulamistemperatuur 1713° C) mineraalist — kvartsist (SiO_2). Liiva kuumutamisel 573° C paisuvad kvartsiterad peaaegu 4%. Edasisel kuumutamisel kuni 1200° C paisumist ei ole märgata. Korduval kuumutamisel selle temperatuurini suureneb liiva maht ainult 3%. Professor V. J. Grum-Gržimailo avastas, et kvarts muutub kuumutamisel tridimiidiks, jahtumisel aga muutub tridimiit jälle kvartsiks. Selle muundumise juures esialgsed terad purunevad ja muutuvad tolmutaolisteks osakesteks.

Liiva looduslikeks lisanditeks on vilk, põldpagu, raudoksüüdid, lubi jt., mis annavad liivale värvuse ja alandavad tema sulamistemperatuuri. Mida vähem on liivas neid lisandeid, seda heledam ja tulekindlam on liiv. Suur raudasisaldavate lisandite hulk annab

liivale kollase, isegi punase värvuse. Sellisest liivast valmistatud vormi kasutamisel saame valanditel raskestieemaldatava külgepõlenud kooriku.

Liivade liigitus klassidesse ja gruppidesse mitmesuguste tunnuste järgi on antud tabelites 8 ja 9.

Tabel 8

Vormiliivade klassid [1]

Liiva nimetus	Klass	Savisisaldus %	Ränidioksüüdi sisaldus %, mitte alla	Kahjulike lisandite sisaldus kuni %
Kvartsliiv	1k	Kuni 2	97	1,5—2,0
—„—	2k	„ 2	96	2,0—2,5
—„—	3k	„ 2	94	3,0—3,5
—„—	4k	„ 2	90	—
Lahja	T	2—10	—	—
Poolrasvane	П	10—20	—	—
Rasvane	Ж	20—30	—	—
Väga rasvane	ОЖ	30—50	—	—

Tabel 9

Vormiliivade grupid

Liiva nimetus	Grupp	Kolme naabersõela numbrid, millele jääb vähemalt 70% liivast
Ülijäme	20/40	20, 30, 40
Väga jäme	30/50	30, 40, 50
Jäme	40/70	40, 50, 70
Keskmine	50/100	50, 70, 100
Peenike	70/140	70, 100, 140
Väga peenike	100/200	100, 140, 200
Ülipeenike	140/270	140, 200, 270
Tolmjas	200/270	200, 270, vaagen

Liivad jagatakse teralise koostise järgi kaheksasse tinggruppi (tabel 9). Iga grupp tähistatakse selle sõela naabersõelte numbritega, millele sõelumisel jääb liiva põhifraktsioon.

Esimese klassi liivade hulka kuuluvad liivad, mis sisaldavad üle 97% SiO_2, vähem kui 0,5% K_2O+Na_2O, alla 0,75% FeO. Teise klassi liiv peab sisaldama 96% SiO_2, sulfiidset väävlit mitte üle 0,025%, leelis- ja leelismuldmetallide oksüüde mitte üle 1,5% ning raudoksüüde alla 1%. Kolmanda klassi liiv peab sisaldama vähemalt 94% SiO_2, sulfiidset väävlit alla 0,025%, leelis- ja leelismuldmetallide oksüüde alla 2% ning raudoksüüde mitte üle 1,5%. Neljanda klassi liivas peab olema vähemalt 90% SiO_2.

[1] Vormiliivade kohta kehtestatud uus ГОСТ (ГОСТ 2138-56). *Toim.*

Selle liiva, samuti Т, П, О ja ОЖ klassi liivade kahjulike lisandite sisaldust ei normeerita.

Arvestades liiva tulekindlust vähendavate kahjulike lisandite (raudoksüüdid, põldpagu, vilk, lubi jt.) hulka, samuti vormi valatavat sulamit, soovitatakse kasutada järgmisi liivu:

suuremõõteline terasvalu	1 k
keskmine ja väike terasvalu, suur ja keskmine malmvalu	2 k
keskmine ja väike malmvalu, värviline valu (alumiiniumi-, magneesiumi- ja vasesulamid)	3 k
väike lihtsakujuline malmvalu ja värviline valu	4 k

Vormisavide klassifikatsioon ГОСТ 3226-57

Vormisavisid klassifitseeritakse kolme tunnuse järgi:

1. Paisumisvõime (niiskuse imamise võime) järgi jagatakse savid kahte klassi:

a) tavalised vormisavid (Ф);

b) spetsiaalsed vormisavid — bentoniidid (Б).

Mida suurem on savi paisumisvõime, seda paremad on tema siduvad omadused.

Tavalised vormisavid imavad vett ainult oma osakeste pinnakihtidega. Bentoniidis imendub vesi osakeste endi sisemusse, mistõttu bentoniidi siduvus on 2—3 korda suurem.

2. Kuumuskindluse järgi jagatakse tavalised vormisavid kolme sorti (tabel 10).

Tabel 10

Tavaliste vormisavide sordid.

Sort	Tulekindlus °C, mitte alla	Kahjulikud lisandid %, mitte rohkem		
		Sulfiidne väävel	$CaO+MgO$	K_2O+Na_2O
1.	1580	0,2	2,0	3,0
2.	1350	0,3	3,0	Ei normeerita
3.	Ei normeerita	0,3	Ei normeerita	

3. Sidumisomaduste põhjal jagatakse tavalised vormisavid kuude gruppi (tabel 11).

Savi moodustab koos veega poolkeemilisi ühendeid — vettsisaldavaid alumosilikaate, mis on kleepivate omadustega. Seda omadust kasutatakse vormisegudes liivaosakeste sidumiseks. Mida rohkem vormisegus on savi, seda suurem on segu tugevus — kuid kuni teatud piirini. Tavaline savi koosneb kaoliiniosakes-

Tabel 11

Vormisavide grupid

Grupi nimetus	Grupi tähistus	Katsekeha tugevus kg/cm²	
		survele, märjalt	tõmbele, kuivalt
Vähe siduv	M	0,15—0,3	>1,5
Keskmiselt siduv . . .	C	0,3—0,5	1—2
Tugevalt siduv kuivas olekus	ПС	0,5—0,5	>2
Tugevalt siduv märjas olekus	ПВ	>0,5	1—2
Kõrge siduvusega . . .	B	>0,5	>2
Eriti kõrge siduvusega .	O	>0,75	>2

test, mille koostis on $2SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$. Bentoniit koosneb mineraal montmorilloniidi $4SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot nH_2O$ osakestest.

Mõlemal mineraalil on võime vees turduda ja moodustada kolloidlahuseid — geele. Bentoniidiosakesed on kaoliiniosakestest väiksemad: 1% bentoniiti võib asendada 2—3% savi. Veega segamisel tõuseb savi siduvus järk-järgult, sedamööda kuidas turduvad tema osakesed ja moodustub geelitaoline liim.

M klassi savi kasutatakse värviliste kui ka väikeste malmvalandite vormimiseks. Karjäärist saadav savi markeeritakse tähtede ja arvudega, olenevalt selle klassist, grupist ja tulekindlusest. Näiteks ФС-1 tähendab, et on tegemist esimest sorti vormimissaviga, millel on keskmine siduvus. Seda sorti kasutatakse märgvormide ja mitmesuguste kärnide valmistamiseks. Kõrge kuumuskindlusega savi kasutatakse terasvalanditele, keskmise kuumuskindlusega savi malmvalanditele ja madala kuumuskindlusega savi värvilistest metallidest valanditele.

Antud segu koostamiseks vajalike komponentide hulk määratakse katselisel teel laboratoorsete ja tsehhikatsete alusel proovivalamise abil.

Savi kasutatakse valutööstuses kui kvartsiteri ühtseks küllaldase tugevusega massiks siduvat materjali.

Savilahuse valmistamiseks lisatakse kuivale savipulbrile vett, mida savi põhiaine kaoliin endasse imab. Selle tulemusena hakkavad kristallid järk-järgult turduma ja pehmenema ning nende ruumala suureneb. Kui liigne vesi ettevaatlikult ära valada, jääb nõu põhja liim, mida nimetatakse hüdrogeeliks.

Kui liiva ja vee segu kuumutada 100°C, hakkab juurdesegatud vesi aurustuma ja segu kuivab võrdlemisi ruttu. Geeli on aga kuivatamiseks tarvis kuumutada kõrgema temperatuurini — 300—400° C. Põhjuseks on asjaolu, et vesi ja savi ei moodusta mitte ainult mehaanilist segu. Mehaaniliselt segunenud vesi aurub täielikult 100° C juures. Savisse segatud vesi moodustab sellega 10—12 tunni pärast aga poolkeemilise ühendi, mis on tugevam kui mehaaniline segu. Taolisi lahuseid nimetatakse kolloidseteks. Savi ja vee kolloidlahus laguneb täielikult 300—400° C

juures. Kuid sel temperatuuril jääb ühte savimolekuli veel kaks osakest keemiliselt seotud vett. Viimaste niiskusjääkide eemaldamiseks tuleb savi kuumutada 900—1100° C, s. o. põletada.

Põletamise ajal kaotab savimolekul niiskuse jäägitult ja muutub šamotiks. Šamott veega kolloidlahust ei anna. Šamotiterad käituvad vees nagu kvartsiterad ning järelikult sellega enam hüdrogeeli ei moodusta. Praktiliselt algab põletusprotsess ning savi kaotab oma kleepuvuse juba temperatuuril, mis ületab 400° C. Siit järgneb, et märga savi üle 400° C juures kuivatada ei saa, sest mõned saviosakesed kaotavad niiskuse jäägitult ja savi «põleb ära».

Savi «põlemise» nähtus on valajatele hästi tuntud. Puutudes valamisel kokku vedela metalliga savi vormi pindkihis osaliselt «põleb» ja lahjeneb. Savi siduvuse taastamiseks tuleb teda kogu aeg uuendada, lisades vormisegule värsket savi.

Savi põletamist kasutatakse poolalaliste vormide valmistamisel.

Siduvaid materjale (sideaineid) kasutatakse üksikute liivaterade sidumiseks ühtseks massiks, millel on nii märjalt kui ka kuivalt teatud tugevus. Valutootmises kasutatakse orgaanilisi ja anorgaanilisi sideaineid.

Et kergendada õige sideaine valikut mitmesugustel praktikas esinevatel juhtumitel, esitas A. M. Ljass (ЦНИИТМАШ) sideainete klassifikatsiooni, mille kohaselt kõik sideained jagatakse orgaanilisteks (väljapõlevateks) ja anorgaanilisteks (mitteväljapõlevateks).

Sagedamini kasutatavad orgaanilised sideained jagatakse omakorda veevabadeks ja vettsisaldavateks.

1. Veevabad sideained (õlid, pigid, bituumenid) on siduvate omadustega ilma vee lisamiseta. Moodustades iga liivatera ümber tugeva kile, ühendavad veevabad sideained need terakesed tugevasti üksteisega.

2. Vettsisaldavad sideained (sulfiitpiirituse praak või sulfiitleelis, dekstriin, siirup) seovad liiva ainult pärast nende eelnevat lahustamist vees. Materjalide siduvat toimet iseloomustava suurusena kasutab A. M. Ljass eritugevust. Eritugevuse all mõistetakse kuiva proovikeha («kaheksa») tõmbetugevust segusse viidud sideaine 1% kohta.

Orgaanilised sideained võivad kuivatamise ajal sublimeeruda ja laguneda. Kindla temperatuurini soojendamisel muutuvad nende jäägid kleepuvateks nagu savi, s. o. võivad kvartsi või šamotiteri või teisi nendesarnaseid täiteaine terakesi siduda enam või vähem tugevaks massiks. Kõrgemate temperatuurideni kuumutamisel võib orgaaniline sideaine välja põleda ja oma tugevuse kaotada. Enamiku sideainete omadus teradevahelist sidet kord tugevdada, kord nõrgendada on väga tähtis ja seda rakendatakse nii valuvormide valmistamisel ja ekspluateerimisel kui ka valandi jahtumisel vormis.

Küllalt väikesed ja hästi kuumenevad kärnid valmistatakse orgaaniliste (õlid), suured aga anorgaaniliste sideainete (savid) baasil. Õlide põlemine kõrge temperatuuri juures vormide täitmisel vedela metalliga põhjustab teradevaheliste tühimike tekkimist ja annab vormile väga tähtsa omaduse — järeleandlikkuse, mis vähendab valandite kahanemistakistust.

Sideainete klassifikatsioon on antud tabelis 12.

Tabel 12

Sideainete klassifikatsioon

Ainete grupp ja eritugevus kg/cm²	Tardumise iseloom	Klass A — Sideaine nimetus	Tardumise iseloom	Klass Б — Sideaine nimetus	Tardumise iseloom	Klass B — Sideaine nimetus
I $R_e > 5$	Mittepööratav	A-1 — Linaõli, Värnitsad П ja ПТ, Bakeliitpulber, 4ГУ(в)	Mittepööratav	Б-1 — МФ-17, М, МСБ	Mittepööratav	B-1 — Vesiklaas
II $R_e = 3 \div 5$	Vahepealne	A-2 — 4ГУ(п), ГТФ, ЗИС, СЛК, БК	Vahepealne	Б-2 — КВ, Dekstriin, Pigiliim		B-2
III $R_e < 3$	Pööratav	A-3 — Puupigi, КТ, СП, СБ, Kampol	Pööratav	Б-3 — Siirup, Sulfiitpiirituse praak	Pööratav	B-3 — Tsement, Vormisavi

Orgaanilised sideained moodustavad mitu klassi. A klassi kuuluvad vees mittelahustuvad ja veega mittemärguvad ained, Б klassi ained, mida enne kasutamist lahustatakse vees või niisutatakse.

A klassi kuuluvad ained ühinevad saviga halvasti, ei ole hügroskoopsed ja ei tolma tuulutamisel. Б-1 klassi kuuluvad ained kuuluvad kiirestikuivavate sideainete hulka. Б-2 ja Б-3 klassi sideained annavad märgadele segudele suure tugevuse, on kasutatavad koos saviga ja kuivavad õhus isegi toatemperatuuril.

Kaua aega loeti valutööstusele parimateks sideaineteks kallihinnalisi kergestikuivavaid taimeõlisid (linaõli, kanepiõli jt.), mis kuuluvad toiduainetetööstuse materjalide hulka. [1]

[1] Taimeõlisid mittesisaldavaid sideaineid nimetatakse valutootmises õlivabadeks sideaineteks — *Toim.*

Seetõttu tuleb taimeõlid asendada teiste, õlivabade sideainetega. Näiteks sideained 4 ГУ (в) (kuivav) ja 4 ГУ (п) (poolkuivav) sisaldavad kuni 37% taimeõli ning neid võib asendada vastavalt tabelile 12.

Sideaine П kujutab endast bakuu petrolaatumi lahust erilises lahustis — kerges petrooleumis (white spirit). Sideainet П saadakse õhu läbipuhumisel soojendatud petrolaatumist (nafta süsivesinikkudest), kusjuures tekivad kilestuvad ained. Sideaine П on taimeõlile täisväärtuslikuks asendajaks.

Sideainet ГТФ saadakse generaatorahjude põlevkiviõli raske fraktsiooni termilisel ümbertöötamisel. See õli asendab linaõli peaaegu täielikult. Kasutatakse vastutusrikaste kärnide valmistamisel. Sideained КТ, КД, КП-1, КП-4 on turba (КТ), puidu- (КД) või kivisõepigi (КП-1 ja КП-4) emulsioonid sulfiitpiirituse praagas. Emulgaatoriks on savi.

A-klassi sideaineid kasutatakse ilma veeta.

Sulfiitpiirituse praak on piiritustööstuse jääk sulfiitleelisest. Viimast saadakse tselluloositootmise kõrvalproduktina. Mõlemad jäägid on võrdtähenduslikud sideained valutootmises.

Sideaine МФ-17 on karbamiidi ja formaldehüüdi kondensatsioonisaadus plastifikaatori juuresolekul. МФ-17 lisatakse koos tardumise katalüsaatoriga (hape), mis soodustab kiirestikuivavate segude saamist. Need segud on kuivas olekus kõrge tugevusega ja neid kasutatakse õhukeste keerulise kujuga kärnide valmistamiseks jne.

Sideaine М on koostiselt sarnane МФ-17-ga ja teda kasutatakse kärnide valmistamiseks magneesiumi- või alumiiniumisulamitest valanditele.

«Hapu vesi» — gaasigeneraatorite pesemisel saadava pesuvee kontsentraat, leiab kasutamist kärnide valmistamisel valandite jaoks, milledel on mehaaniliselt töödeldavaid õõnsusi.

Dekstriini saadakse kartuli- või maisitärklise ümbertöötamisel.

Portlandtsementi lisatakse segusse 15%, liiva 85%, seejärel lisatakse 6% vett.

Vesiklaasi kasutatakse ikka laialdasemalt. Tšehhi valaja Leo Petrželi ettepaneku kohaselt viiakse segusse koos vesiklaasi ja saviga 1—1,5% kümneprotsendilist sööbenaatriumi (seebikivi) lahust. Valmis vormi läbipuhumisel süsihappegaasiga tardub segu 5—10 minuti jooksul. Tavaliste liiva-savi vormide kuivatusaeg on 8—12 tundi.

МФ-17 abil valmistatud segud on omadustelt ja koostiselt analoogilised vesiklaasisegudele, kuid viimastest märksa kallimad. Neid nimetatakse «kiirestikuivavateks», sest nende baasil valmistatud vormid kuivavad 5—10 korda kiiremini.

Abi-vormimaterjale kasutatakse külgepõlemise ära-

hoidmiseks ja neid võib ülesande järgi nimetada külgepõlemisvastasteks aineteks.

Malmvalandite külgepõlemise ärahoidmiseks lisatakse mudelisegule jahvatatud kivisütt või teisi aineid. Nende põlemisel tekkivad gaasid loovad valamise ajal vormi õõnsuses taandava keskkonna. Ökonoomsem on vormi siseõõnsuse pinna külgepõlemisvastaseks katmiseks kasutada puudrit, värvi või võideid.

Puudriteks nimetatakse kivisöe, koksi, grafiidi, kvartsliiva, tsemendi jm. tolmuks jahvatatud pulbrit, mida raputatakse märgvormi niiskele pinnale. Tolmuosakesed ummistavad vormi poorid ja takistavad vedela metalli või selle oksüüdide tungimist vormisegu terade vahele, järelikult takistavad mehaanilise, mõnikord ka keemilise külgepõlemise tekkimist.

Terase valamisel kasutatakse puudriks peenimat kvartsijahu, mille looduslikku kuju nimetatakse marssaliidiks. Jahu saadakse kollerveskites puhtast valgest kvartsliivast. Uraalis on tuntud suur Toktubai loodusliku kvartsijahu leiukoht.

Peale liiva ja savi lisatakse vormisegudele väljapõlevaid lisandeid, näiteks jahvatatud kivisütt, koksi, saepuru, kuiva turbajahu ja kuiva saepuru jahvatamisel saadavat puidujahu. Väljapõlevate lisandite ülesanne on mitmesugune. Ühtesid neist lisatakse segule, et nad vormi kuivatamisel välja põledes suurendaksid vormi pealispinnalt gaaside ärajuhtimiseks vajalike pooride mahtu. Poorsuse suurenemine parandab vormi järeleandlikkust valandi kahanemisel ja on ühtlasi kuumpragude tekkimise vastu võitlemise abinõuks. Mõned, peamiselt orgaanilise päritoluga väljapõlevad materjalid (keedetud õli, dekstriin, siirup jt.) on kleepuvad nagu savigi. Nad tõstavad märja segu tugevust. Kuivatamisel põlevad nad välja, suurendades gaasiläbitavust ja järeleandlikkust. Selliste orgaaniliste ainete laialdast kasutamist piirab nende kõrge hind. Nimetatud aineid kasutatakse kärnisegudes ning sedagi ainult vastutusrikastel juhtudel.

Malmvalu märgvormimisel lisatakse segule 5—12% kivisütt. Kivisöetolmu põlemisel tekkivad gaasid tekitavad valamise ajal vormis gaasipadja, mis takistab metalli ja selle oksüüdide tungimist vormi pooridesse ja väldib segu külgepõlemist valandile. Seetõttu saadakse puhtad hea välimusega valandid. Mida paksem on valand, seda rohkem peab segus olema kivisütt.

Kuivad vormid ja kärnid värvitakse spetsiaalvärvidega. Värv peab olema tugev, tulekindel ja ühtlane. Veega segamisel peab ta moodustama aeglaselt sadestuva suspensiooni. Värv tuleb koostada lahustist (veest või piiritusest), täiteainest — põhilisest tulekindlast ainest, ja stabilisaatorist — ainest, mis hoiab täiteaine hõljuvas olekus. Peeneks jahvatatud täiteaine annab püsiva suspensiooni ka ilma stabilisaatorite lisamiseta. Stabilisaatoriks on aine, mis tõstab lahuse viskoossust, näiteks bentoniit või savi. Mõnikord lisatakse värvile neljandat ainet — peptisaatorit, mis soodustab osakeste pihustumist (näiteks keedusool, lisatuna 1%

värvi tahke massi kaalust). Värv peab vormi või kärni pinnale kandmisel andma tiheda kihi. Mida suurem on vormi kõrgus, seda paksem peab olema värvikiht. Vorme ja kärne värvitakse pintsliga või pulverisaatoriga. Pintsliga värvimisel peab värvi erikaal olema 1,3—1,4, pulverisaatoriga värvimisel 1,18—1,22.

Vormivärve kasutatakse kuivatamisele kuuluvate vormide või kärnide katmiseks. Tüüpvärvide koostised on toodud tabelis 13.

Tabel 13

Tüüpiliste vormivärvide koostised

Tähis	Amorfne grafiit	Koks	Sepasüsi	Marssaliit	Talk	Bentoniit	Klass Б sideaine (arvutuslik alusele)	Vesi	Pasta erikaal enne tarvitamist	Kasutusala
СТ	—	—	—	73,5 —75,5*	—	3,5	2—3	20	1,4—1,5	Teras-valu
ГБ	51,5 —53,5	—	—	—	—	3,5	3—5	40	1,35—1,4	Suur malmvalu
КМГ	17	17	—	31,5— —34,0	—	3,5	3,5— —6,0	25	1,4—1,45	Keskmine malmvalu
КМГУ	9	17	9	31,5— —34,0	—	3,5	3,5— —6,0	24	1,4—1,45	Väike malmvalu
ГБ	—	—	—	—	60,0	4,0	—	35	1,25	Värviline valu
БС	—	—	—	66	—	—	12	22	1,45—1,5	Kiiresti kuivav terasvalule
БЧ	91	—	—	—	—	—	9	—	1,45—1,5	Kiiresti kuivav malmvalule

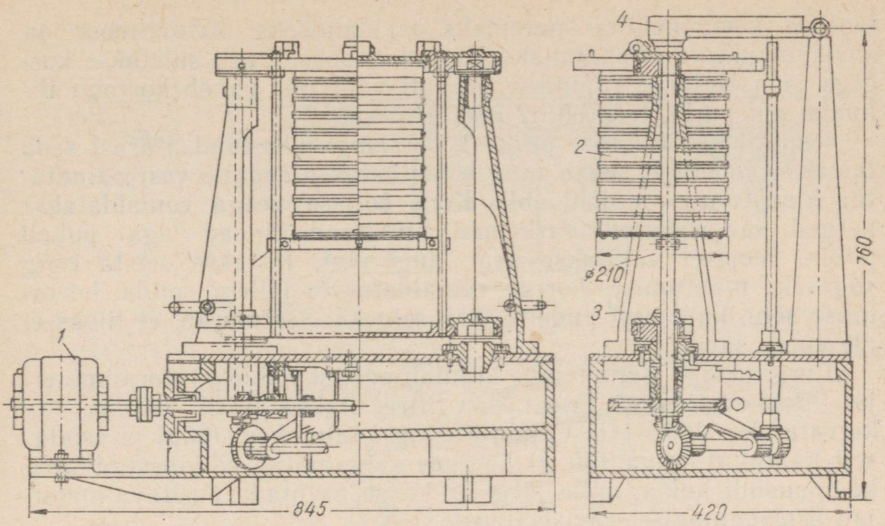
* SiO_2 sisaldus mitte alla 97%.

Võideid kasutatakse kärnidel, mis peavad valandites andma puhtaid siseõõnsusi. Võideks kasutatakse segu, mis koosneb 85% grafiidilibledest ja 15% savist. Grafiidi asemel võib kasutada talki või jahvatatud šamotti.

SEADMED VORMISEGUDE PROOVIMISEKS

Vormimaterjalide ja -segude tehnoloogiliste omaduste proovimiseks kasutatakse spetsiaalset aparatuuri.

Liiva teralisuse määramiseks kasutatakse standardsõelu (joon. 75).



Joon. 75. Liiva teralisuse määramise seade:

1 — elektrimootor; *2* — sõelte komplekt; *3* — ekstsentrik; *4* — vasar.

Teralisuse määramiseks kasutatakse savist vabastatud liiva, mis puistatakse läbi erineva suurusega aukudega sõelte komplekti. Analüüsiks kasutatavad standardsõelad on valmistatud vasktraadist ja nende ruudukujuliste silmade külgmõõted on järgmised:

Sõela nr.	6	12	20	30	40	50	70	100	140	200	270
Silma külg mm	3,36	1,68	0,84	0,59	0,42	0,297	0,21	0,149	0,105	0,074	0,053

Katse läbiviimiseks laotakse sõelad üksteise peale sambasse (kõige hõredam sõel nr. 6 üles, kõige tihedam nr. 270 aga alla). Kõige alumise sõela alla asetatakse metallvaagen, kuhu langevad kõige väiksemad liivaterad.

Ülemisele sõelale nr. 6 riputatakse kaalutud kogus savivaba liiva ja sõelutakse läbi seadme. Selle tulemusena jaguneb liiv sõeltele vastavalt oma jämedusele. Kaaludes liivajäägi kõigil sõeltel, määratakse nende kolme naabersõela numbrid, milledele jäi vähemalt 70% kogu liivast.

Vormimaterjalide savitaoliste koostisosade sisaldus määratakse uhtemeetodil (standardmeetod). 50 g 105—110° C juures kuivatatud liiva puistatakse liitrilisse klaaspurki või pudelisse ning valatakse sellele 475 cm³ vett ja 25 cm³ 1%-list sööbenaatriumi (10 g NaOH 1 l vee kohta). Sööbenaatriumi lisatakse savi-

taoliste komponentide paremaks eraldamiseks liivateradest ja savikämbukeste täielikumaks lagundamiseks. Purk suletakse korgiga ja asetatakse raputisse. Raputi võll, mis paneb korraga liikuma neli purki, teeb 60±2 pööret minutis.

Raputil loksutatakse purke koos sisuga üks tund. Pärast seda lastakse vedelikul seista ning eemaldatakse sogane vesi painutatud klaastoru — sifooni abil. Koos sogase veega eemaldatakse kerged saviosakesed, raskemad liivaterad jäävad aga pudeli põhja. Seejärel valatakse peale uus vesi, lastakse seista ning sogaseks muutumise korral eemaldatakse jällegi, mida korratakse seni, kuni vesi pudelis jääb selgeks. See näitab, et liivas ei ole enam savi.

Purgi põhja jäänud sade kujutab endast ainuüksi vormimaterjali liivakomponenti. Purgi sisu filtreeritakse, filtril saadav liiv kuivatatakse 105—110° C juures ning kaalutakse. Jäägi ja esialgselt kaalutud hulga (50 g) kaalude vahe näitab väljapestud savikomponendi hulka, mille järgi on kerge arvutada uuritava materjali protsentuaalset savisisaldust.

Savide kleepuvuse määramise seade on näidatud joonisel 76. Savi kantakse õhukese kihina kettale *1* kuni tihvtide tasapinnani.

Liikuva ketta *2* tõusmisel rebitakse savi ketta *1* küljest lahti. Kangil *3* asub liikuv koormis *7*. Koormist *7* liigutab kruvi mootori jõul. Näitaja kangi skaalal näitab savi kleepuvust kg/cm^2.

Kõige suurema kleepuvusega on bentoniidid.

Segude põhinäitajaks on gaasiläbitavus ja tugevus, mida kontrollitakse spetsiaalsete mõõteriistadega.

Tihendatud vormisegu võimet lasta oma pooridest teatud kindla kiirusega läbi gaase nimetatakse gaasiläbitavuseks. Gaasiläbitavus on tehnoloogiline omadus. Gaase mitteläbilaskev segu põhjustab valandis tühimikke. Segu tihendamise aste mõjutab gaasiläbitavust tugevasti. Gaasiläbitavuse määramiseks tihendatakse katsetatavast segust proovikeha *1* (joon. 77) silindrilises kestas, mille siseläbimõõt on 50±0,2 mm. Segu tihendatakse 6350 g raskuse ja 50 mm kõrguselt langeva rammi kolme löögiga. Proovikeha *1* kõrgus peab olema standardne ja võrduma 50± 0,2 mm.

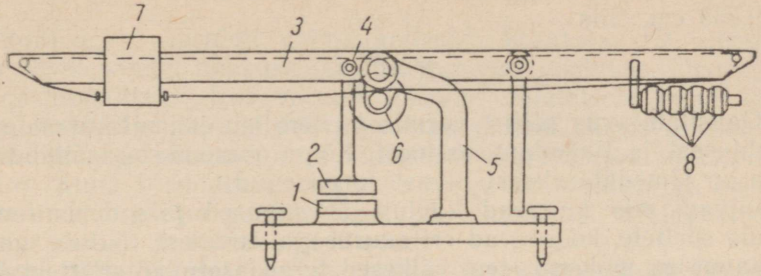
Gaasiläbitavuse määramiseks puhutakse läbi proovikeha väikese rõhu p all teatud kogus õhku (Q cm^3). Seejuures mõõdetakse õhu läbimise aeg (t/min.). Gaasiläbitavus määratakse valemiga

$$K=\frac{Qh}{fpt},$$

kus h on proovikeha kõrgus cm;

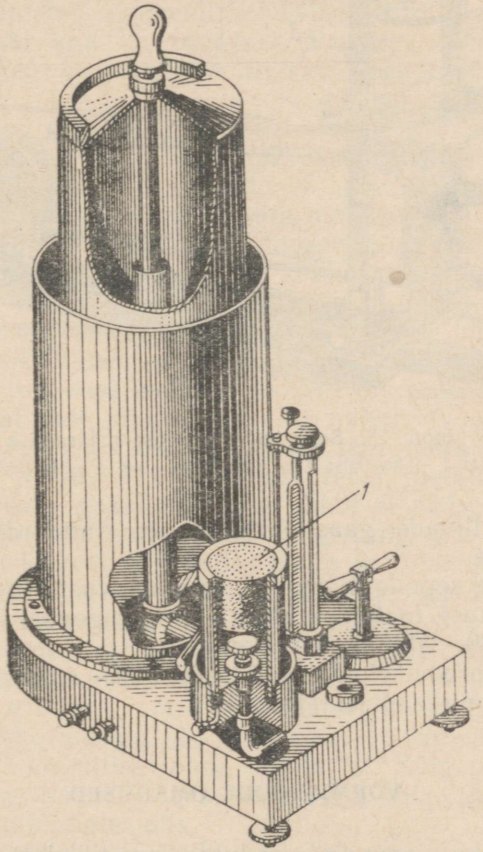
f — proovikeha ristlõikepind cm^2;

p — õhu rõhk, cm veesammast.



Joon. 76. Savi kleepivuse määramise seade:

1 ja *2* — saviga kaetavad kettad; *3* — kang; *4* — vahetatav tihvt; *5* — liikumatu tugi; *6* — hooratas; *7* — koormis; *8* — koormised nullasendi reguleerimiseks.



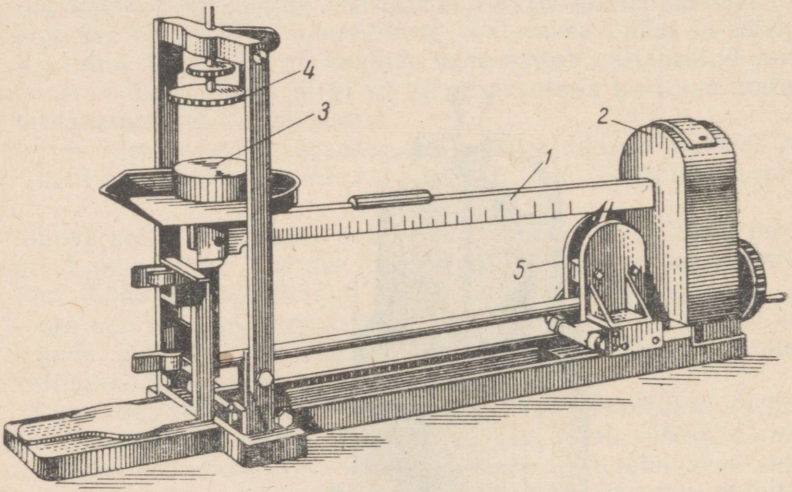
Joon. 77. Vormisegu gaasiläbitavuse määramise seade.

Standardsetes tingimustes $Q=2000$ cm³, $h=5{,}0$ cm, $f=19{,}635$ cm. Siis

$$K=\frac{509{,}5}{pt}.$$

Gaasiläbitavus sõltub vormisegu teralisusest, niiskusest, savisisaldusest ja tihendamisastmest. Kõige suurema gaasiläbitavusega on jämedateralisest liivast vormisegud.

Liivad, mis annavad kaalult ühesugused jäägid, suuremale arvule sõeltele, koosnevad eri suurusega teradest. Nende gaasiläbitavus on väiksem, sest väikesed terad asetuvad suurte vahele ja täidavad osa nendevahelistest vahemikest.



Joon. 78. Segu survetugevuse määramise seade:
1 — skaala; *2* — koormis; *3* — proovikeha alus; *4* — ülemine tugi; *5* — vanker.

Tahuliste liivade gaasiläbitavus on standardse tihendamise juures suurem.

Eristatakse segude märg- ja kuivtugevust (tugevust märjas ja kuivas olekus) toatemperatuuril ning tugevust kõrgetel temperatuuridel (800—900° C ja rohkem).

Märgade proovikehade (ø 50×50 mm) surveproovi tehakse erilisel proovimisseadmel (joon. 78).

VORMISEGUDE OMADUSED

Vormi- ja kärnisegude omadused on tihedalt seotud tööviljakuse tõstmise tingimustega valutsehhides ja toodetava valu omahinna alandamisega. Seepärast esitatakse vormi- ja kärni-

segudele tehnoloogilise protsessi eri staadiumides erinevaid nõudeid.

Vormide ja kärnide valmistamiseks kasutatavatel segudel peab olema kindel niiskusesisaldus, tugevus, voolavus, kleepumatus ja plastilisus. Kui vormid lähevad valamisele mõni tund pärast valmistamist, siis peavad vormi- ja eriti kärnisegud olema väikese hügroskoopsusega ja küllaldase tugevusega (mittepudenevad). Kuna vormidesse valatakse kõrge temperatuuriga metall, peavad segud olema gaasiläbilaskvad, pindkõvad, järeleandlikud, kuumuskindlad ja mittekülgepõlevad.

Valu väljalöömisel ja puhastamisel peavad valandid vormist ja kärnidest kergesti vabanema, s. o. segud peavad olema kergesti väljalöödavad. Seoses valu omahinna alandamise vajadusega peavad segud olema ekspluatatsioonikindlad.

N i i s k u s avaldab segu omadustele ja järelikult ka valuvormi kvaliteedile suurt mõju. Niiskuse vähesus viib vormi tugevuse alla ja põhjustab varisemist. Niiskuse liig alandab gaasiläbitavust, ühtlasi aga ka tugevust. Praktika andmetel peab märgvormide jaoks enamlevinud liiv-savi segude niiskus olema 4—7%.

T u g e v u s on omadus, mis annab segule purunemiskindluse mudeli väljavõtmisel, transpordi ajal, samuti vormi täisvalamisel. Kui segu tugevus ei ole küllaldane, purunevad (varisevad) vormi üksikud osad ning valandi kuju moonutub.

P l a s t i l i s u s on segu võime täpselt jäljendada mudeli või kärnkasti piirjooni ja säilitada neid kogu valamisprotsessi kestel.

H ü g r o s k o o p s u s on materjalide omadus imada endasse ümbritsevast keskkonnast niiskust. Niiskuse neeldumine viib märgumisele ja tugevuse kadumisele. See on eriti ohtlik märgvormidesse asetatavate kuivade kärnide puhul.

G a a s i l ä b i t a v u s on segu võime läbi lasta gaase, õhku ja veeauru, mis väljuvad valuvormist tema metalliga täitmise ajal. Mitteküllaldase gaasiläbitavuse puhul ei pääse aur, õhk ja gaasid läbi vormi seinte atmosfääri ning tungivad metalli. Jäädes valandisse, tekitavad nad selles poore ja tühimikke.

J ä r e l e a n d l i k k u s — vormide ja kärnide võime muuta oma mahtu tarduva valandi kahanemise toimel. See omadus on eriti tähtis kärnidele. Vormide ja kärnide halb järeleandlikkus põhjustab valandites kuumpragude tekkimist.

K ü l g e p õ l e m i n e on vormimaterjali kindel liitumine valandi pinnaga vormisegu ja vormi valatava sulametalli oksüüdide vastastikuse keemilise toime tagajärjel. Külgepõlemist seletatakse kahjulike lisandite (raudoksüüdid, vilk, põldpagu jt.) sisaldumisega vormimaterjalis.

Tootmistingimustes on kõiki segudele esitatavaid nõudeid väga raske rahuldada. Seepärast püütakse saavutada antud valuliigile enamtähtsaid omadusi.

Praktikas kasutatakse suurel hulgal mitmesuguseid vormisegusid. Koostiste ülirohkus seletub valamise erineva iseloomuga ja üksikute ettevõtete käsutuses olevate vormilähtematerjalide erinevusega.

Praktikas kõige laialdasemalt levinud liiv-savi segusid klassifitseeritakse järgmiselt:

Kasutusala järgi vormimisel:

1) mudelisegud;
2) täitesegud;
3) ühtsed segud.

Olenevalt vormi seisukorrast enne valamist:

1) märgvormides kasutatavad segud;
2) kuivvormides kasutatavad segud.

Olenevalt vormi valatavast metallist:

1) malmvaluks kasutatavad segud;
2) terasvaluks kasutatavad segud;
3) värviliseks valuks kasutatavad segud.

Mudelisegu kasutatakse vormi sulametalliga kokkupuutuva sisepinna (tööpinna) katmiseks ja see kantakse mudelile 15—30 mm paksuse kihina.

Täitesegu moodustab valuvormi põhiosa ning see puistatakse mudelisegu peale. Täitesegu peab olema väiksema tugevusega ja suurema gaasiläbitavusega kui mudelisegu. Täitesegu valmistatakse vormkastidest väljalöödud töötanud segu ümbertöötamise teel.

Ühtse (üldise) seguga täidetakse kogu vorm ning seda kasutatakse masinvormimisel valandite masstootmise tingimustes.

Märgvormide segud koosnevad peamiselt töötanud segust ja liivadest ning savist. Kuivvormide segud erinevad märgvormide segudest värskete materjalide (savi) kõrgema sisalduse ja töötanud segu väiksema hulga poolest. Järelikult on nad suurema tugevusega ja pisut väiksema gaasiläbitavusega.

Mudeli- ja täitesegudega töötavad ainult suure ja keskmise valu individuaaltootmisega valukojad.

Märga vormisegusse viiakse niiskust 3—4%, kuiva segusse aga 5—6%. Kuivade segude liigniiskus põhjustab vormide kuivatamisel kütuse ülekulu, märja vormi liigniiskus viib aga gaasitühimike tekkimisele valandites.

Märgvormides kasutatavad segud on väiksema tugevusega, sest nende savisisaldus ei ületa 8—12%. Suurem savisisaldus vähendab segu gaasiläbitavust. Savi turdumine veega viib samadele tulemustele: poorid täituvad geeliga ja vorm ei lase gaase läbi. Märja vormisegu koostamisel tuleb valida optimaalsed savi

ja niiskuse hulgad, et saada vajaliku tugevuse ja samal ajal küllaldase gaasiläbitavusega tihendatud segu.

Niiskuse vähesus märgvormimisel nõuab tugevamat tihendamist, järelikult aga ka suuremat aja- ja töökulu. Savi vähesus on samuti kahjulik kui savi liigki, sest vorm pudeneb ja valandisse tekivad liivapesad (risustumine). Niiskuse või savi liig põhjustab valandites gaasitühimikke, sest gaasid ja veeaurud ei jõua vormist eralduda, purustavad valandi nõrga kooriku ja jäävad mullidena valandisse.

Kuivad vormisegud sisaldavad niiskust ja savi tavaliselt suuremal hulgal kui märgvormimiseks kasutatavad segud, sest kuivatamisel savigeeli ruumala niiskuse kaotuse tagajärjel väheneb. Kõik liivaterasid ümbritsevad geelikiled kuivavad, pragunevad ja liivaterade vahelised gaaside läbipääsud suurenevad. Kuivade vormisegude jaoks vajalikud savi- ja niiskusehulgad määratakse tugevuse ja gaasiläbitavuse näitajate järgi, mis leitakse tihendatud segust proovikehade eelneval katsetamisel. Savi ja niiskuse liig aeglustab kuivatusprotsessi ja põhjustab kütuse ülekulu. Savi ja vee puudujääk alandab kuiva segu gaasiläbitavust ja tugevust.

Keskmise kaaluga valandite puhul ei ületa kuivvormisegude savisisaldus tavaliselt 10—15%. Suurte valandite puhul on vormi tugevus tema kvaliteedi peamiseks näitajaks, seepärast peab segude savisisaldus olema veidi kõrgem.

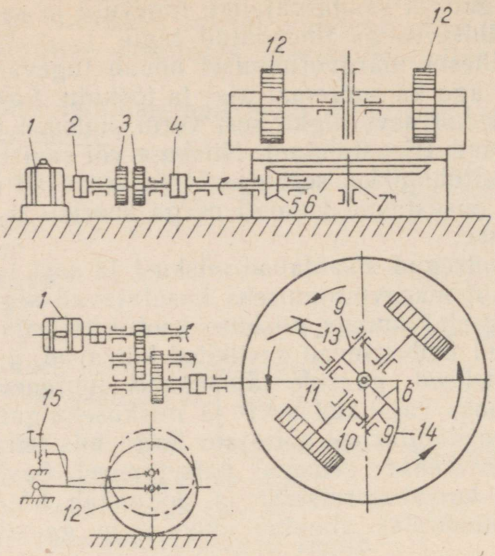
Kuid ainuüksi segude optimaalse koostise valik ei lahenda veel lõplikult kvaliteetsete valandite saamise küsimust. Palju sõltub ka vormide kuivatusprotsessi organiseerimisest.

Et gaase ja aurusid valuvormi tööpinnalt ära juhtida, tuleb vormi teha küllaldasel hulgal ventilatsioonikanaleid. Mida ühtlasema suurusega teradest koosneb segu ning mida vähem on selles tolmuosakesi, niiskust ja savi, seda suurem on tihendatud segu gaasiläbitavus ja vastupidi, mida rohkem on segus savi ja niiskust, millest savi turdub, seda väiksem on ta gaasiläbitavus.

Eriti täitesegu mitteküllaldane gaasiläbitavus on sama ohtlik kui vormi töökihi pinna liigniiskuski. Nii üks kui teine põhjustab praakvalu.

Tarvitusel olnud vormisegu nimetatakse mõnikord põlenud mullaks. Enne teistkordset kasutamist lastakse põlenud muld läbi resti, millele jäävad suuremad kamakad ja kõrvalised esemed, ning seejärel sõelutakse. Sõelutud muld lastakse läbi magnetseparaatori, mis eraldab sellest kõik metalsed lisandid (haagid, tihvtid, välised jahutid, pritsmed jms.).

Enne tarvitamist värskeid liivu ja savisid töödeldakse. Niiske liiv kuivatatakse ning selles esinevad kamakad peenestatakse. Ka savi kuivatatakse ning jahvatatakse kollerveskis pulbritaoliseks. Töötanud muld, liiv ja savi kogutakse dosaatoritega varustatud punkritesse. Segu valmistatakse kollersegajas (joon. 79), millesse üksikud komponendid antakse kindlaksmääratud koguses.



Joon. 79. Kollersegaja skeem:

1 — elektrimootor; *2* — sidur; *3* — reduktor; *4* — sidur; *5* ja *6* — hammasülekanne; *7* — vertikaalvõll; *8* — traavers; *9* — tugiteljed; *10* — vändad; *11* — kollerite teljed; *12* — rullid; *13* — sahk; *14* — sisemine sahk; *15* — hoidekruvi.

Segamine toimub alguses kuivalt, hiljem lisatakse vett ja jätkatakse segamist niikaua, kuni saadakse täiesti ühtlane segu. Viimast tuleb pärast segamise lõppemist lasta 3—4 tundi seista. Selle aja jooksul jõuab vesi imenduda saviosakestesse ja moodustada vajalikul hulgal geeli, mis seob liivaterad tugevasti omavahel. Kui proovida segu tugevust vahetult pärast segamist ilma eelneva seistalaskmiseta, siis on see kõige väiksem, kuid hakkab aja möödumisel tõusma.

Seistalaskmiseks transporditakse segu kollersegajast settimispunkrisse. Viimases segu koostis ühtlustub ja muutub homogeenseks. Enne vormimist lastakse settimispunkris seisnud segu läbi kobestamismasina ja antakse alles pärast seda vormimisele.

Vormisegu koostis sõltub metalli liigist, kohalikest karjääridest saadavatest liivadest ja savidest, valandite tükikaalust, kujust ja seinapaksusest ning lõpuks vormimisviisist. Iga valutsehh koostab vormisegud oma meetodite järgi. Tabelites 14, 15 ja 16 on toodud malm-, teras- ja värviliseks valuks kasutatavate segude iseloomustused ja koostised.

Segu omaduste rahuldavaid näitajaid ja tema koostise ökonoomsust ei määra üksnes värskete liivade ja savide omadused, vaid ka tarvitusel olnud vana segu hulk.

Töötanud segu tuleb kasutada võimalikult täielikult, värske liiva ja savi minimaalse lisamisega.

Liiv-savi vormisegud malmi valamiseks
(НИИЛИТМАШ-i andmetel)

Tabel 14

Segu nr.	Segu kasutusala	Valandi iseloomust.		Segu iseloomustus					Segu koostis % (kaaluliselt)						
									Mudelisegu				Ühtne segu		
		Kaal kg	Seinapaksus mm	Teralisus	Savisisaldus %	Gaasiläbitavus märjalt*	Survetugevus märjalt kg/cm²	Niiskus %	Töötanud segu	Värsked materjalid**	Kivisüsi	Saepuru	Töötanud segu	Värsked materjalid	Kivisüsi
1.	Märgvormimiseks	<20	<10	100/200	8—9	25—35	0,3—0,4	4,0—5,0	Üle-jäänud	20—38	2—3	—	Üle-jäänud	3—5	0,5
			>10	140/70 70/140	8—10	30—50	0,3—0,5	4,0—5,5		20—38	2—3	—		3—5	0,5
2.	„	20—200	<25	70/140	8—10	40—60	0,3—0,5	4,0—5,5	„	22—51	3—4	—	„	5—7	0,7
			>25	100/50	8—10	50—70	0,3—0,5	4,0—5,5		21—50	4—5	—		6—10	0,8
3.	„	200—1000	<40	100/50 50/100	9—11	60—80	0,4—0,6	4,5—6,0	„	26—55	4—5	—	„	8—12	1,0—1,2
			>40	50/100 70/40	10—12	70—100	0,45—0,7	4,5—6,5		25—52	5—8	—		10—12	1,2—1,5
4.	„	1000—5000	<50	50/100 40/70	11—13	100—120	0,5—0,8	5—7	„	34—52	6—8	—	—	—	—
			>50	70/40 30/50	12—14	100—130	0,6—0,8	5—7		34—52	6—8	—	—	—	—
5.	Kuivvormimiseks	<1000	—	50/100 40/70	12—14	60—80	0,5—0,8	6—7	„	25—57	—	0,3	—	—	—
6.	„	>1000	—	70/40 30/50	12—16	80—100	0,5—0,8	6—8	„	37—62	—	0,3	—	—	—

* Tiheda valu saamiseks vajalikud ülemised piirid.
** Värskete materjalide all mõistetakse liiva ja savi või saviliiva.

Liiv-savi vormisegud terase valamiseks

(НИИЛИТМАШ-i andmetel)

Segu nr.	Segu kasutusala	Valandi kaal kg	Mudeli- ja ühtse segu iseloomustus						Segu koostis % (kaaluliselt)								
									Mudelisegu					Ühtne segu			
			Teralisus	Savisisaldus %	Gaasiläbitavus märjalt	Survetugevus märjalt kg/cm²	Tõmbetugevus kuivalt kg/cm²	Niiskus %	Töötanud segu	Kvartsliiv	Vormisavi	Saepuru	Sulfiitleelis	Töötanud segu	Kvartsliiv	Vormisavi	Sulfiitpiiritluse praak
1	Märg-vormimiseks	<100	70/140 100/50 50/100	8—10	80— —100	0,3— —0,5	—	3,5— —4,5	80—40	16,5— —53,0	3—3,5	—	<0,5	92—90	6,5— —8,0	1,5— —2,0	—
2	„	100— —500	100/50 50/100	10—12	100— —120	0,4— —0,6	—	4,0— —5,0	75—40	20,5— —51,5	4—8	—	<0,5	88—80	0,5— —16,5	2—3	<0,5
3	„	>500	50/100 70/40	11—13	100— —130	0,5— —0,7	—	4,5— —5,5	60—40	33,5— —51,0	6—8,5	—	<0,5	—	—	—	—
4	Kuiv-vormimiseks	<5000	50/100	12—14	70— —100	0,5— —0,7	0,8— —1,2	5,0— —7,0	80—40	15,5— —50,5	4—9	—	0,5	—	—	—	—
		>5000	50/100 70/40	12—14	100— —120	0,5— —0,8	1,0— —1,5	5,0— —8,0	60—40	33— —49,5	6,5—9	—	0,5— —1,5	—	—	—	—
5	Kuumpragunemisele kalduvatele valanditele	—	50/100 70/40	12—14	70— —100	0,35— —0,60	—	5,0— —7,0	80—40	12,5— —45,5	4—9	2—4	1,5	1,5	—	—	—

Tabel 16

Liiv-savi vormisegud värviliste metallide valamiseks

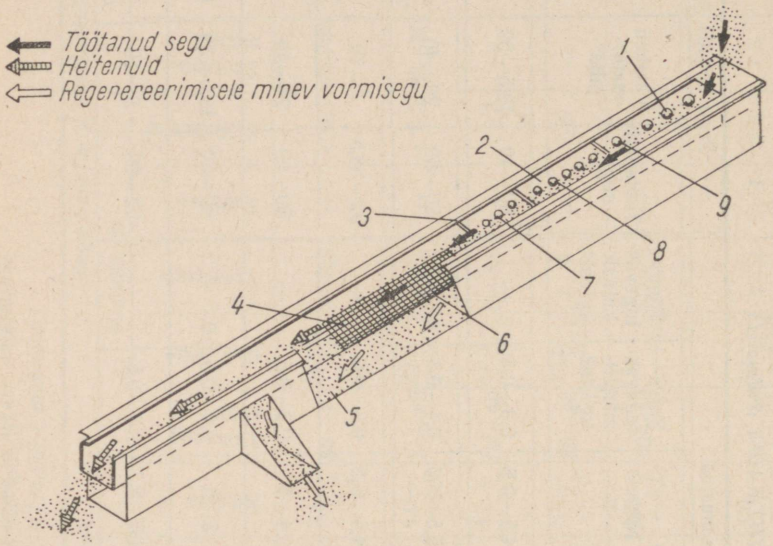
(НИИЛИТМАШ-i andmetel)

Sulami liik	Segu nimetus ja kasutusala	Vormimisviis	Segu iseloomustus						Segu koostis % (kaaluliselt)			
			Teralisus	Savisisaldus %	Gaasiläbitavus märjalt, mitte vähem kui	Niiskus %	Survetugevus märjalt kg/cm²	Tõmbetugevus kuivalt kg/cm²	Töötanud segu	Värsked materjalid*	Sulfiitpiirituse praak	Masuut
Vase sulamid	Mudelisegu	Märg	70/140 100/200	8—12	30	4,5—5,5	0,3—0,5	—	80—40	18,5—59	—	1,5—1,0
	„	Kuiv	70/140	10—15	30	5,5—7,0	0,4—0,6	0,8—1,2	80—60	20—40	—	—
	Ühtne segu	Märg	70/140 100/200	8—12	30	4,5—5,5	0,3—0,6	—	92—88,5	7—10	—	1,5
Alumiiniumi sulamid	Mudelisegu	Märg	100/200	8—10	20	4—5	0,3—0,5	—	80—60	20—40	—	—
	„	Kuiv	100/200	8—12	20	5—6	0,4—0,6	0,7—1,2	80—60	19,5—39	0,5—1	—
	Ühtne segu	Märg	100/200	8—10	20	4,5—5,5	0,3—0,5	—	92—90	8—10	—	—

* Värske materjali all mõistetakse kas liiva ja savi või saviliiva.

Töötanud segu hulk töösegu koostises määratakse iga üksikjuhu kohta eraldi, olenevalt kohalike savide ja liivade omadustest ning valu iseloomust.

Tolmu eraldamiseks töötanud segust ja töösegu koostise parandamiseks kasutatakse kuiv-, märg- ja elektrilist puhastamist ehk nn. regenereerimist.



Joon. 80. Renn-klassifikaator töötanud vormisegu liivafraktsioonide sorteerimiseks:

1 — jämejahvatuse sektsioon; *2* — keskmise jahvatuse sektsioon; *3* — peenjahvatuse sektsioon; *4* — sõel; *5* — seadme alumine osa; *6* — seadme ülemine osa; *7* — kuulid, ∅ =18 mm; *8* — kuulid, ∅ =25 mm; *9* — kuulid, ∅ =48 mm.

Kuivpuhastamine seisab töötanud liivade sorteerimises erineva teralisusega fraktsioonideks. Eelnevalt segus leiduvad kamakad peenestatakse ja sõelutakse, kusjuures kõrvaldatakse ka suuremad puidu-, šlaki- jne. tükid. Väikeste metalsete osakeste eraldamiseks lastakse peenestatud materjal läbi magnetseparaatori. Blumin ja Zaslavski, kasutades printsiipi, millel põhineb Mehhanobri klassifikaator, esitasid vormi- ja kärnisegude regenereerimise uue meetodi.

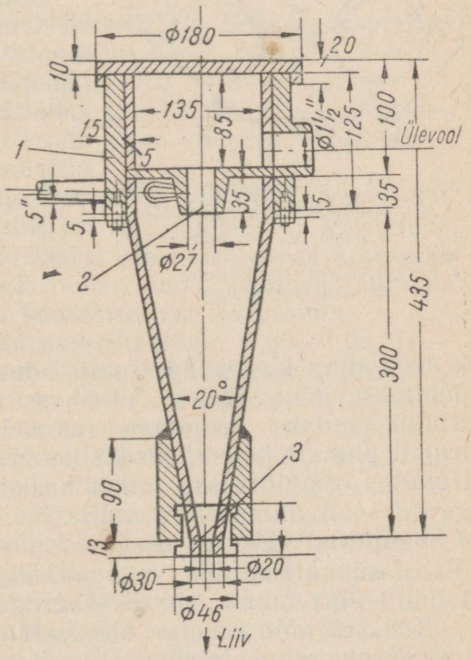
Vormkastidest väljalöödud segu antakse pärast magnetilist separeerimist terasest jahvatus-sõelumisrenni (joon. 80). Niisket segu kuivatatakse enne renni andmist tavalist tüüpi ahjudes. Orgaaniliste sideainetega valmistatud kärnisegusid põletatakse enne renni suunamist 600° C juures, et kõrvaldada nende lisandite jäänused. Jahvatus-sõelumisrenn koosneb kahest transportöörist ning on jagatud jahvatus- ja sõelumisjärkudeks. Jahvatusjärk koosneb kolmest sektsioonist, milledes on kuulid läbimõõ-

duga vastavalt 40, 25 ja 18 mm. Kuulide segiminekut takistavad sektsioonide vaheseinad. Renni pikivibreerimisel purustavad kuulid vormisegu kamakad ja eraldavad liivateradelt savikooriku. Segu satub 4×4 mm avadega sõelale ja variseb renni alumisse ossa.

Suured segutükid veerevad sõela mööda renni lõppu ning satuvad esimesele transportöörile, mis viib need heitemulla kogujasse. Väikesed sõelast läbilangevad osakesed satuvad teisele transportöörile, mis suunab need elevaatorisse ja vahepunkrisse. Punkrist puistatakse segu järk-järgult mitmele kõverpinnalisele dekile, mis võnguvad sagedusega ca 300 võnget minutis. Võnkeliikumine tagab terade klassifitseerimise suuruse järgi. Kõige väiksemad terad tõusevad dekki mööda kõrgemale, suured aga laskuvad alla. Tehes rennid vibraatori eri osadesse, saab vajaliku suurusega liivafraktsioone juhtida eraldi punkritesse.

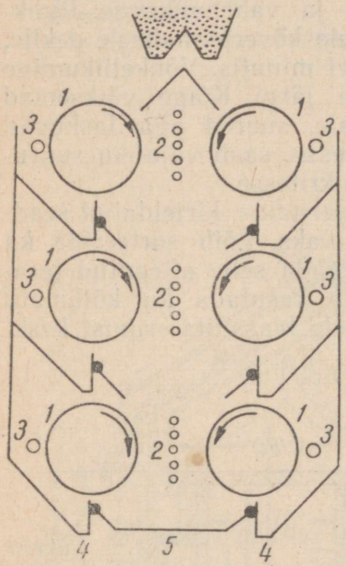
Töötanud vormi- või kärnisegu sorteeritakse kirjeldatud seadmel suurteks lisanditeks, tolmuks ja liivaks. Võib sorteerida ka karjäärist toodud värsket liiva ning jagada selle etteantud teralisusega fraktsioonideks. See võimaldab kasutada ka kõlbmatu loodusliku teralisusega liivu pärast nende klassifitseerimist keskmise terasuuruse ja kolmel naabersõelal jagunemise järgi sobivateks fraktsioonideks.

Professor I. Verhovski poolt juhitav Moskva Mäeinstituudi rikastamiskateeder töötas välja vormi- ja kärnisegude märgregenereerimise meetodi. Ühe variandi kohaselt klassifitseeritakse liiva vee keskkonnas tigumehhanismi abil, teise variandi puhul hüdrotsükloonidega. Teise variandi mehhanismides ei ole liikuvaid osi peale pumba. Kogu seade on väga kompaktne (joon. 81). Tehases «Stankolit» (Moskva) kulus seadmete monteerimiseks vaid 63 m² põrandapinda. Tunnis 8—10 t liiva ümbertöötava hüdrotsükloni kõrgus ei ületa 500 mm ning läbimõõt 250 mm. Kui piisab väik-



Joon. 81. Hüdrotsükloon liiva klassifitseerimiseks. Tootlikkus 8—10 t/h.

semast tootlikkusest, võib kasutada hüdrotsükloone, mille kõrgus on 250 mm ja läbimõõt 100—125 mm. Vee ja liiva pulp siseneb toru *1* kaudu, mis on ringjoonele puutujaks. Tsentrifugaaljõud soodustab liiva sadestumise intensiivistumist. Eri suurusega terade eraldumine põhineb suurte ja väikeste osakeste sadestumiskiiruste erinemisel. Liiv väljub alla läbi ava *2*, tolmuosakesed kantakse hüdrotsüklooni ülemisest kambrist ära veega läbi toru *3*. Põlenud segu vabaneb tolmust ja taastab oma esialgsed omadused (regenereerub). Töötanud segu gaasiläbitavus pärast läbipesemist hüdrotsükloonis on üle 200.



Joon. 82. Elektronseparaator liiva puhastamiseks tolmust:
1 — trummel; *2* — koroneerivad elektroodid; *3* — pöörlevad harjad; *4* — peenikesed fraktsioonid; *5* — jämedad fraktsioonid.

Kuiv elektronregeneratsiooni meetod on välja töötatud N. F. Olofinski ja tema kaastööliste poolt ning seda kasutatakse tehases «Manometr» (Moskva). Regenereerimine põhineb elektrilaengute kogunemisel puistematerjalide osakestele koroneerivalt elektroodilt väljuva iooni-de voo vahendusel.

Kolmest sektsioonist koosneva elektronseparaatori ehitus on skemaatiliselt näidatud joonisel 82. Regenereeritav liiv saabub punkrist kahe joana. Separaatori tootlikkus on 1 t/h. Koroonalahendus tekib pöörlevate trumlite *1* ja koroneerivate elektroodide *2* vahel.

Kõrgepinge (60 kV) antakse elektroodidele üle läbiviiguisolaatori kaudu. Separaatori ja trumli kered on maandatud. Peenimad tolmuosakesed eralduvad suurtest osakestest ning kleepuvad trumli pinnale, kus nad jõhvharjadega pühitakse juhtpunkrisse. Viimasest pudenevad osakesed järgmise trumli pinnale. Seejuures suuremad tolmuosakesed eralduvad trumli pinnalt ja langevad alla, väiksemad osakesed jäävad aga trumlile, eemaldatakse sellelt harjadega teise juhtpunkrisse, langevad sealt alumisele trumlile jne. Tulemuseks on, et punkrisse *4* kogunevad väikesed osakesed, süvendisse *5* aga suured. Süvendist *5* suunatakse liiv vagonettidega vormisegu valmistamisele, tolmutaoline mass punkritest *4* aga eemaldatakse jäägina.

Tehases «Manometr» ülesseatud elektri-koroneeriva separaatori kõrgus kuni laadimispunkriteni on 3,5 m, pikkus ja laius 2,2 m. Trumlite läbimõõt on 400 mm, pikkus 1500 mm. Pöörlemiskiirus on 30 p/min. Elektrienergia kulu 1 t liiva kohta on 3 kWh.

Kärnid jaotatakse viide klassi[1] olenevalt kärnide kujust ja tähtsusest, millele vastavalt kasutatakse ka erinevaid kärnisegusid.

Kärnisegude sideainetena kasutati valutööstuses kaua aega toiduaineid: taimeõli, jahu, siirupit, tärklist, dekstriini jt.

Viimastel aastatel on ära tehtud suur töö taimeõlide asendajate otsimisel. Selle töö esimeseks etapiks oli õlitaoliste sideainete loomine, mis sisaldasid oma koostises 40—50% taimeõli — näiteks sideained 4 ГУ ja С. Kärni-sideaine С koosneb 50% linaõlist, 25% kampolist ja 25% kergepetrooleumist. Taimeõli kulu nendes sideainetes vähendati kampoli sisseviimise arvel.

Kampol on männivaigu mittelenduv komponent, mis muudab kärnisegu mittehügroskoopseks. Kampol sulab 135° C juures ja imbub segusse. Segu jahtumisel kampol ja kärn tarduvad. Edasi ilmnes, et õlisideaine koostisesse mitmesuguste lisandite viimisel on võimalik taimeõli kulu veelgi alandada. Huvitavama ja perspektiivsema suunaga töödeks õliasendajate otsimisel oli õlivabade sideainete loomine mitmesuguste nafta-, turba-, puidu-, söe- ja põlevkivisaaduste baasil. Need olid sideained КТ, П, ГТФ, СП, СБ jt.

Käesoleval ajal kasutatakse puidupigi (ЦНИИТМАШ), turbapigi, bituumenpastat (ЦНИЛ Союзформолитьё) ja naftapigi (Taškendi põllutöömasinate tehas).

Puidupigi on puidu kuivutmise tahke jääk. Segusse lisatakse teda jahvatatult 3—4%. Niiskust ei tohi segus olla üle 2—6%, savi 2—10%. Kuivade kärnide tõmbetugevus on 5—8 kg/cm².

Kui kasutada pigi kombineeritult vees lahustuvate sulfiitleelise tüüpi lisanditega, siis tõuseb segu tugevus kuni 10—12 kg/cm².

Pigisegud jäävad liiva-õlisegudest maha gaasitekitavuse poolest. Turbapigi emulsiooni kasutatakse märgadeks ja kuivadeks segudeks ning Leningradi S. M. Kirovi nimelise Tehase andmetel asendab ta taimeõlisid täielikult. Paremad omadused annab segule turbapigi ja sulfiitleelise kombineeritud kasutamine.

Sulfiitleelis on pruun vedelik, erikaaluga 1,05—1,06 (7—8°Be'), mida saadakse paberivabrikutes tselluloositootmise jäägina. Vedelik sisaldab 90% vett ja 10% tahkeid aineid (ligniini, vaiku, magneesiumi ja lupja). Leelist aurutatakse, kuni saadakse sitke viskoosne mass, mis sisaldab 85—95% tahkeid aineid ja 15—5% niiskust. Sulfiitleelis viiakse kärnisegusse 50%-lise lahusena, mille erikaal on 1,25—1,30 (29—33°Be'). Tahke leelis lahustatakse tule või auruga soojendatavas paagis. Sulfiitleelist võib kasutada kärnide valmistamiseks, mis asetatakse kuivvormidesse vahetult enne valamist, või märgvormidesse konveieril.

Külgekleepumise vältimiseks lisatakse segule 0,5—1% värtnaõli nr. 3. Segu niiskusesisaldus ei tohi seejuures ületada 2,5% (Gorki autotehase kogemused).

[1] Vt. «Kärnide valmistamine», lk. 194.

Kui tärklist kuumutada 180—200° C juures 2—3 tundi, muutub ta dekstriiniks. Dekstriin on tumekollase kuni tumepruuni värvusega aine. Mida tumedam on värvus, seda suurem on dekstriini lahustuvus. Dekstriini lahustub külmas vees kuni 60%.

Kärnisegule lisatakse valmistamisel 1,5—3,0% dekstriini. Segu niiskusesisaldus on 2,5—5%, kuivtugevus 5,5 kg/cm². Tabelites 17, 18 ja 19 on toodud teras-, malm- ja värvilise valu juures kasutatavate kärnisegude tüüpkoostised.

A. M. Ljass ja I. B. Kumanin töötasid välja vormide ja kärnide kiirvalmistamise tehnoloogia, mille aluseks on vesiklaasi või erilise valge kuni pruuni värvusega sitket massi kujutava karbamiid-formaldehüüdvaigu (sideaine МФ 17) kasutamine.

Sideainega МФ-17 valmistatud kärni- ja vormisegud on erakordselt kõrge tõmbetugevusega — kuni 25—30 kg/cm² (punase tellise tõmbetugevus on umbes 15—25 kg/cm²), s. o. nende tõmbetugevus on 2—4 korda kõrgem kui tavalistel segudel. Eeliseks on liivamassi kiire liitumine, eriti valmis vormi või kärni läbipuhumisel kuumade gaasidega. Kärnid ja vormid ei nõua kuivatamist kuivatusahjudes, vaid võivad kuivada valmistuskohal. Seejuures omandab kärni või vormi pind lõpliku tugevuse mitte 8—10 tunni pärast, vaid juba 0,5—2 tundi pärast niinimetatud õhktermilist kuivatamist.

Liiv К 50/100 ja savi (ФПВ-1 terasvaluks, ФПВ-2 malmvaluks ja ФПВ-3 värviliseks valuks) segatakse töötanud seguga kuivalt. Sideaine МФ-17 segatakse eelnevalt 10%-lise oblikhappelahusega, mis on katalüsaatoriks. Katalüsaatorit võetakse 25% sideaine kaalust. Sideainet lisatakse segu valmistamisel kollersegajasse järk-järgult 2—3% vormisegu kuiva massi üldkaalust. Segamise aeg on 10 minutit.

Märgade proovikehade tugevus on 0,03—0,07 kg/cm², gaasiläbitavus vähemalt 180 cm/min. Kuivade proovikehade tõmbetugevus on vähemalt 25 kg/cm².

Märgade proovikehade tugevuse tõstmiseks lisatakse segamise ajal, enne vaigu sisseviimist, 2—3% sulfiitpiirituspraaka.

Uute vormi ja kärnisegude hulka kuuluvad tsemenditaolised keemiliselt tarduvad ained. Tsemendi ülesannet täidab vesiklaas — naatriumsilikaadi vesilahus $Na_2SiO_3 \cdot nH_2O$. Seda ainet valmistatakse autoklaavis, lahustades soodasilikaati vees 4—5 atmosfäärilise rõhu all. Saadava vesiklaasi värvus on valge kuni hall. Mass on tarretise sarnane ja seguneb hästi veega igasuguses vahekorras.

3—7% vesiklaasi sisaldava kuiva liivasegu tugevus sõltub L. Petrželi andmetel[1] segu niiskusest (joon. 83). Mida niiskem on segu ja mida rohkem selles on vesiklaasi (erikaaluga 1,35—1,36 g/cm³), seda suurem on kuivade proovikehade tugevus. Kui segu sisaldab 7% vett ja 7% vesiklaasi, on proovikehade tõmbe-

[1] Формовочные смеси. Прага, Гос. изд. техн. лит-ры, 1955.

Kärni klass	Segu koostis								Segu iseloomustus						
	Segu teraline osa % (kaaluliselt)				Sideainet teralise osa kaalust %									Tugevus kg/cm²	
					Veevabad materjalid (arvutatult aluse kohta)			Vett sisaldavad mat.							
	Põlenud segu	Kvartsliiv	Savi	Saviliiv	Grupp I A-1	Grupp II A-2	Grupp III A-3	Sulfiitpiirituse praak, erikaal 1,27	Saepuru segu, teralise osa kaalust %	Aluse teralisus	Savisisaldus* %	Gaasiläbitavus märjalt	Niiskus %	Survetugevus märjalt	Tõmbetugevus kuivalt
I	—	100	—	—	1,0—1,5**	—	—	—	—	50/100	1—2	130	2—3	0,03—0,06	0,6
II	—	97	3	—	—	1,5—2,0***	—	2,0—4,0	—	50/100	3—5	100	3—4	0,06—0,10	5,0
III	—	96—97	3—4 või saviliiva arvutuse kohaselt	—	—	—	2,0—4,0****	2,5—3,5	—	50/100	4—7	100	3—4,5	0,10—0,20	4,0
IV	0—40	—	—	60—100 või kvartsliiva ja savi arvutuse kohaselt	—	—	Kuni 3	1,5—3,0	Kuni 3	50/100 70/40	6—10	70	4—5,5	0,20—0,40	2,0
V	20—60	—	—	40—80 või kvartsliiva ja savi arvutuse kohaselt	—	—	—	Kuni 3	Kuni 3	50/100 70/40	10—14	70	5—6	0,40—0,70	1,0

* Arvestades ka kvartsliivas leiduvat savi.
** Arvestades sideainetes leiduvat lahustit, tuleb segule lisada sideainet П kuni 3%.
*** Arvestades sideainetes leiduvat lahustit, tuleb segule lisada sideainet ЗИС kuni 3%, БК kuni 3,3% jne.
**** Lahustit ja emulsioonis leiduvat vett arvestamata. Sideainete КТ, СП ja СБ kasutamisel tuleb arvestada veevabade (pigid, bituumen) ja vettsisaldavate (sulfiitpiirituse praak) ainete sisaldust nendes. III klassi kärnidel lubatakse kasutada A-2 tüüpi sideaineid, mida lisatakse segule vähendatud hulkades.

Tabel 18

Terase valamisel kasutatavate kärnisegude tüüpkoostised

(НИИЛИТМАШ-i andmetel)

Kärni klass	Segu koostis								Segu iseloomustus						
	Segu teraline osa, % (kaaluliselt)				Sideainet % segu teralise osa kaalust				Saepuru, teralise osa kohta %	Aluse teralisus	Savisisaldus* %	Gaasiläbitavus niiskelt, mitte alla	Niiskus %	Tugevuspiir kg/cm²	
	Põlenud segu	Kvartsliiv	Savi	Marssaliit	Veevabad (arvut. aluse kohta)			Vett sisaldavad mat.						Survetugevus märjalt	Tõmbetugevus kuivalt, mitte alla
					gr. I A-1	gr. II A-2	gr. III A-3	Sulfiitpiirituse praak erik. 1,27							
I	—	100	—	—	1,2—1,5**	—	—	—	—	50/100	1—2	130	2—3	0,03—0,06	10
II	—	97	3	—	—	1,5—2,0***	—	2,0—4,0	—	50/100	3—5	100	3—4	0,06—0,10	6
III	—	96—97	3—4	—	—	—	2,0—4,0****	2,5—3,5	—	50/100	4—7	100	3,0—4,5	0,10—0,20	4
IV	0—40	56—91	4—9	—	—	—	Kuni 3,0	1,5—3,0	Kuni 3	50/100 70/40	8—10	70	4,0—5,5	0,20—0,40	3
V	20—60	35—72	5—8	—	—	—	—	2,0—3,0	Kuni 3	50/100	10—14	70	5,0—7,0	0,40—0,70	1,5
	—	65—70	5—10	20—30	—	—	—	—	—	40/70	8—12	50	6,0—8,0	Kuni 0,80	1,5

* Arvestades kvartsliivas leiduvat savi.

** Arvestades sideaines leiduvat lahustit, tuleb segule lisada sideainet П kuni 3% jne.

*** Arvestades sideaines leiduvat lahustit, tuleb segule sideainet ЗИС lisada kuni 3%, БК kuni 3,3% jne.

**** Emulsioonis leiduvat vett ja lahustit arvestamata. Sideainete КТ, СП ja СБ kasutamisel tuleb arvestada veevabade (pigid, bituumen) ja vettsisaldavate (sulfiitpiirituse praak) ainete leidumist nendes.

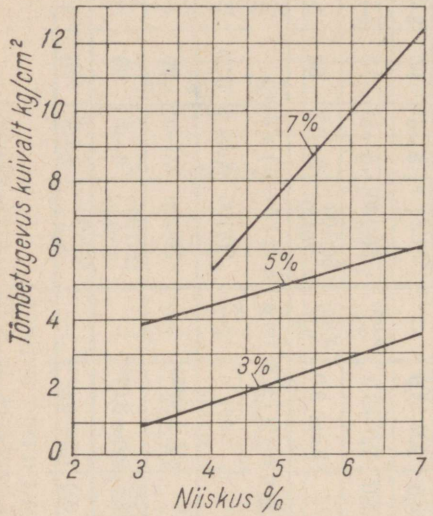
III klassi kärnidel lubatakse kasutada A-2 tüüpi sideaineid, mida lisatakse segule vähendatud hulkades.

Kärni klass	Põlenud segu või kärnimurdu %	Segu koostis: Värsked materjalid: Kvartsliiv %	Savi %	Saviliiv %	Sideainet % segu teralise osa kaalust: Veevabad (arvutatult aluse kohta): gr. I A-1	gr. II A-2	gr. III A-3	Vett sisal mat. Sulfiitpiirituse praak erik. 1,27	Segu iseloomustus: Saepuru % % segu teralise osa kaalust	Aluse teralisus	Savisisaldus %*	Gaasiläbitavus	Niiskus %	Tugevuspiir kg/cm²: Survetugevus märjalt	Tõmbetugevus kuivalt
Vasesulamite jaoks															
I	—	100	—	—	1,2—1,5	—	—	—	—	50/100—70/140	Kuni 2	120	2—3	0,03—0,06	7
II	—	97	3	—	—	1,5—2,0	—	2,0—4,0	—	50/100—100/50	3—5	90	3—4	0,06—0,10	5
III	—	96—97	3—4	—	—	—	2,0—4,0	2,5—3,5	—	—	3—6	90	3—4,5	0,10—0,20	4
IV	0—40	—	—	60—100	—	—	Kuni 3,0	2,0—3,0	Kuni 3,0	50/100	6—8	70	4—5,5	0,20—0,35	2
V	20—60	—	—	40—80	—	—	—	Kuni 3,0	Kuni 3,0	50/100—70/40	8—12	60	5—6	0,30—0,50	1,5
Alumiiniumi- ja magneesiumisulamite jaoks															
I	—	100	—	—	0,6—1,2	—	—	—**	—	50/100	Kuni 2	120	2—3	0,03—0,06	7
II	—	90	—	10	—	—	—	1,5—3,0**	—	50/100	3—5	90	3—4	0,06—0,10	5
III	—	80—85	—	15—20	—	—	1,5—2,5	2,0—3,0**	—	50/100—70/140	4—7	90	3—4	0,10—0,15	4
IV	0—30	50—60	—	40—50	—	—	Kuni 3,0	1,5—3,0**	—	50/100—70/140	6—8	70	4—5	0,15—0,25	2

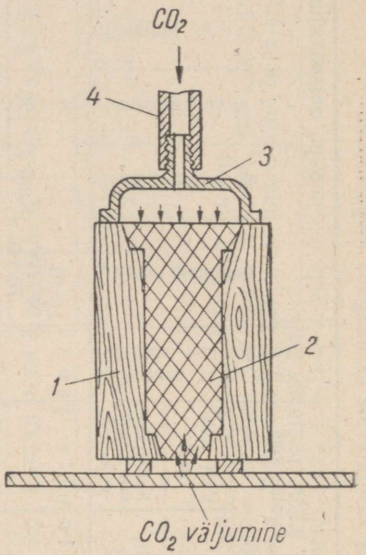
* Arvestades kvartsliivas leiduvat savi.
** Magneesiumisulamite valamisel — 0,25—0,5% boorhapet ja 0,25%—1,0% väävliõit.

tugevus ligikaudu 12 kg/cm². Kuid selline kõrge tugevus võib segu halva järeleandlikkuse tagajärjel soodustada kuumpragude tekkimist.

Küllaldase tugevusega segu (3 kg/cm²) võib saada juba 3%-lise vesiklaasi- ja 6%-lise niiskusesisalduse juures.



Joon. 83. Liiva-vesiklaasi segu survetugevuse sõltuvus jääkniiskusest.



Joon. 84. Vesiklaasi abil valmistatud kärni kiirendatud kuivatamine kärnkastis:

1 — kärnkast; *2* — kärn; *3* — otsik; *4* — voolik.

Kodumaiste tehaste kogemuste põhjal võib värske liiva ja vesiklaasi segudele lisada 30—50% töötanud segu. Vesiklaasiga valmistatud segud tarduvad keemilise reaktsiooni protsessis ja mingit kuivatamist ei nõua. Tardumine kulgeb reaktsiooni järgi:

$$Na_2SiO_3 + n \cdot H_2O + CO_2 = Na_2CO_3 + SiO_2 + nH_2O.$$

Selle reaktsiooni ajal langeb lahustist välja geel, mis tsementeerib liivasegu. Jäägis leiduv süsihapu naatrium uhutakse märgregenereerimisel kergesti välja ning töötanud segu saab kasutada korduvalt.

Süsihappegaasi kulu (gaasi hoitakse tavalistes terasballoonides) on ainult 2,66 g 5% vesiklaasi sisaldava vormiliiva 1 kg kohta. Ballooni st väljuva gaasi rõhk (joon. 84) alandatakse reduktoris 50—55 atmosfäärilt 0,8—1,2 atmosfäärini. Gaas juhitakse kummivooliku abil kärnkasti, mis on juba täidetud kärni-

seguga. Läbipuhumine kestab 30 sek. ja selle aja jooksul jõuab kärnimass kõveneda niipalju, et kärni võib asetada vormi.

Segude tugevust mõjutab tugevasti segamisaeg. Liiga pikaajalisel segamisel segude kuivtugevus langeb. Soovitav on segu segada 12—15 minutit. Segu külgekleepumise vältimiseks niisutatakse kärnkaste ja mudeleid petrooleumiga.

Kärnide järeleandlikkuse suurendamiseks jäetakse nendesse suured õõnsused.

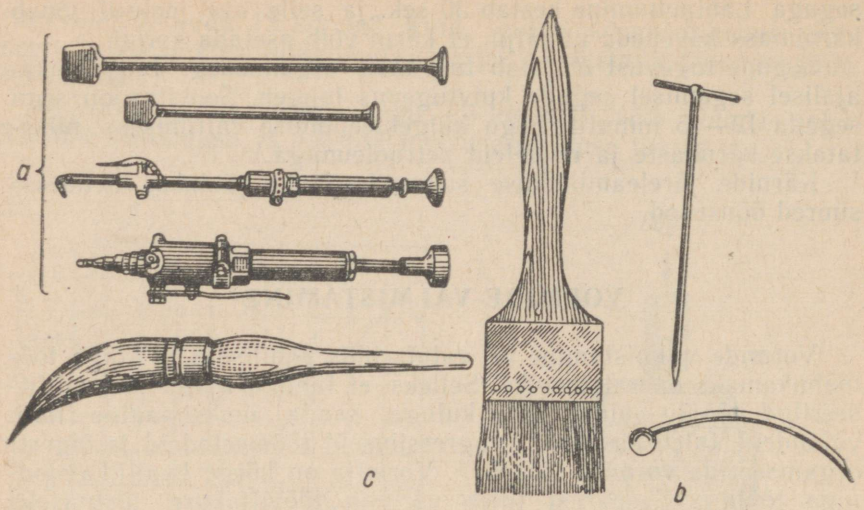
VORMIDE VALMISTAMINE

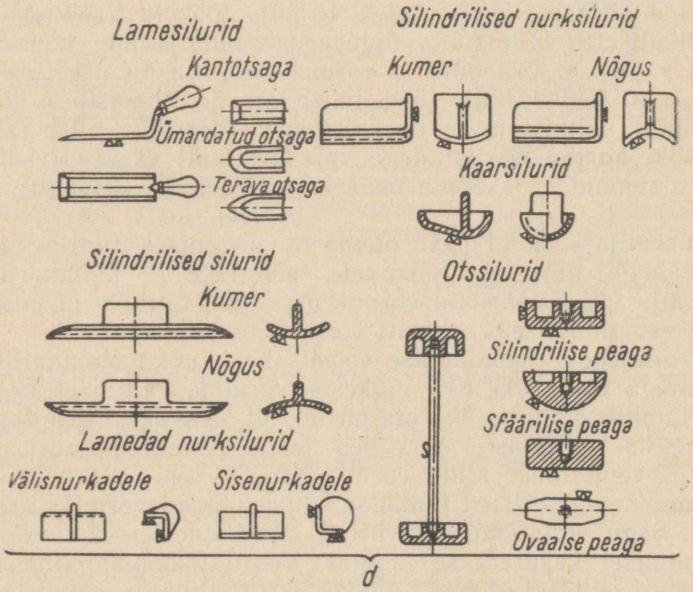
Vormide valmistamine on valutsehhis põhiliseks ja kõige töömahukamaks operatsiooniks. Selleks et lühima ajaga ja kvalifitseeritud tööjõu minimaalse kuluga saada maksimaalne hulk valandeid, tuleb kasutada progressiivseid töömeetodeid ja õigesti organiseerida vormija töökoht [1]. Vormija on kõrge kvalifikatsiooniga tööline. Seepärast tuleb vormija tööviljakuse tõstmiseks tema töö nii organiseerida, et ta mingil määral ei kulutaks aega abioperatsioonidele. Neid peavad tegema abitöölised. Tööaja kadude kõrvaldamiseks tuleb vormija töökoht vahetuse alguseks hoolikalt ette valmistada, õigeaegselt tuua kohale kõik vormimiseks vajalikud vahendid ja vormisegud, mehhaniseerida ja kergendada igati vormija tööd, lühendada ja lihtsustada kõiki valuvormide valmistamise operatsioone. Vormija tuleb varustada vajalike korras tööriistadega, mis täielikult vastavad kõigile tööoperatsioonidele, asetada need käepäraselt ja vajalikus järjekorras.

Vormija töökoht peab olema nii organiseeritud, et ta ei kulutaks aega liigsetele käikudele, pööretele ja kummardumistele. Vormija vajab tööriistu vormisegu tihendamiseks ja mudeli vormist eemaldamiseks, samuti vormi viimistlemiseks.

Vormisegu tihendatakse vormis käsi- või pneumaatiliste tambitsatega (joon. 85, *a*). Väikeste vormide täitmisel kasutatakse käsitambitsat, mille üks ots on tehtud teravaks, vormisegu tihendamiseks vormkasti servades ja kitsastes kohtades. Lameda otsaga tambitakse kinni vormi ülemised kihid. Suruõhu abil töötavad pneumaatilised tambitsad kiirendavad vormija tööd tunduvalt. Segu puistamiseks vormi ja aukude kaevamiseks põrandvormimisel kasutatakse labidat. Ventilatsioonikanalite läbitorkimiseks kasutatakse nõelu (joon. 85, *b*). Pintslit, harju ja määrdepintslit (joon. 85, *c*) kasutatakse mudeli puhastamiseks kuivanud segust, mudeli servade niisutamiseks vormist väljavõtmise ajal, samuti segu niisutamiseks vormi vigastuste parandamisel. Vormist prahi väljapuhumiseks kasutatakse käsilõõtsa või suruõhu-

[1] Töökohaks loetakse tsehhiosa, mis on tootmisülesande täitmiseks antud töölise vahetusse korraldusse.



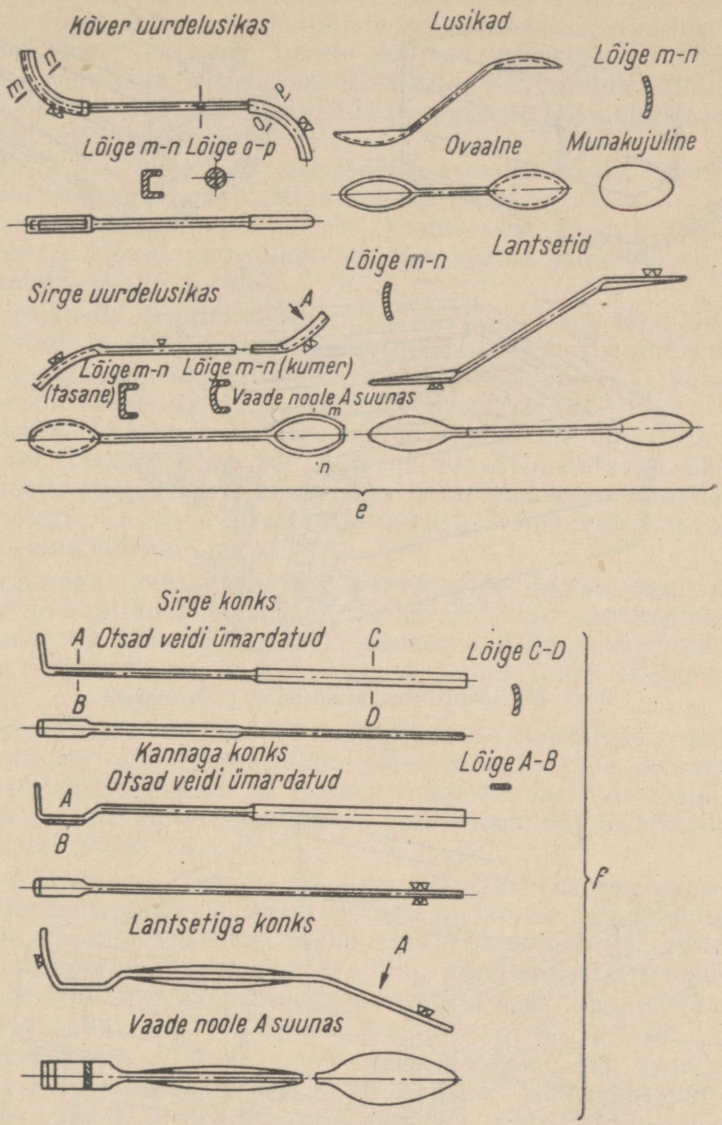


Joon. 85. Vormimisel

a — tambitsad; *b* — vardad (nõelad) ventilatsioonikanalite torkamiseks; *c* — vormimispint-

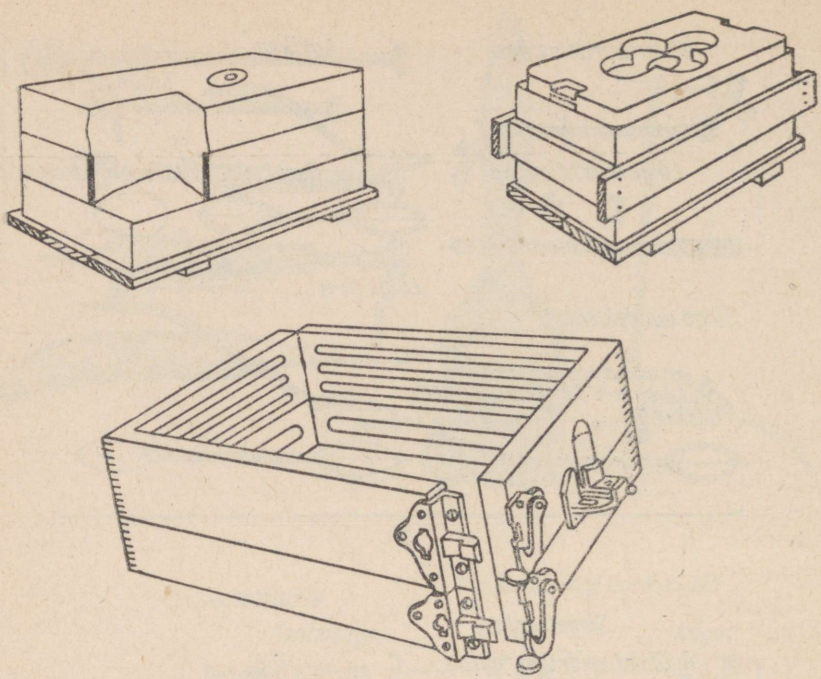
voolikut. Vormide puuderdamiseks kasutatakse tihedast riidest kotikesi, vormi pinna värvimiseks pulverisaatorit.

Vormi viimistlemiseks kasutatakse vastavat tööriistade komp-

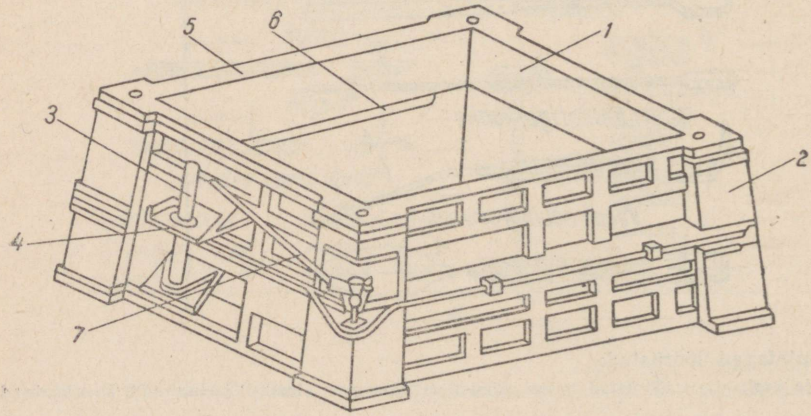


kasutatavad tööriistad:
sel ja hari; *d* — tööriistad vormi viimistlemiseks; *e* — lusikad ja lantsetid; *f* — konksud.

lekti. Pindade ja süvendite kujundamiseks kasutatakse lamesilureid (joon. 85, *d*), kumerate ja kõverate pindade silumiseks silindrilisi silureid, nukkide ja ümarduste vormimiseks lamedaid ja



Joon. 86. Lahtivõetav äratõstetav puitvormkast.



Joon. 87. Äratõstetav alumiiniumvormkast:

1 — lihvitud sisepind; *2* — valatud nurgad; *3* — juhtpoldid; *4* — karastatud terasest puksid; *5* — terasäärised; *6* — väljatõmmatavad liistud; *7* — mehhanism liistude juhtimiseks.

silindrilisi nurksilureid, kaarekujuliste ümarduste vormimiseks kaarsilureid, ning, lõpuks, süvendite silumiseks, mis on ette nähtud paksendite ja väljaulatiste kujundamiseks, otssilureid.

Sügavate ja kitsaste uurete põhjade viimistlemiseks kasutatakse kõveraid ja sirgeid uurdelusikaid. Kõverpindade viimistlemiseks kasutatakse lusikaid, väikeste pindade lõikamiseks ja silumiseks lantsette (joon. 85, *e*).

Vormi lõikamiseks ja segujääkide eemaldamiseks kasutatakse sirgeid, kannaga ja lantsetiga konkse (joon. 85, *f*).

Valuvormide valmistamiseks kasutatakse puidust, malmist, terasest ja alumiiniumisulamitest valmistatud jäiku raame, mida nimetatakse vormkastideks.

Vormkastid jagatakse oma ehituse põhjal ühes tükis valatud, keevitatud ja lahtivõetavateks vormkastideks. Teenindamisviisi järgi jagatakse nad käsitsi (väikesed ja keskmised) ja kraanaga (väikesed, keskmised ja rasked) teenindatavateks.

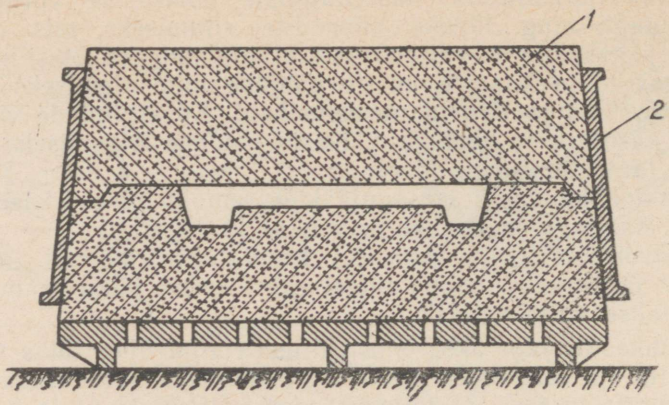
Väikeste käsivormkastide avatud pind ei ole üle 0,2 m², nad ei kaalu (täidetult) üle 50 kg ja on edasitoimetatavad ühe töölise poolt. Mugavamaks tõstmiseks varustatakse vormkastid käepidemetega. Keskmisi täidetud vormkaste transporditakse mehaaniliste abinõudega.

Kraanaga transporditavate vormkastide avatud pind on üle 0,2 m² ja kaal koos seguga üle 50 kg. Täidetud vormkastide kaal võib ulatuda 200—750 kg-ni ja nendega käsitsi opereerimine on raske; seepärast on vajalik kuni 1 t kandejõuga transpordivahend.

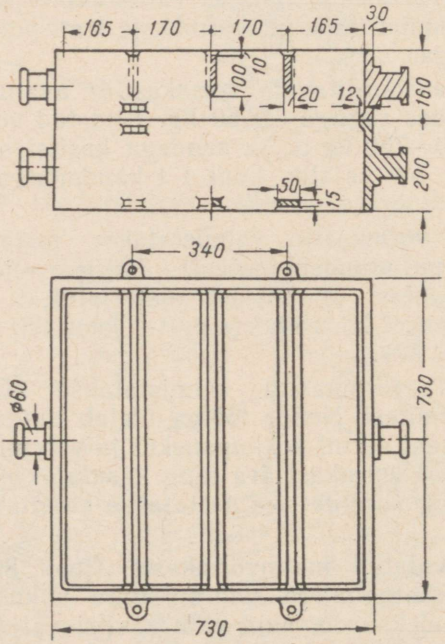
Kuivvormide vormkastid valmistatakse metallist (malmist, terasest või alumiiniumisulamitest). Märgvormide vormkastid valmistatakse puidust ja teistest materjalidest. Äratõstetavate kastidega vormimisel kasutatakse puit- (joon. 86) ja alumiiniumvormkaste (joon. 87).

Äratõstetavad vormkastid valmistatakse alumiiniumi- või magneesiumisulamitest. Nende tööiga ületab tunduvalt puitvormkastide oma. Pärast vormi kokkupanekut ja valamiskohta plaadile asetamist võetakse vormkast ära ning kasutatakse järgmiste vormide vormimiseks, vormile aga asetatakse keevitatud või valatud kest (joon. 88).

Ühes tükis valatud malmvormkaste (joon. 89) kasutatakse väike- ja suurseeriatootmises. Nad on suure jäikusega ning korduval valamisel ei kaardu, kuid valu käsitsi väljalöömisel mõranevad kergesti. Malmvormkastide kulu on 5—15 kg 1 tonni kõlbliku valu kohta. Masinvormimiseks kasutatavad vormkastid peavad olema tugevamad, seepärast valatakse nad terasest (joon. 90). Vormisegu kulu vähendamiseks, vormi gaasiläbitavuse parandamiseks ja vormi täiteaja lühendamiseks on masstootmises majanduslikult tasuvam kasutada valandi profiilile vastavaid kujuvormkaste. Lisaks suuremale tugevusele peavad masinvormimisel



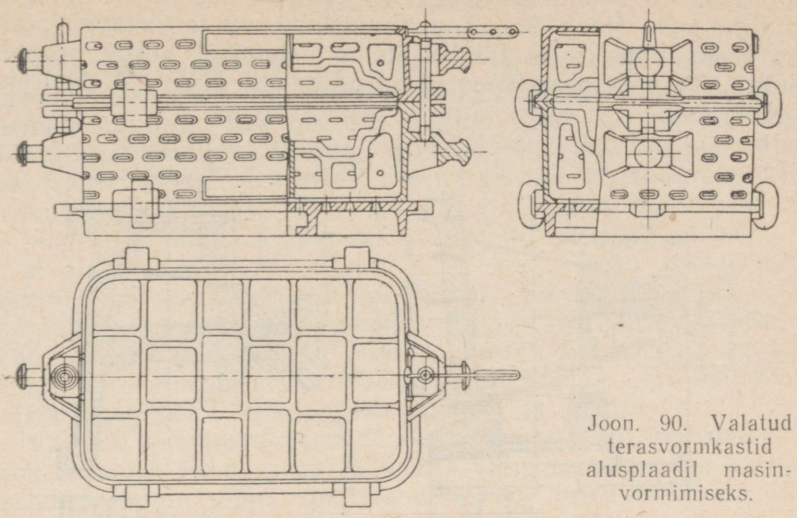
Joon. 88. Vorm kestaga:
1 — vorm; *2* — kest.



Joon. 89. Valatud malmvormkast käsivormimiseks.

kasutatavad vormkastid olema omavahel kergesti asendatavad ja tsentreeritavad.

Paariskastide tsentreerimiseks varustatakse alumised käsivormkastid juhtpoltidega ja ülemised silmadega (joon. 91, *a*).

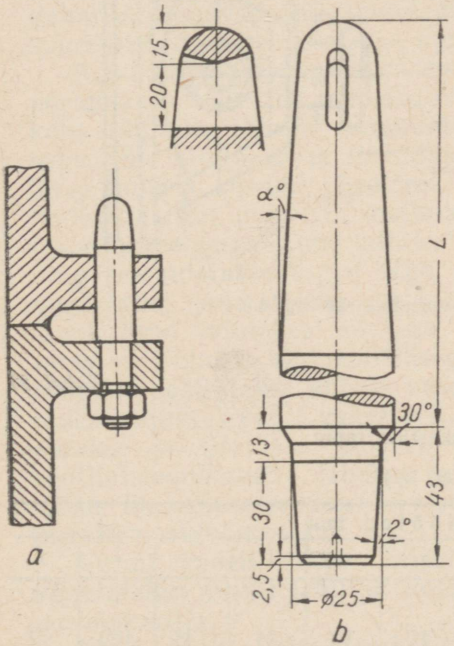


Joon. 90. Valatud terasvormkastid alusplaadil masinvormimiseks.

Tabel 20

Juhtpoltide soovitatavad mõõted (joon. 91)

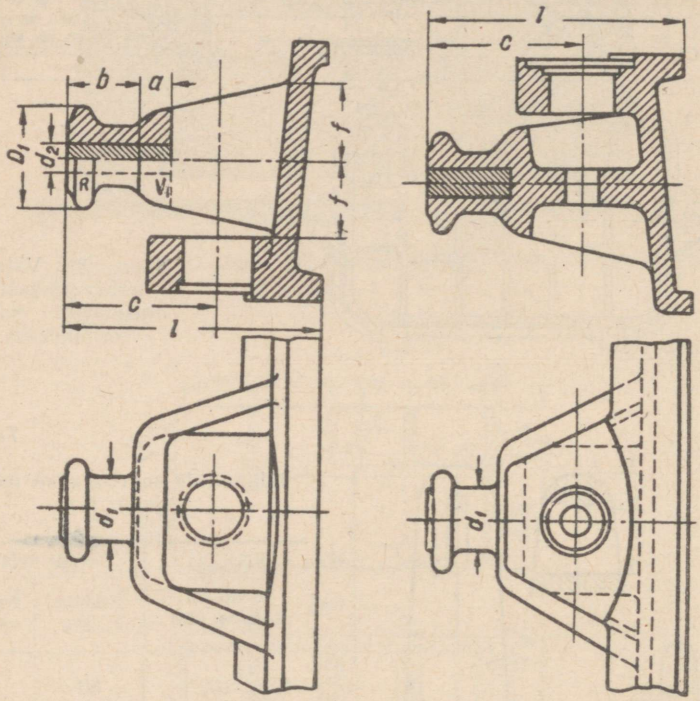
Ülemise vormkasti kõrgus mm	Poldi mõõted	
	Pikkus *L* mm	Koonilisus α
Kuni 100	80	2°
101—175	100—140	2°
176—225	175	1°30′
226—275	210	1°
276—350	350	1°



Joon. 91. Vormkasti tsentreerivad osad käsi- ja masinvormimiseks.

Masinvormimisel kasutatakse äravõetavaid juhtpolte (joon. 91, *b*). Juhtpoltide mõõted on antud tabelis 20 (V. M. Andrejevi järgi). Suurtele ja kõrgetele terasvormkastidele tehakse täiendav

juurdevalu — koonilise avaga kõrv, kuhu asetatakse juhtpoldi kooniline saba (joon. 92). Tapi tugevdamiseks ja kahanemisrabeduse ärahoidmiseks asetatakse tema valamisel vormi sisemine jahutaja. Tappide peamõõted on antud tabelis 21 (V. M. Andrejevi järgi).



Joon. 92. Terasvormkastide tapid.

Tabel 21

Terasvormkastide tapid

(joon. 92)

Vormkasti tüüp	Mõõted mm									
	D_1	d_1	d_2	R	r_1	a	b	c	l	f
Kerge ja keskmine	56	30	10	56	10	10	44	90	150	42
Raske	72	42	12	76,5	16	14	59	105	175	47

Järgnevalt vaatleme mõningaid käsitsi- ning masinvormimise viise.

Põrandvormimise all mõistetakse valuvormide valmistamist vormimisjaoskonna muldpõrandasse. Põrandvormimisel ei ole vormkaste tarvis. See on eriti oluline valandite individuaal- ja väikeseeriatootmisel. Et aga põrandas on raske saada täpsete mõõdetega valandeid, on selle vormimisviisi kasutusala piiratud. Praktikas kasutatakse kaht liiki põrandvorme: lahtisi (ülemine vormkast puudub) ja ülemise vormkastiga kaetud vorme.

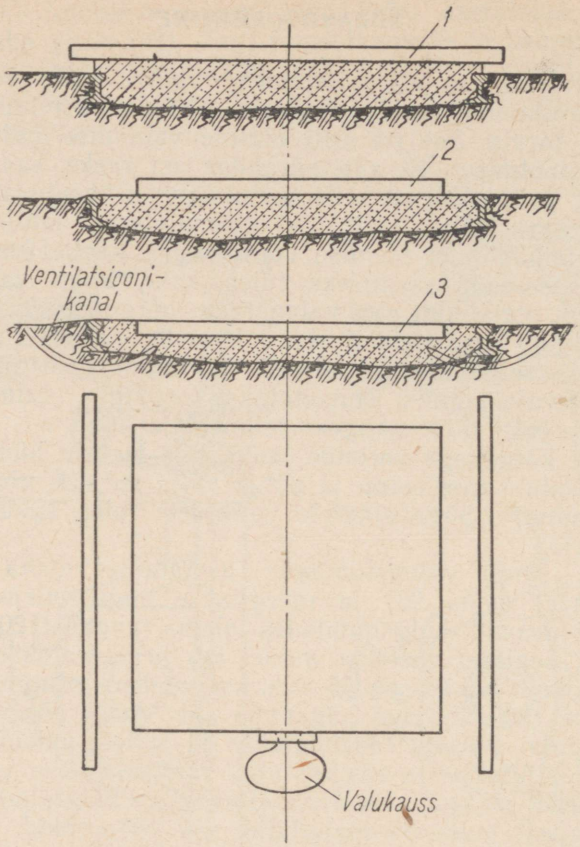
Kvaliteetse valu saamiseks tuleb koht, kuhu valmistatakse põrandvorm, vajalikult ette valmistada: põrand peab olema horisontaalne ning gaase läbilaskev. Mudeli surumisel pinnasesse peab jääma selgepiiriline jäljend. Vormimisjaoskonna põranda sellist ettevalmistamist nimetatakse «sängi» valmistamiseks. Eristatakse kaht liiki «sänge»: pehmeid ja kõvu.

Väikese kõrgusega vormide jaoks, kus metalli hüdrostaatiline rõhk ei suuda vormi seinu ja põhja välja suruda, võib kasutada «pehmet sängi». Sügavamatele vormidele tuleb kasutada «kõva sängi».

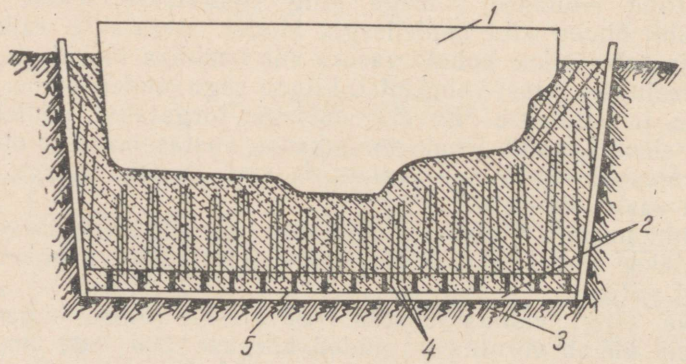
Pehme sängi valmistamiseks asetatakse maha nelinurkse plaadi mudel (joon. 93) ja märgitakse augu piirjooned. Augu gabariidid peavad külgsuundades olema mudelist 200—300 mm suuremad. Seejärel võetakse mudel ära ja kaevatakse auk välja. Kui valandi paksus on 75 mm, kaevatakse vormimisjaoskonna põrandasse 150—200 mm sügavune auk. Augu põhja asetatakse kaks külgtala. Põrand tasandatakse ja sellele puistatakse täitesegu, mis silutakse ja tihendatakse pneumaatilise või käsitambitsa lameda otsaga. Seejärel asetatakse külgtaladele rangelt horisontaalselt puit- või malmlatid või rööpatükid. Auk täidetakse täiteseguga kuni lattide tasapinnani, tihendatakse uuesti ning eemaldatakse liigne segu rihtlati abil. Lattidele asetatakse uued latid, puistatakse uus kiht täitesegu ja tambitakse jälle kinni. Pind silutakse siluriga ning riputatakse sellele tiheda sõela abil õhuke kiht mudelisegu. Mudel asetatakse esiküljega sängi ja sobitatakse kohale vasara või tambitsa löökidega, kasutades seejuures puust vaheklotsi. Liigne segu mudeli ümber tihendatakse ja silutakse. Kõvera nõelaga torgatakse mudeli alla ventilatsioonikanalid, tehakse valukauss, vastaspoolsesse otsa aga väike ülevoolureservuaar valamise ajal vormi lastava liigse metalli vastuvõtmiseks.

Vormi mudeli ümber niisutatakse kergelt pintslikese abil, koputatakse mudel lahti ja tõstetakse sissekruvitava pideme abil vormist välja.

Kõva sängi valmistamiseks kaevatakse sellise sügavusega auk, mis ületab vormitava mudeli kõrguse 300—800 mm võrra (joon. 94). Parema ventilatsiooni saamiseks puistatakse augu põhja kiht purustatud telliseid või põlenud mulla kamakaid ning tasandatakse ja tihendatakse tambitsatega. Eriti suurte valan-



Joon. 93. Plaadi vormimine pehmes sängis:
1 — rihtlatt; *2* — mudel; *3* — valmis vorm.

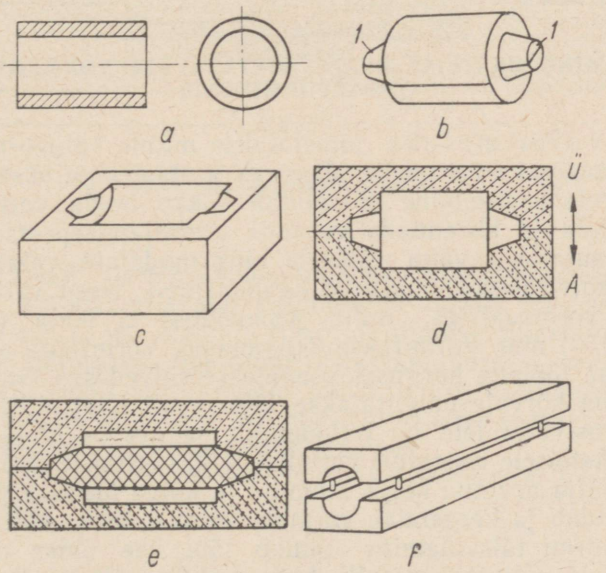


Joon. 94. Vormimine kõvas sängis:
1 — mudel; *2* — gaaside ärajuhtimistorud; *3* — koks; *4* — gaaside ärajuhtimiskanalid; *5* — metallkarkass.

dite (mehaaniliste vasarate šabotid) vormide korral asetatakse alumisele kihile 200—300 mm kõrgune malmrest, millel on hõredad 200×200 mm suurused augud gaaside jaoks, et tugevdada vormi põhja ja ära hoida metalli voolamist vormi põhja alla. Augu nurkadesse asetatakse vormi põhjast gaaside ärajuhtimiseks 50—100 mm läbimõõduga torud. Võreavad täidetakse telliskillustikuga või põlenud mulla kamakatega. Võrele puistatakse kiht kihi järel täitesegu, milles on ligikaudu 20% saepuru või õlgi, ja tihendatakse tambitsaga. Kihi üldpaksus pärast tihendamist on 100—300 mm. Täitesegu kihile asetatakse horisontaalselt juhtlatid ning torgitakse kogu vormi põhi ventilatsiooni parandamiseks 5—10° nurga all 6—10 mm jämeduse vardaga läbi, võttes aukudes sammuks 50—70 mm. Seejärel puistatakse vormi mudelisegu, tihendatakse, asetatakse kohale mudel jne.

VORMIMINE PAARIS VORMKASTIDESSE LAHTIVÕETAVA MUDELI JÄRGI

Väikese puksi (joon. 95, *a*) vormimiseks valmistatakse lahtikäiv puitmudel (joon. 95, *b*) väljaulatistega *1* kärnmarkide jaoks. Vormi valmistamist alustatakse alumisest vormkastist. Puitplaadile asetatakse mudeli alumine pool ja alumine vormkast (joon. 95, *c*), puistatakse mudelile kiht mudelisegu ja tambitakse see kinni. Edasi puistatakse kihikaupa sisse täitesegu ning tihen-



Joon. 95. Puksi vormimine paarisvormkastis kärniga mudeli abil.

datakse tambitsaga. Pärast seda kõrvaldatakse üleliigne segu latiga ja torgatakse sisse ventilatsioonikanalid. Poolvorm pööratakse ümber, asetatakse mudelile selle ülemine pool ning alumisele vormkastile ülemine vormkast (joon. 95, *d*). Vormipoolte eralduspind puistatakse üle kuiva jämeda liivaga, et vormipooli hiljem üksteisest eraldada. Liiva nimetatakse eraldusliivaks (vaheliivaks). Seejärel pannakse kohale räbupüüdja ja püstkanali mudel ning vormitakse vormi ülemine pool. Enne viimaste segukihtide puistamist paigaldatakse tõusupea mudel ja lõpetatakse ülaosa vormimine. Pärast seda tõstetakse ülemine vormipool ära ning pööratakse ümber. Siis niisutatakse vormiservi mudeli ümbert veega, koputatakse mudel lahti ja võetakse vormist välja. Mõlemad poolvormid vaadatakse üle, parandatakse märgatud vigastused, silutakse pindasid siluritega, lõigatakse alumisse poolvormi toitekanalid ja puistatakse vorm puudriga üle.

Ülemine poolvorm pööratakse serviti, võetakse temast välja püstkanali ja tõusupea mudelid ning viimistletakse. Seejärel asetatakse alumise vormi markidesse valmis kärn (joon. 95, *e*), kontrollitakse ventilatsioonikanalite avasid kärnmarkides ning tehakse poolvormi pinnale gaaside ärajuhtimiseks kärnist väike kanal.

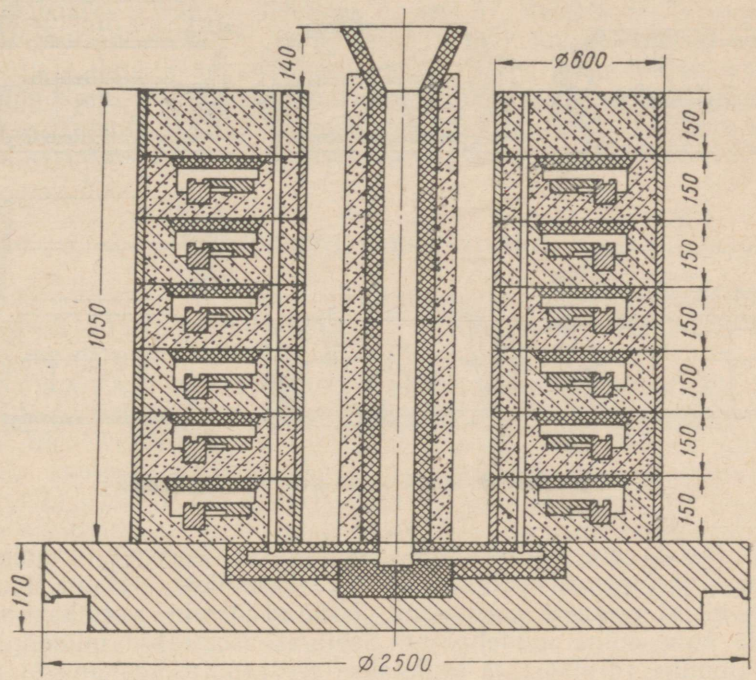
Edasi puhutakse poolvormid käsilõõtsaga läbi ning asetatakse ülemine poolvorm alumisele. Ülemisele poolvormile paigutatakse valukauss. Püstkanali ja tõusupea avad kaetakse katusepleki tükkidega. Kast kärni valmistamiseks on näidatud joonisel 95, *f*.

VORMIMINE ÜKSTEISE PEALE ASETATAVATE VORMKASTIDEGA (POSTVORMIMINE)

Postvormimiseks nimetatakse mitme valuvormi valmistamise protsessi koos nende järgneva asetamisega üksteise peale. Postvormide kasutamine võimaldab kokku hoida vormimisjaoskonna pinda ja kiirendada vormide täisvalamiseprotsessi. Postvorme kasutatakse väga väikeste ning madalate valandite saamiseks (kolvirõngad, õhukesed kaaned jne.). Need valandid vormitakse vormkastides, mille sisemõõted ei ületa 450×300×(120—150) mm. Vormitakse töölaudadel. Vormisegu puistatakse väikestesse töölaua kõrgusel asuvatesse salvedesse. Salve kohale või töölaua kõrvale paigutatakse TKO poolt kontrollitud valmiskärnid. Postvormidele on iseloomulik see, et 6—12 ja rohkemal täpselt üksteisele asetatud vormkastil kasutatakse ära mõlemad pooled (välja arvatud kõige alumine ja kõige ülemine vormkast), mis kiirendab ja kergendab vormide valmistamist. Mitmekorruselise postvormi täisvalamine toimub läbi ühe ühise püstkanali, tänu millele väheneb metalli kulu valukanalitele. Postvormide puuduseks on, et metalli rõhk posti alumistes vormides on kõrgem kui ülemistes, mistõttu võib saada väljapaisunud valandeid.

Pind postvormide all peab olema trambitud ja tasandatud ning selles peavad olema siluri otsaga lõigatud horisontaalsed kanalid gaaside ärajuhtimiseks. Postvormimisel suureneb pinna kasutustegur mitu korda.

Postvormimine võib toimuda vormimismasinatel või käsitsi.

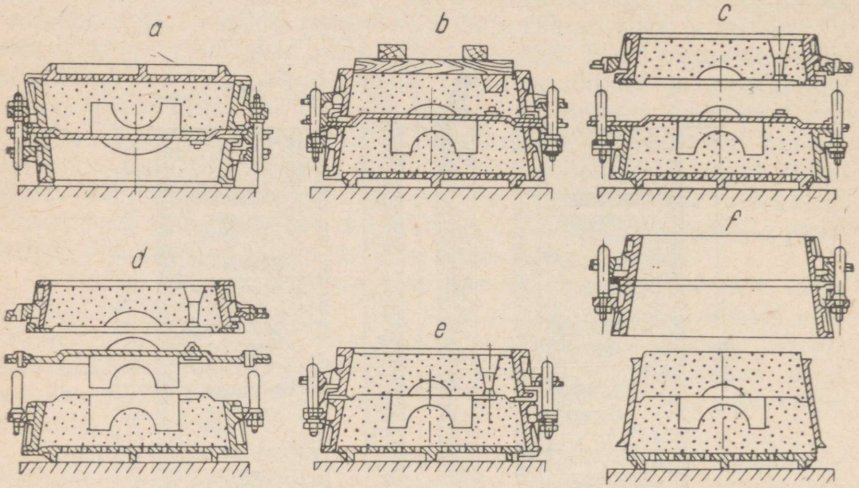


Joon. 96. Postvormimine.

Astmelise samba moodustamisel paigutatakse kahest poolvormist koosnevad eraldi valmistatud vormid üksteisele teatud nihkega nii, et iga ülemine vorm on alumise suhtes valukausi laiuse võrra nihutatud. Sel juhul valatakse vormid eraldi, kusjuures metalli poolt vormi põhja läbisurumise vältimiseks tuleb valamist alustada alumisest vormist. Postvorme kasutatakse väikeste ja keskmiste valandite valmistamisel.

Suure hulga selliste vormide ülestikku asetamisel kasutatakse erilisi tugilatte.

Äratõstetava vormkastiga vormimiseks nimetatakse mitme vormi valmistamist ühe vormkasti abil, mida pärast esimese vormi valmistegemist kasutatakse teiste valmistamiseks.



Joon. 97. Vormimine äratõstetava vormkasti abil.

Äratõstetavate vormkastide kasutamisel koosneb vormimisprotsess järgmistest põhilistest operatsioonidest. Masina lauale (joon. 97, *a*) asetatakse kummuli pööratud ülemine vormkast ning sellele kahepoolne mudeliplaat. Seejärel asetatakse mudeliplaadile alumine vormkast ja täidetakse see raputusmehhanismi abil vormiseguga. Pärast seda asetatakse vormkastile alusplaat (mudelilaud), pööratakse 180°, täidetakse vormiseguga ülemine vormkast ja tihendatakse järelpressimisplaadi abil, mille külge on kinnitatud valukausi mudel (joon. 97, *b*). Edasi lõigatakse koonilise toru abil sisse püstkanal ja tõstetakse ülemine poolvorm maha (joon. 97, *c*), eemaldatakse mudeliplaat (joon. 97, *d*), asetatakse kohale kärnid (kui tarvis), pannakse vorm kokku (joon. 97, *e*) ning võetakse ülemine ja alumine vormkast vormilt maha (joon. 97, *f*). Vorm viiakse aluslaual valamiskohale, kus temale enne valamist asetatakse plekk-kest ning raskuseks peale plaat, milles on ava valukanali jaoks.

Äratõstetava vormkasti abil vormimist kasutatakse masinaehituses laialdaselt väikese valu masstootmisel. See meetod kergendab valandite väljalöömist ning annab kokkuhoidu, kuna alaneb vormkastide maksumus. Kuid seejuures suureneb mõnevõrra vormisegu kulu. Masstootmisel toimub äratõstetava vormkastiga vormimine kahepoolsete mudeliplaatide abil tavaliselt ühel vor-

mimismasinal. See nõuab vormijalt tunduvat füüsilise jõu kulu. Seepärast minnakse käesoleval ajal üle alumiste ja ülemiste vormipoolte eraldi vormimisele kahel eraldi masinal ühepoolsete mudeliplaatidega. Seejuures paneb vormid kokku ja võtab vormkastid maha kolmas vormija, mis kergendab tunduvalt vormijate tööd.

Suuresti mõjutab tööviljakust vormkasti seinte kalle vertikaalsuuna suhtes. Ühtedes tehastes on see 5°, teistes 3°. Vormijate töö vaatlused näitasid, et 5°-se seinkalde juures tulevad vormkastid ära ilma eelneva koputamiseta ja tööviljakus tõuseb. Samal ajal on koputamine väiksema kalde juures (3°) möödapääsematuks operatsiooniks. Ühesuguse gabariidiga, kuid väiksema kaaluga vormkastidega töötamisel tööviljakus tõuseb.

VORMIMINE ŠABLOONI ABIL

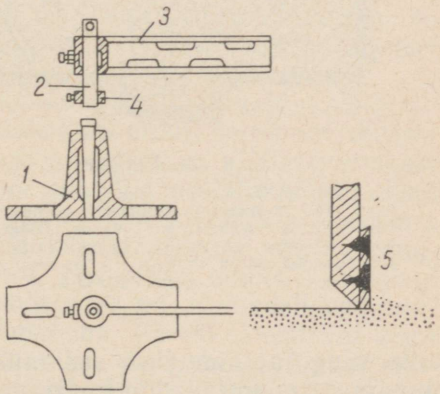
Šablooni abil vormimist kasutatakse laialdaselt laevaehituses peamiselt suurte detailide, nagu laevakruvide, silindrite, koppade jne. vormimisel.

Selle vormimismeetodi juures ei ole mudel üldse vajalik, šabloonide valmistamine aga on väga odav. Järelikult annab šablooni abil vormimine märgatavat kokkuhoidu. Teisest küljest nõuab šabloonvormimine kõrge kvalifikatsiooniga vormijat ja suuremat ajakulu kui mudeli järgi vormimine. Seepärast on šabloonvormimise operatsioonide maksumus kõrgem. Šabloonvormimine on majanduslikult kasulik individuaaltootmises, kui tuleb valmistada üks-kaks valandit. Suurseeria-, eriti aga masstootmises, on märksa kasulikum mudelvormimine, mistõttu šabloonvormimist siin tavaliselt ei kasutata.

Šabloonvormimisel kujundatakse vormi pinnad liigse vormisegu mahakaapimise teel, kasutades selleks vastava kujuga laudu, mida nimetatakse šabloonideks.

Kõige enam kasutatakse vertikaaltelje ümber pöörlevaid, harvemini horisontaaltelje ümber pöörlevaid šabloone. Tõmmatavaid šabloone kasutatakse suhteliselt väga harva.

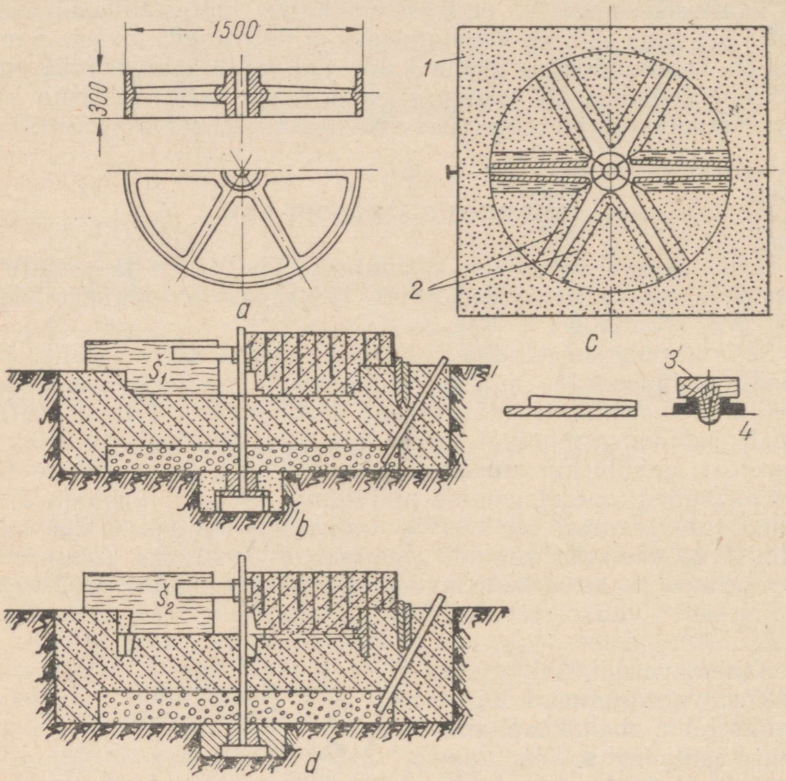
Pöörleva šablooniga vormimiseks kasutatav seade (joon. 98) koosneb tugilaagrist *1*, milles on pesa šab-



Joon. 98. Šabloonvormimisel kasutatavad abinõud.

looni pöörlemistelje *2* jaoks; šabloon on kinnitatud ristlatile *3*, mille asendikõrgus fikseeritakse tugirõngaga *4*. Šabloon-laud on valmistatud puidust või metallist ja varustatud tööservaga *5*.*

Vaatleme näitena kodaratega rihmaratta (läbimõõt 1500 mm) vormimist šablooni abil (joon. 99). Laager koos sellesse toetuva teljega asetatakse põrandas olevale betoontallale. Valmistatakse



Joon. 99. Rihmaratta vormimine šablooni abil:

a — valand; *b* — vormi alumise osa ristlõige (põrandas) pärast ülemise vormkasti pesa ja kodarate sümmeetriapinna (eralduspinna) vormimist; *c* — ülemise vormkasti ja eralduspinna vaade kodarate vormimisel juhtraami abil; *d* — vormi alumise osa ristlõige pärast ratta välispinna vormimist — vasakul, ning kokkupandud vormi ristlõige — paremal (L. I. Fantalovi järgi); *1* — vormkast; *2* — joonte jäljendid; *3* — kamm; *4* — juhtraam.

kõva säng ja täidetakse see täiteseguga kuni valandi eralduspinnani (kodarate sümmeetria-tasapinnani). Teljele asetatakse tugirõngas ja ristlatt ning kinnitatakse viimasele šabloon rihma-

* Л. И. Фанталов. Технология литейного производства, Машгиз, I kd., lk. 148—150.

ratta pöia ülemise sisepinna ja vormi eralduspinna kujundamiseks. Lõiganud välja vormi pinna ning kõrvaldanud liigse segu, võetakse šabloon uuesti maha.

Ringjoon pinnases jaotatakse vastavalt kodarate arvule osadeks ning tõmmatakse märknõelaga kodarate telgi tähistavad vaod. Täpselt igale vaole asetatakse raam *4* ja tõmmatakse selle külgede järgi paralleeljooned. Teljele asetatakse rummu mudel, paigutatakse kohale püstkanal ja tõusupea. Seejärel asetatakse kohale ja täidetakse ülemine vormkast. Pärast seda võetakse vormkast maha ja pööratakse eralduspinnaga üles.

Ülemisele vormipoolele jäänud joonte jäljendite järgi asetatakse kohale juhtraam ja lõigatakse spetsiaalse kaabitsaga välja kõigi kuue kodara kontuurid.

Samal ajal kui viimistletakse ülemist poolvormi, asetab teine vormija alumisele vormipoolele uue šablooni ja, kaapides maha liigse segu, kujundab sellega rihmaratta alumise ja välispinna.

Alumises vormipooles toimub kodarate kujundamine juhtraamide abil samuti kui ülemiseski.

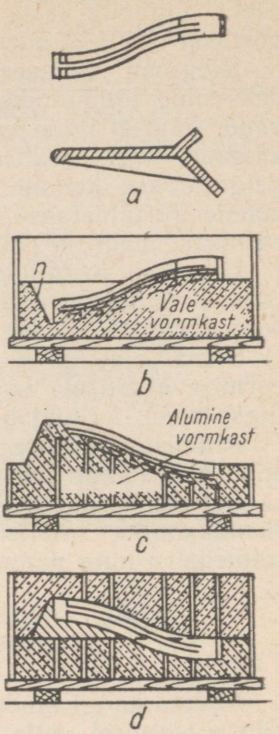
Lõpuks torgatakse alumisse ja ülemisse poolvormi ventilatsioonikanalid, viimistletakse poolvormid, paigutatakse kohale tsentrikärn ning pannakse vorm kokku.

VORMIMINE «VALE» VORMKASTI ABIL

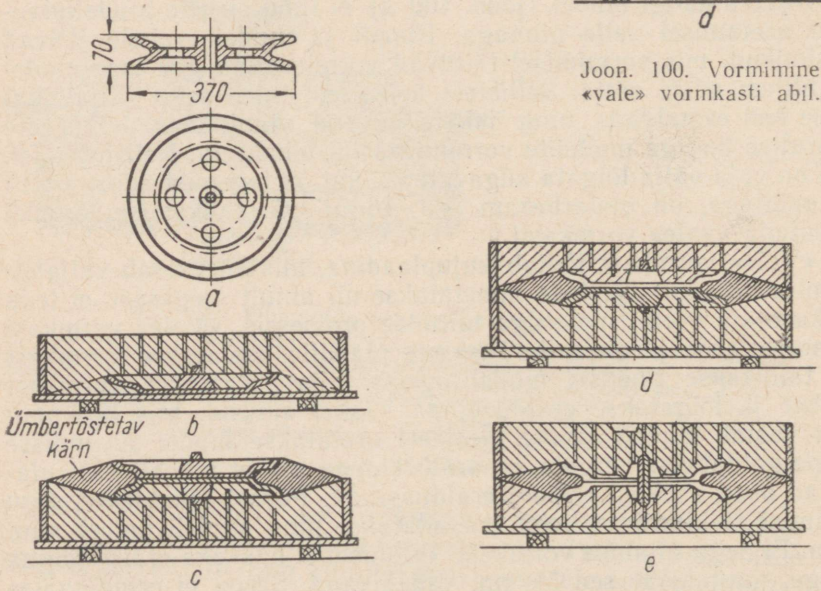
Kõvera kangi mudel (joon. 100, *a*) ei liibu sirgele mudeliplaadile asetamisel selle pinnaga. Plaadi ja mudeli vahele jäävad tühimikud, mis vormimisel täituvad vormiseguga ega lase mudelit hiljem välja võtta. Sellistest kohtadest tuleb segu väljalõikamise teel eemaldada ning tekkiv süvend viimistleda. Õhukeste keerulise kujuga mudelite vormimisel nii tehaksegi. Neil juhtudel, kui on vaja välja lõigata sügavalt või kui on tegemist suure partii valanditega, on otstarbekam iga vormi väljalõikamise asemel kasutada «vale» vormkasti.

«Vale» vormkast töötab kujuplaadina, mis kõrvaldab väljalõikamise vajaduse, ja teda nimetatakse nii ainult seepärast, et teda ei kasutata vormi metalliga täitmise protsessis. «Vale» vormkast valmistatakse järgmiselt. Tasasele plaadile asetatakse vormkast ja täidetakse tihedalt mudeliseguga. Siis pööratakse vormkast ümber ja lõigatakse eralduspinda käsitsi süvend, mis ligikaudselt vastab mudeli kujule. Seejärel asetatakse mudel süvendisse ja paigaldatakse kergete vasaralöökidega nii, et mudeli väljaulatuvad osad asuksid allpool eralduspinda. Pärast täiendavat segu lisamist ja kinnitampimist tasandatakse pind mudeli ümber siluriga. Et segu alumise vormkasti täitmisel ei hakkaks eralduspinna külge, riputatakse see üle nn. vaheliivaga. Seega ei erine «vale» vormkastiga vormimine mitte milleski harilikust vormimisest kahe vormkasti abil. Mudel asetatakse «vale» vormkastile, nagu kuju-

plaadile, tõstetakse peale alumine vormkast ja täidetakse (joon. 100, *b*). Seejärel pööratakse kogu vorm ümber ja võetakse «vale» vormkast ettevaatlikult alumiselt vormkastilt maha. Mudel jääb seejuures alumisse vormkasti, millel on joonisel 100, *c* näidatud kuju. Seejärel asetatakse kohale ülemine vormkast ning täidetakse seguga. Edasi võetakse vorm lahti, eemaldatakse alumisest poolest mudel ja pannakse uuesti kokku. Valmisvorm on näidatud joonisel 100, *d*. Selle vormimisviisi iseärasuseks on ruumiline eralduspind. Ühe «vale» vormkasti abil saab valmistada suure hulga vorme ja seepärast töö, mis kulub tema valmistamiseks, kaetakse täielikult töömahuka operatsiooni — väljalõikamise — ärajäämise arvel. Masinvormimisel kasutatakse ruumilise eralduspinnaga detailide vormimiseks profiilpinnaga mudeliplaate.



Joon. 100. Vormimine «vale» vormkasti abil.



Joon. 101. Plokiratta vormimine ümbertõstetava kärni abil.

VORMIMINE ÜMBERTÕSTETAVA KÄRNI ABIL

Seda vormimisviisi kasutatakse individuaal- ja väikeseeriatootmises, kui kärnkastide ja kärnide valmistamine muutub ebaökonoomseks. Joonisel 101 on näidatud plokiratta vormimine lahtikäiva mudeli järgi kahes vormkastis ümbertõstetava kärni abil. Joonisel 101, *a* on näidatud plokiratta mudel.

Alumises vormkastis (joon. 101, *b*) vormitakse mudeli alumine pool ja lõigatakse mudel ümbertringi lahti. Moodustunud lõikepind silutakse ja puistatakse vaheliivaga üle. Pärast seda asetatakse kohale mudeli teine pool ja täidetakse plokiratta välissüvend seguga (joon. 101, *c*).

Segu pind tasandatakse ja silutakse ning puistatakse vaheliivaga üle. Saadavat vormitükki nimetatakse ümbertõstetavaks kärniks. Nüüd asetatakse peale ülemine vormkast (joon. 101, *d*), pannakse kohale püstkanal ja täidetakse vormkast seguga. Seejärel tõstetakse ülemine vormkast maha, võetakse mudeli ülemine pool välja, viimistletakse kärni üks külg, asetatakse ülemine vormkast uuesti kohale ja pööratakse mõlemaid vormkaste koos 180° (joon. 101, *e*). Edasi tõstetakse maha alumine vormkast, võetakse välja mudeli alumine pool (ümbertõstetav kärn jääb seejuures ülemisse vormipoolde), töödeldakse vormi alumine pool ja kärni teine külg, asetatakse alumine vormkast uuesti ülemisele ning pööratakse mõlemad koos ümber. Pärast seda võetakse ülemine vormkast maha, parandatakse vormi ja valmistatakse vorm ette valamiseks.

Mass- ja suurseeriatootmises kasutatakse ümbertõstetava kärni asemel tavalist kärni.

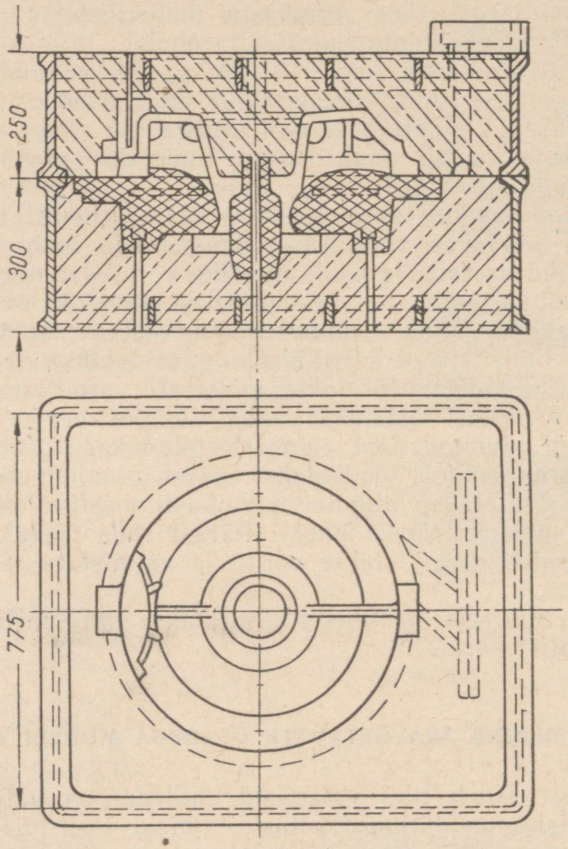
VORMIMINE ÄRAVÕETAVATE OSADEGA MUDELI ABIL

Praktikas esineb tihti valandeid, milledel on väljaulatuvaid osi, nagu paksendeid, juurdevalusid, ribisid jne., mis raskendavad mudeli vormist väljavõtmist. Vormimise lihtsustamiseks ja spetsiaalsetest väljalõikamistest ning lisa-eralduspindade kasutamisest loobumiseks tehakse sellised mudeliosad äravõetavatena. Äravõetavad osad kinnitatakse mudeli külge kahel viisil — tihvtidega (naeltega) või kalasabaliitega.

Joonisel 102 on näidatud silindrilise kaane mudel, mis vormimise kergendamiseks on valmistatud äravõetavate paksendite ja neljast tükist koosneva äravõetava siserõngaga. Äravõetavad osad on põhimudeli külge kinnitatud ajutiste tihvtidega.

Vormimiseks asetatakse mudel koos selle külge kinnitatud osadega mudeliplaadile, tõstetakse kohale alumine vormkast ja täidetakse mudelit ümbritsev ruum vormiseguga. Seejärel pööratakse alumine poolvorm ümber ja tõmmatakse paksendite äravõetavatest mudelitest lapiktangide abil tihvtid välja.

Nüüd täidetakse seguga mudeli sisemus, kusjuures enne täitmise lõpetamist võetakse välja ääriku lahtikäivat siserõngast kohalhoidvad tihvtid. Pärast seda asetatakse ülemine vormkast alumisele ja täidetakse vormi ülemine pool. Tõstes järgnevalt

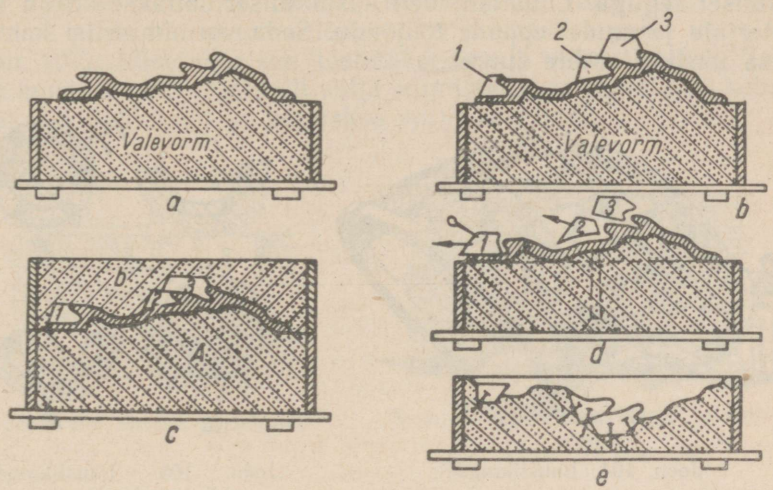


Joon. 102. Silindri kaane vormimine äravõetavate osadega mudeli abil.

ülemise vormipoole maha, tõstame koos sellega ära ka mudeli äravõetavad osad, mis lasevad end kujunenud rippuvast vormiosast välja võtta horisontaalsuunas. Mõistagi tuleb ülemine vormipool enne seda ümber pöörata. Seejärel võetakse mudel välja alumisest vormipoolest, kusjuures lahtikäivad paksendid jäävad kohale. Viimased eemaldatakse vormi alumisest osast külgsuunas. Edasi pannakse vorm kokku nagu harilikult.

Erilist huvi pakub kunstiliste valandite — mitmesuguste kujukeste, büstide, figuurgruppide jne. vormimine.

Kunstitoodete mudelid on nii keerulise kujuga, et neid ei saa vormist kätte ilma väliseid äravõetavaid abitükke (tükid *1*, *2* ja *3* joonisel 103) kasutamata.

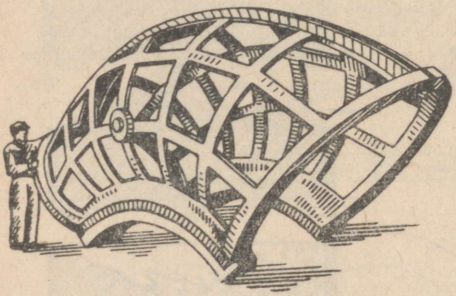


Joon. 103. Vormimine lisatükkide abil.

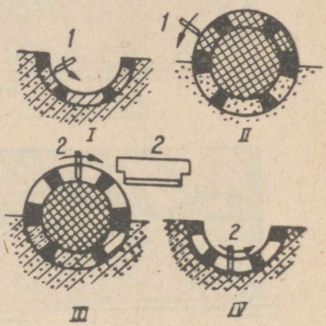
Vormimine toimub «vale» vormkasti abil. Mudel asetatakse ettevalmistatud «vale» vormkasti (joon. 103, *a*), kaetakse mudeli süvendid paberiga ning surutakse nendesse varemvalmistatud tihe savivormimass, kujundades nii juurdeasetatavad lisatükid.

Tükkide ülesandeks on koos mudeliga moodustada vajaliku kujuga «koonused», et oleks võimalik mudelit koos lisatükkidega tõsta vormkastist välja (joon. 103, *b*). Täitnud nüüd mudeli süvendid lisatükkidega *1*, *2* ja *3*, asetatakse alumine vormkast «vale» vormkastile ning täidetakse seguga (joon. 103, *c*). Edasi keeratakse «vale» vormkast koos mudeli, lisatükkide ja alumise vormkastiga ümber, tõstetakse «valekast» ära ja võetakse mudel koos lisatükkidega ettevaatlikult välja, eemaldades viimased nooltega näidatud suunades (joon. 103, *d*). Kinnitanud lisatükkidesse tihvtid kuivatatakse need ning asetatakse siis alumisse vormipoolde jäänud pesadesse (joon. 103, *e*). Lisatükid kinnitatakse tihvtide abil alumise vormipoolega, et nad vormi valamise ajal ei saaks vedelas metallis pinnale ujuda.

Eriti suuri valandeid, milledel mõõdete täpsus võib olla väiksem, vormitakse luustikmudelite abil ja kontrollristlõigete järgi. Luustikmudel, nagu ütleb tema nimetuski, on lihtsustatud mudel. Harilikult kujutab ta endast alust, millele on kindla vahemaa tagant kinnitatud vajaliku kontuuriga puitribid. Tavaliselt valmistatakse luustikmudel nii, et täielik mudel saadakse ribide vahede täitmisel seguga. Luustikmudeli kasutamisel hoitakse kokku saematerjale ja mudelseppade tööjõudu. Seda vormimisviisi kasutatakse üksikvalandite juures.



Joon. 104. Luustikmudel.

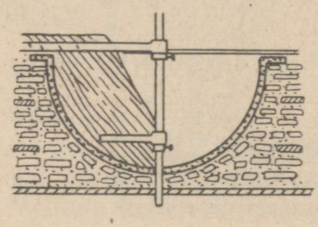


Joon. 105. Luustikmudeli abil vormimise skeem.

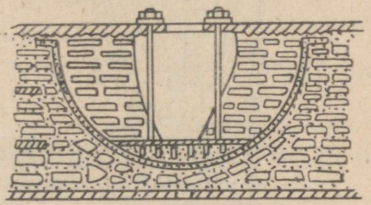
Veeturbiini spiraalkambri luustikmudel, mis on valmistatud valandi seina paksusele võrdse jämedusega prussidest, on näidatud joonisel 104. Vormimine toimub joonisel 105 toodud skeemi kohaselt. Luustikmudeli alumise poole järgi vormitakse vormi alumine osa (*I*). Mööda mudeli ribisid liigutatava šablooni *1* abil silutakse vorm valandi sisepinnas. Kärn tehakse mudeli sisepinna järgi (*II*). Ülemise vormipoole valmistamiseks täidetakse luustikmudeli ribide vahed tihedalt täiteseguga ja silutakse šablooniga *1*. Vormi ülemine osa võetakse maha ja kaabitakse šablooniga *2* segu mudeli ribide vahelt välja (*III*). Seejärel tõstetakse mudeli ülemine pool ära ning võetakse kärn mudeli alumise poole seest välja. Jällegi kaabitakse šablooniga *2* liigne segu mudeli alumise osa ribide vahelt välja (*IV*) ning eemaldatakse mudel vormi alumisest poolest. Edasi kärni ja vormi pooled kuivatatakse ning pannakse vorm kokku.

Savis vormimist kasutatakse suurte valandite korral ja see erineb tunduvalt mullas vormimisest (põrandvormimisest). Kõigepealt kaevatakse vormimiskohal põrandasse auk ja vooderdatakse see punaste tellistega, nagu on näidatud joonisel 106. Järgnevalt asetatakse vormi keskele järjekorras tugilaager (vt. joon. 98), šablooni telg ja šabloon ning lõigatakse viimase

abil maha liigne savi. Seejärel eemaldatakse šabloon (laager jääb kohale) ja kuivatatakse vorm. Pärast kuivatamist kaetakse vormi pind paberiga, millele kantakse valandi seina paksune savikiht. Liigne savi lõigatakse maha teise, kopa sisepinnale vastava šablooniga. Edasi võetakse šabloon ja telg välja ning täidetakse telje ava. Laagri võib teistkordseks vormimiseks kohale jätta. Pealekantud savikiht, mida nimetatakse «särgiks», peab olema nii tugev, et ta peaks vastu vormi ülemise osa vormimisele ja töötaks ajutise mudelina. Selleks kuivatatakse vormi teist korda. Alumise poole kuivatamise lõppemisel asetatakse peale vormkast (joon. 107), täidetakse see, tõstetakse ära ja viimistletakse. Savisärk murtakse ettevaatlikult välja, viimistletakse vigastatud kohad, tehakse valukanalid ja pannakse vorm kokku.



Joon. 106. Saviga vormimine.

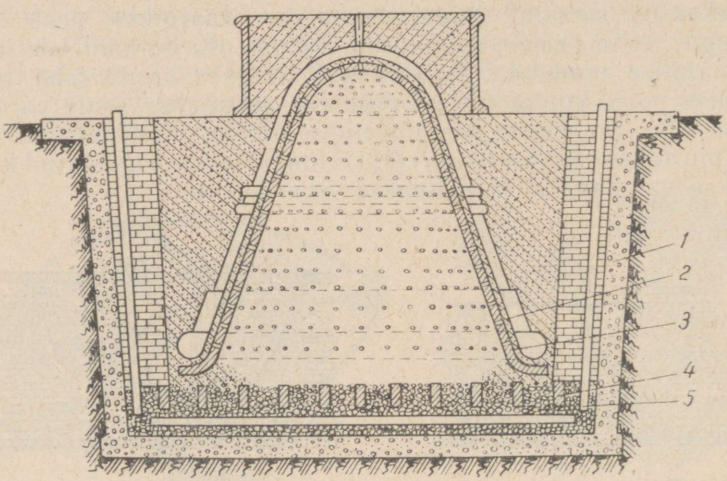


Joon. 107. Telliskividega vormimine.

Saviga vormimine on väga töömahukas ning nõuab kõrge kvalifikatsiooniga vormijaid. Kuid vaatamata selle vormimisviisi kallidusele, kasutatakse teda ikkagi veel massiivsete valandite tootmisel, kusjuures töömahukaid operatsioone püütakse kergendada ja lihtsustada. Täiuslikuma kombineeritud vormimisviisi näidiseks on räbukoppade laialt levinud valmistamine meie metallurgiatehastes.

Vormimine toimub betoonkessoonis *1* (joon. 108). Vormi täitmise ajal suurel hulgal tekkivate gaaside väljajuhtimiseks asetatakse kessooni põhja rida 75 mm läbimõõduga raudtorusid, millesse on puuritud 5 mm läbimõõduga augud. Torude alla ja nende vahele puistatakse peenestatud vagrankaräbu või koksi, et tagada gaaside ja aurude läbiminekuks küllaldast poorsust. Koksikihile asetatakse massiivne malmrest *4*, mis väldib vormi põhja sissesurumist vedela metalli poolt ning metalli tungimist liigniiskesse pinnasesse (tsehhides, kus põhjavesi võib tõusta kõrgele, eriti kevadel ja vihmasadude ajal). Seejärel müüritakse vormi nurkadesse ja seintesse gaaside ärajuhtimiseks torud *5*. Kessooni seinad vooderdatakse tellistega, et kaitsta betooni kõrge temperatuuri purustava toime eest ning viia vormisegu kulu miinimumini. Vormi põhja ümber tambitakse tihedaks rõngakujuline alus ja asetatakse sellele malmist südamik *3*. Viimasel peavad olema ventilatsioonikanalid ning pinnal näsad pealekantava keraamilise

särgi *2* toetamiseks. Särk valmistatakse 60% jahvatatud šamotist ja 40% tulekindlast savist, kuivatatakse ja kuumutatakse gaasipõletitega punase hõõgumiseni, et saada tugev pind, mis peab vastu kümneid valamisi. See võimaldab tööd tunduvalt kergendada ja ühest kessoonist saada 10—20 koppa kuus.



Joon. 108. Kopa vormimine põhjaga ülespidi:
1 — betoonkessoon; *2* — vormisegu kiht; *3* — malmist südamik; *4* — malmrest; *5* — toru gaaside ärajuhtimiseks.

Kaetud südamikule asetatakse puidust luustikmudel, mille jäik metallkarkass teeb kogu mudeli konstruktsiooni tugevaks ja väldib selle kaardumist. Kopa tugirõngad (keskkoha kõrgusel) tehakse äravõetavad. Vormi väline alumine osa vormitakse tellistest osade kaupa nii, et mudeli ja müüritise vahele jääks 25—40 mm vahe. Välisvormi osad kuivatatakse ja põletatakse. Pärast vormi väliste osade väljavõtmist võetakse välja ka luustikmudel ning kaetud südamik, mis pärast katte vigastatud kohtade parandamist asetatakse 600 mm kõrgustele tugedele ja kuivatatakse gaasipõletite abil. Vormi ülemine pool valmistatakse samuti poolalalise vormina. Valmis vorm pannakse kokku ja valatakse täis.

Selle meetodi paremuseks on võimalus kasutada vormi korduvalt, kümnete valandite saamiseks. Pärast igakordset valamist võetakse vorm lahti, tõstetakse kopa valand välja ning remonditakse vorm. Sellise remondi ajal täidetakse ja kuivatatakse vigastatud kohad ning pannakse vorm kokku uueks valamiseks. Igaks uueks valamiseks tuleb ainult südamik uuesti katta saviga, sest savikiht jääb valandi kahanemisel harva vigastamata.

Kaasaegsed masinaehitustehased on kõrgesti mehhaniseeritud ja tunduval määral automatiseeritud ettevõtted.

On loomulik, et mehhaniseerimine ja automatiseerimine leidsid laialdast rakendamist ka valutsehhides, sealhulgas ka vormimisjaoskondades. Mehhaniseeritud vormimisjaoskondades ulatub masinvormimise osa käesoleval ajal 60%-ni. Masinvormimine lubab järsult tõsta tööviljakust, kokku hoida valutsehhide tootmispinda ja märgatavalt tõsta töökultuuri.

Masinvormimist kasutatakse peamiselt valandite suurseeriatootmises. Vormide valmistamise tehnoloogia vajaliku lihtsustamise ja mudeli-vormkasti (rakiste) õige valiku korral õigustab masinvormimine ennast täielikult ka väikeseeria- ja individuaaltootmises.

VORMIMISMASINAD JA NENDE KLASSIFIKATSIOON

Vormimismasinateks nimetatakse selliseid masinaid, mis vastavate mehhanismide abil täidavad vormisegu tihendamise ja mudeli vormist eemaldamise operatsioone.

Mehaaniliste vormimismasinate hulka kuuluvad ka seguheitjad, kuigi nendega vormimisel toimub mudeli eemaldamine käsitsi.

Tabelis 22 on toodud vormimismasinate klassifikatsioon vormi tihendamise, masina käitamise ja mudeli vormist väljavõtmise viisi järgi.

Tabel 22

Vormimismasinate klassifikatsioon

Vormi tihendamise viisi järgi	Masina käitamise viisi järgi	Mudelite vormist väljavõtmise viisi järgi
Pressmasinad	Käsiajamiga Pneumaatilised	Tihvttõstjaga Käsitsi
Raputusmasinad	Käsiajamiga Pneumaatilised	Käsitsi Tihvttõstjaga Raamtõstjaga Pöördlauaga Ülekantava lauaga
Raputus-pressmasinad	Pneumaatilised	Käsitsi Tihvttõstjaga Väljatõmmatava plaadiga Pöörlauaga
Käsimasinad	Käsiajamiga	Tihvttõstjaga Väljatõmmatava plaadiga
Seguheitjad	Mehaanilise ajamiga	Pöördlauaga

1954. a. avaldati ГОСТ 7020, mis kehtib kuni 10 t kandejõuga pneumaatiliste ja raputavate üldotstarbeliste vormimismasinate kohta. Selle ГОСТ-i kohaselt valmistatakse järgmist tüüpi vormimismasinaid: *1* — ülekantava lauaga ja vastuvõtu-väljatõmbemehhanismiga; *2* — tihvttõstjaga; *3* — järelpressimisega ja pöördlauaga; *4* — järelpressimisega ja väljatõmberaamiga; *5* — järelpressimisega ja tihvttõstjaga masinad.

Prof. P. N. Aksjonovi [1] ettepanekul liigitatakse vormimismasinaid vormisegu tihendamise viisi, tootlikkuse, universaalsuse, valandite kvaliteedi ja automatiseerimiseks kasutatavuse järgi.

Tihendamisviisi järgi eristatakse pressivaid ja raputavaid vormimismasinaid, seguheitjaid, kärnimasinaid ja koorikvormide valmistamise masinaid. Suurima tootlikkuse annab töötamine pressmasinatel ja koorikvormide tihendamise masinatel. Universaalsed on peaaegu kõik masinad, välja arvatud vahest pressmasinad, mis teenindavad ainult võrdlemisi madalaid vormkaste. Valandite kõige kõrgema kvaliteedi tagavad koorikvormide tihendamise masinad.

Masinate kõlblikkuse vormimisprotsessi automatiseerimiseks määrab nende tootlikkus, mis sõltub vormimisprotsessi ja selle üksikelementide kestusest.

Käesoleval ajal kasutatava ja tehase «Krasnaja Presnja» ning ЦКБ НИИЛИТМАШ-i poolt vastuvõetud süsteemi kohaselt tähistatakse valumasinate margid kolme numbriga. Esimene number tähistab masina gruppi. Kõik vormimis- ja kärnimasinad kuuluvad teise gruppi ja nende margi esimene number on 2. Teine number määrab masina tüübi antud grupis.

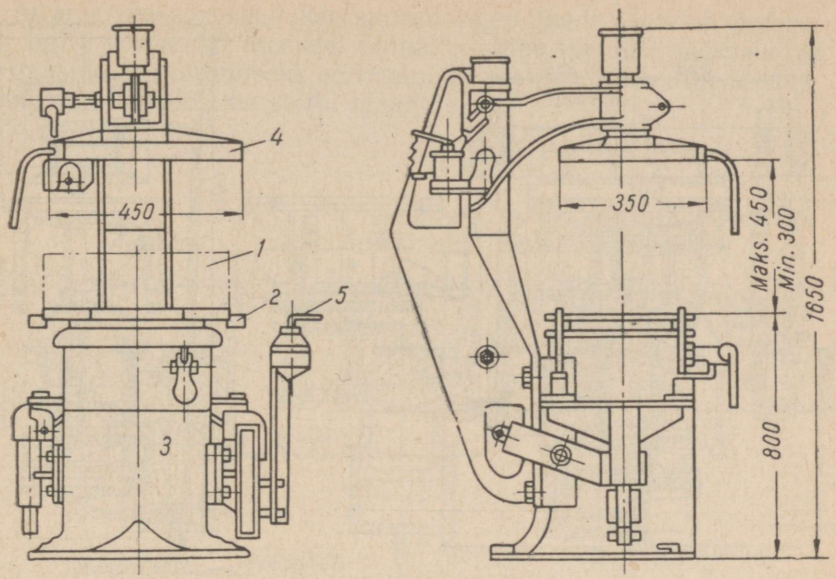
Vormimis- ja kärnimasinaid on 9 tüüpi: 1) käsi-vormimismasinad, sealhulgas käsitsi täitmise ja pöördlauaga, käsitsi täitmise ja tihvttõstjaga ning käsitsi täitmise ja tõmbemehhanismiga masinad. Seda tüüpi masinaid nende väikese tootlikkuse tõttu enam ei toodeta; 2) pressmasinad; 3) pneumaatilised pöördlauaga raputusmasinad; 4) pneumaatilised tihvttõstjaga või tõmberaamiga raputusmasinad; 5) pneumaatilised pöördplaadiga ja järelpressimisega raputusmasinad alumiste vormkastide jaoks; 6) samad ülemiste vormkastide jaoks; 7) samad äratõstetava vormkastiga vormimiseks; 8) raputus-, press- ja liivapuhumis-kärnimasinad; 9) seguheitjad.

Kolmas number tähistab antud masinatüübi variandi järjekorranumbrit ning masina tingmõõtu või suurust (mitte alati).

Vormimis- ja kärnimasinate konstruktsioone kirjeldab kursus «Valutsehhide sisseseade». Käesolevas kursuses vaadeldakse vormimismasinaid peamiselt kui valutootmise tehnoloogilisi vahendeid ja kirjeldatakse nende töötamist ainult lühidalt.

Tehase «Krasnaja Presnja» *vormimismasin 222* (joon. 109) on tüüpiline ülaltpressimisega masin. Sellel saab valmistada vorme,

[1] «Литейное производство», 1952, nr. 11, lk. 15.



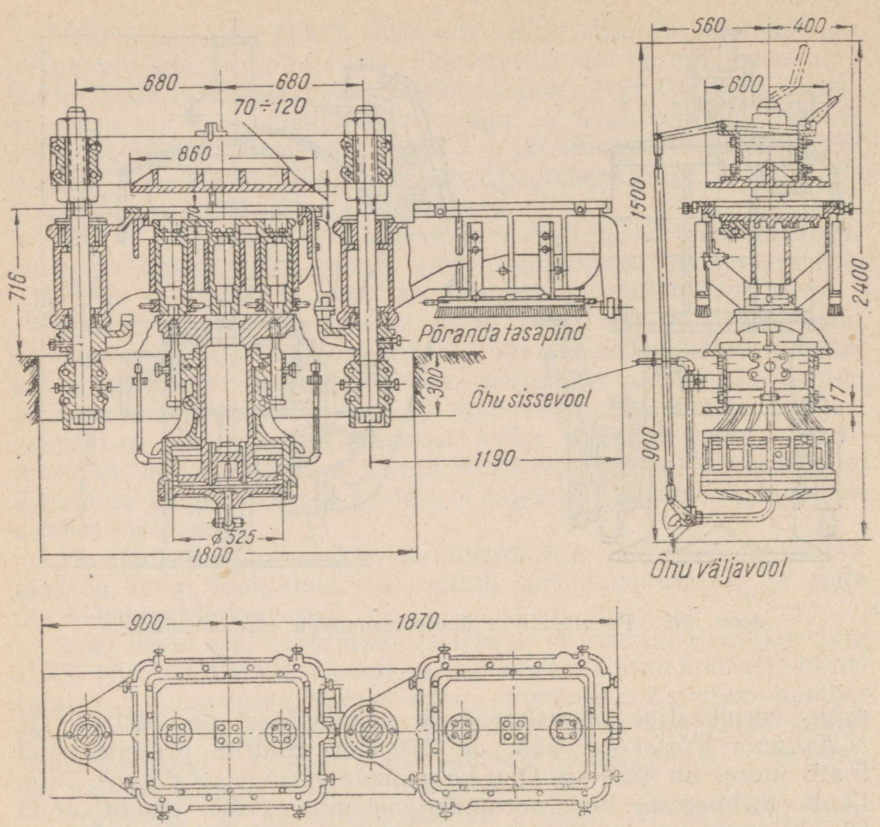
Joon. 109. Pneumaatiline ülaltpressimisega vormimismasin.

mille vormkastide maksimaalsed välismõõted on 500×400× ×200 mm. Presskolvi käik on 170 mm. Suurim pressimisjõud 5 atü juures on 6250 kg. Õhu kulu ühele vormile on 0,3 m³. Täielikult mehhaniseeritud vormimisjaoskonnas võib masin anda 60—70 vormi tunnis. Masina gabariidid on 1200×1100×1650 mm.

Vormkast *1* asetatakse lauale *2*. Lauda tõstev press-silinder asub masina keres *3*. Pärast vormi täitmist seguga kuni täiteraami ülemise servani pööratakse ülemine tugiplaat *4* traaversi abil tööasendisse. Siis avatakse sisselaskekraan *5* ning lastakse suruõhk presskolvi alla. Suruõhk tõstab laua koos vormkastiga üles ja surub vastu ülemist tugiplaati. Pärast suruõhu silindrist väljalaskmist langeb laud alla. Tihvtidele toetuv vormkast «tõstetakse» seejuures koos lauaga alla laskuva mudeliplaadi pealt ära. Seega võetakse mudel välja mehaaniliselt. Valmis poolvorm võetakse maha ja asetatakse lauale tühi vormkast.

Tehase «Krasnaja Presnja» *pneumaatilistel altpressimisega kaksikmasinatel ПФ3* (joon. 110), mida kasutatakse suurseeriatootmises, vormitakse madalaid lamedaid valandeid. Sellel masinal saab vormida kastidesse, mille mõõted on 720×540× ×(70÷120) mm.

Masina ПФ3 töötamise skeem nelja tööasendi kohta on toodud joonisel 111: *a* — masina mudelilaud *1* asub vormkasti

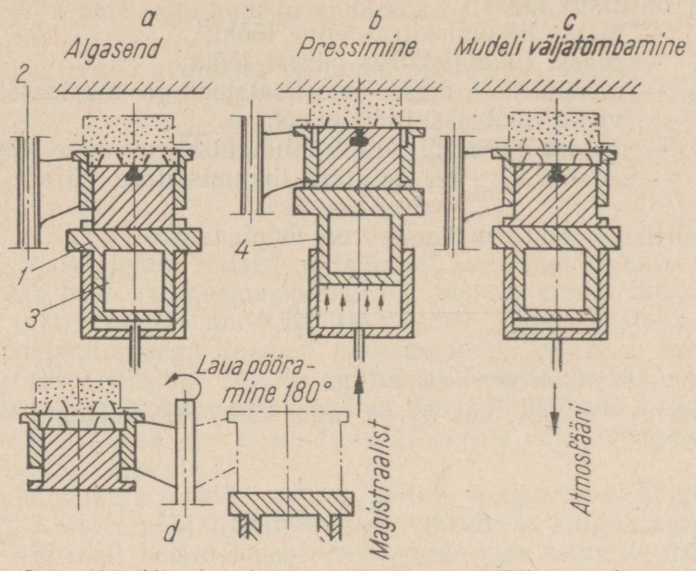


Joon. 110. Pneumaatiline altpressimisega vormimismasin.

all, mis on paigutatud ümber vertikaaltelje *2* pööratavale raamile. Suruõhk lastakse magistraalist silindrisse *3*; *b* — kolb *4* tõstab mudelilaua koos mudeliplaadi ja seguga ületäidetud vormkastiga üles ning surub vormkasti vastu liikumatut ülemist traaversit. Segu surutakse kokku altpoolt. Õhu juurdevool katkestatakse ja silindris olev õhk lastakse välja. Kolb koos laua ja mudeliplaadiga laskub asendisse *c*, vormkast jääb aga pööratavale raamile. Mudelid tõmmatakse seega välja allapoole. Järgnevalt pööratakse raam koos vormkastiga traaversi alt ära (asend *d*) ja võetakse vorm sellelt maha. Traaversi alla läheb teisele pöördlauale kinnitatud ning seguga täidetud vormkast ja see vormitakse nagu esimenegi.

Segu ja vormkastide mehhaniseeritud etteandmisel valmistab masin 100—120 poolvormi ehk 50—60 vormi tunnis. Õhu kulu ühe vormi kohta on 0,15 m³. Masinal on kaks vibraatorit, kolvi läbimõõduga 50 mm, mis töötavad suruõhul ning tagavad segu parema tihendamise, eriti ülemistes kihtides.

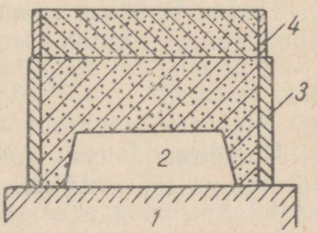
Altpressimisega saadakse suurim segu tihedus mudeli ümbruses, mitte vormkasti ülemisel pinnal. Selline tiheduse jagunemine on gaaside ärajuhtimiseks soodsam, kuid ei ole teiste tihendamisviisidega võrreldes kaugeltki ideaalne.



Joon. 111. Altpressimisega vormimismasina töötamise skeem:
1 — masinalaud; *2* — vormi pöördetelg; *3* — suruõhusilinder; *4* — kolb.

Segu tihendamine raputavate vormimismasinatega toimub kas käsitsi või pneumaatiliselt.

Raputamine toimub laua *1* abil (joon. 112), millele on asetatud mudel *2*, vormkast *3* ja täiteraam *4*. Vormkast ja raam täidetakse seguga kuni raami ülemise ääreni. Tõstemehhanismi silindrisse juhitav suruõhk tõstab laua koos mudeli, seguga täidetud vormkasti ja raamiga teatud kõrgusele. Seĺ hetkel lastakse õhk silindrist välja ning laud koos vormkastiga langeb raskusjõu toimel tagasi vastu masina liikumatut keret. Järsu pidurdamise tagajärjel tekkivate inertsjõudude mõjul surub iga segukiht enda all olevat ning teatud arvu löökide järel omandab segu vormkastis vajaliku tiheduse, s. o. löögienergia läheb vahetult tihendamistööks.



Joon. 112. Vormimine raputusmasina laual:
1 — laud; *2* — mudel; *3* — vormkast; *4* — täiteraam.

Dünaamika seaduste põhjal võib löögienergia üldkujul avaldada valemiga:

$$E = m_1 \frac{v_1^2 - c_1^2}{2} + m_2 \frac{v_2^2 - c_2^2}{2},$$

kus m_1 on liikuv mass;
v_1 — massi liikumiskiirus enne lööki;
c_1 — massi liikumiskiirus pärast lööki;
m_2 — masina kere mass, amortisatsiooniga masinates aga vastu liikuva silindri mass;
v_2 — masina kere või silindri liikumiskiirus enne lööki;
c_2 — masina kere või silindri liikumiskiirus pärast lööki.

Amortisatsioonita masinates on löögienergia

$$E = m_1 \frac{v_1^2}{2},$$

sest c_1, v_2 ja c_2 on võrdsed nulliga.

Kuna $v_1 = \sqrt{2gh_1}$, kus h_1 on laua käik ehk kukkumiskõrgus, siis

$$E = m_1 \frac{2gh_1}{2} = m_1 g h_1.$$

Segu mass $m_1 = \frac{G}{g}$, kus G on segu kaal. Siit $E = \frac{G}{g} gh = Gh$.

Reaalsetes masinates kulub osa energiat hõõrdumisele ja seepärast tegelikult:

$$E = \eta Gh,$$

kus η on kasutegur.

Teatud tiheduse saamiseks tuleb teha n lööki. Ühe vormkasti tihendamiseks kulub järelikult tööd

$$A = \eta Ghn.$$

Nimetame 1 cm² ristlõikepinnaga segusamba tihendamiseks kulutatava töö eritööks, s. o.

$$a = \frac{A}{F} \text{ kgcm/cm}^2,$$

kus F on vormkasti põhja pindala cm².

Et vormkastis oleva segu kaal võrdub kasti ruumala ja segu tiheduse korrutisega, s. o.

$$G = FH\delta_0,$$

kus H on tihendatud segu kõrgus cm,

δ_0 — 1 cm³ segu kaal grammides,

siis tehes eritöö avaldises vastavad asendused, saame

$$a = \frac{A}{F} = \eta \frac{Ghn}{F} = \eta \frac{FH\delta_0 hn}{F}$$

$$a = \eta H \delta_0 hn.$$

P. N. Aksjonovi katsed näitasid, et etteantud tiheduse saavutamiseks peab raputusmasin tegema teatud kindla arvu lööke, mille juures saabub nn. kriitiline tihedus. Sellele vastava löökide arvu ületamine segu tihedust peaaegu üldse enam ei suurenda.

Kriitiline tihedus sõltub nähtavasti seguosakeste vahelisest hõõrdumisest. Kui seguosakesed on lähenenud tiheda kokkupuutumiseni üksteisega, siis ei suuda löögienergia enam ületada nendevahelisi hõõrdejõude.

Ratsionaalne löökide arv n sõltub masinalaua käigukõrgusest h. Katsete põhjal järeldatakse, et väikese käigukõrguse (h = =7,5—12 mm) korral lõpeb tihendumine juba esimeste löökidega, s. o. kriitiline tihedus saabub ruttu ning täidis jääb kobedaks, vaatamata raputamise jätkamisele.

Kui laua käik on suur (h=50—70 mm), saabub kriitiline tihedus hiljem, sest löögijõud on suur ja segu tihendub tugevamini.

Kui h=50 mm, piisab P. N. Aksjonovi andmetel praktilisi vajadusi täiel määral rahuldava tiheduse saamiseks raputusmasina 40—45 löögist.

Raputustingimused olenevad segu niiskuse- ja savisisaldusest. Heade tulemuste saavutamiseks tuleb viimaste spetsiaalne väärtus eelnevalt kindlaks määrata.

Vaatlused näitavad, et mida kõrgem on vormkastis olev segukiht, seda halvemini ta tihendub.

Segu ülemisi kihte tuleb pärast raputamist järeltihendada.

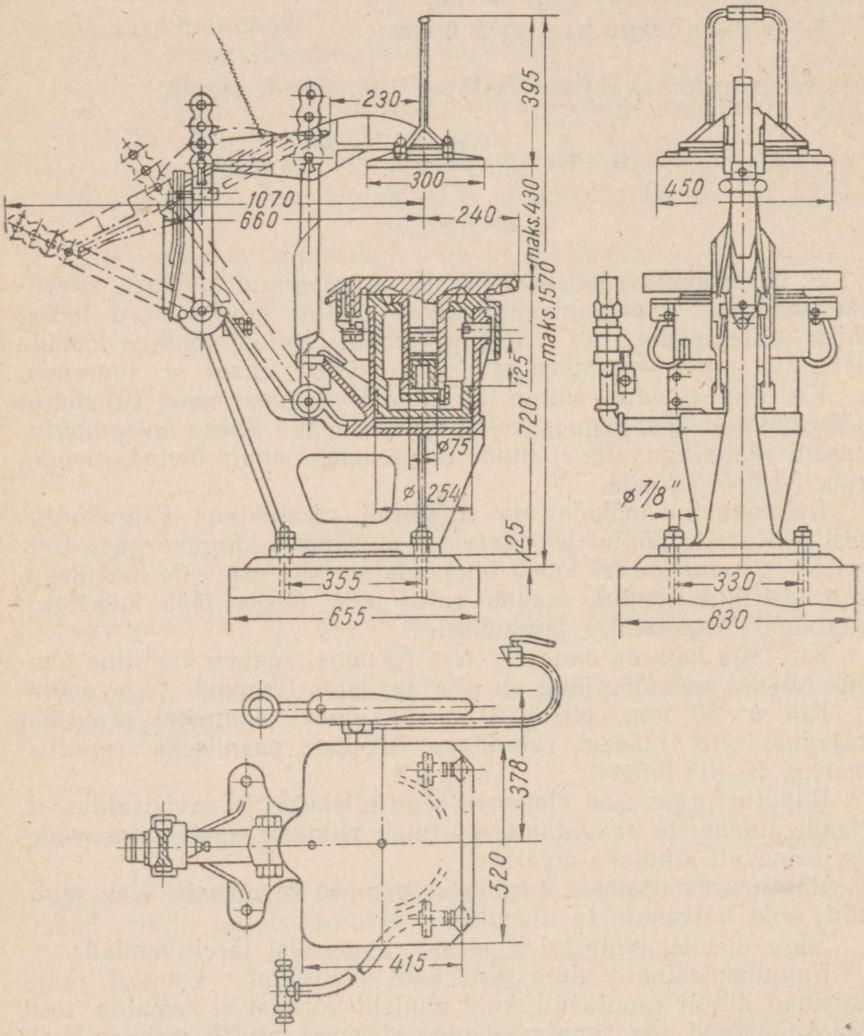
Raputusmasinaid ehitatakse kaht põhitüüpi. Esimest tüüpi masinad ainult raputavad, kuid mudelit vormist ei eemalda, teist tüüpi masinad aga raputavad ning võtavad mudeli mehaaniliselt vormist välja.

Käsitsiraputamisega masinaid kasutatakse peamiselt kärnide valmistamiseks.

Lihtsaid, ilma mudeli väljavõtmiseta masinaid nimetatakse raputiteks ehk rütleriteks. Need on väikese tootlikkusega ja piiratud levikuga.

Vormimis-raputusmasinad on NSV Liidus kõige rohkem levinud ja neid eristatakse mudeli väljavõtmise viisi järgi.

Tehas «Krasnaja Presnja» valmistab *masinaid BФ2*, mida kasutatakse väikese kõrgusega vormkastide (400×300×200 mm) vormimiseks. Masina läbilõige silindri telje kohalt on toodud joonisel 113.



Joon. 113. Raputusmasin BФ2 (lõige silindri telje kohalt).

Valmis poolvormi laualt mahavõtmiseks ja tühja vormkasti pealepanemiseks tõmmatakse traavers käsitsi kaldasendisse. Traaversi külge on poltidega kinnitatud surveplaat vormkasti ülemise osa täiendavaks tihendamiseks (joonisel ei ole näidatud).

Masinalaud on varustatud kaldribidega ja põllega, mis kaitseb silindrit segu ja tolmu eest.

Suruõhk antakse raputussilindrisse kolvi põhja alla kolvisoleva augu kaudu. Üles liikudes suleb kolb sisselaskeava ning avab väljalaskeava. Viimase kaudu pääseb õhk kolvi alt teise, suure press-silindri siseõõnsusesse ning sealt ülestõstetud masinalaua alt välja. Kolb, laud ja vormkast kukuvad alla ning laud lööb oma aluspinnaga vastu press-kolvi pealispinda. Silindri kanal asetub kohastikku sisselaskeavaga ning silindrisse juhitakse järgmise löögi tekitamiseks vajalik kogus õhku.

Raputamise lõpetamisel lastakse suruõhk press-kolvi alla ja viimane tõstab laua nii kõrgele, et traaversi külge kinnitatud surveplaat pressib vormi kinni ka ülalt.

Masinat ВФ2 saab kasutada ka äratõstetava vormkastiga ja postvormimisel. Täieliku mehhaniseerimise korral on masina tootlikkus 30—40 täisvormi tunnis. Masinalaua mõõted on 520××415 mm, vormkasti mõõted — 400×300 mm, kõrgus ülemistel vormkastidel kuni 100 mm, alumistel kuni 150 mm.

Masinalaua tõstejõud on 100 kg. Õhu kulu normaaltingimustes on 0,2 m^3 ühe vormi kohta. Masin seatakse üles betoonalusele.

Mudelid peavad laskma end vormist käsitsi kergesti välja võtta. Mehhaniseeritud väljavõtmisega raputusmasinatel on selleks eri seade. Väikeste ja keskmiste vormkastidega töötavad masinad on varustatud raputussilindri ja järelpressimise mehhanismiga. Suuri vorme tambitakse peale raputamist käsitsi, sest nende pressimise mehhanism läheks liiga suureks ja kohmakaks.

Väikesed vormkastid võetakse laualt maha käsitsi. Keskmised vormkastid tõstetakse üles suruõhu jõul või hüdrauliliselt.

Vormimismasinate valiku aluseks on mudelite ja vormide mõõted, samuti valandite kuju keerulisus.

Väikeste ja madalate valandite (kolvirõngad jms.) puhul on soovitatav kasutada vormimist äratõstetava vormkasti abil.

Madalaid alumisi ja ülemisi poolvorme mõõdetega 500×400×××200 mm vormitakse ülaltpressimisega vormimismasinal 222.

Õmblusmasinate, radiaatorite jt. detaile (vormkasti kõrgus 70—120 mm, külgmõõted kuni 720×540 mm) vormitakse altpressimisega masinal ПФ 3.[1]

Suuregabariidiliste, kuid madalate detailide vormimiseks (vormkasti mõõted 3100×710×250 mm) kasutatakse pneumaatilisi tihvttõstjaga raputusmasinaid 242.

Traktorite ja autode silindriblokkide, samuti autode tagasillakarterite vormimiseks kasutatakse pneumaatilist tihvttõstjaga raputusmasinat ВФ 7. Masinalaua mõõted on 1460×1060 mm.

---

[1] On olemas juba uus konstruktiivselt täiustatud masin ПФ-4, millel on kahe käsitsi pööratava töölaua asemel automaatselt edasi-tagasi sõitev töölaudvanker.

Masstootmises kasutatakse ülemiste vormkastide vormimiseks masinat BФ 7, mille laua mõõted on 914×813 mm.

Järelpressimisega tihvttõstjaga raputusmasinat 261 kasutatakse väikeste, kuid suhteliselt kõrgete valandite vormimiseks. Vormkasti mõõted on 500×400×200 mm. Sama suurte vormkastide jaoks laskis tehas «Krasnaja Presnja» 1950. a. välja samasuguse, tugevdatud konstruktsiooniga tihvttõstjaga masina 271.

Pneumaatilist raputusmasinat BФ 18 (vana markeering) kasutatakse alumiste vormkastide (mõõted 1200×900×400 mm), masinvormimisel paaris masinatega BФ 7 või 243.

Sügavate mudelite korral kasutatakse masinat 231 (vormkast 900×500×205 mm) ja suuremate mudelite korral masinaid 233 (vormkast 1400×1000×400 mm) ning 234 (vormkast 2000××1200×500 mm).

Uraali raskemasinaehitustehas (УЗТМ) laskis 1950. a. välja unikaalse vormimismasina — löökide amortiseerimisega raputuslaua. Masinalaua mõõted on 6500×3500 mm, raputuskõrgus 45—70 mm, löökide arv minutis 60, kasulik koormis 40 t.

Vormimismasinad õigustavad ennast kõigi töömahukate protsesside (segu vormkastidesse andmise, vormkastide masinaletõstmise, poolvormide kokkupaneku jne.) täielikul mehhaniseerimisel. Ülalloetletud tüüpmasinatel on aga olulisi puudusi. Käsimasinatel РФ (vana markeering) on ainsa operatsioonina mehhaniseeritud mudeli väljavõtmine, ülejäänud operatsioonid toimuvad aga käsitsi. Neid masinaid tehas «Krasnaja Presnja» enam ei tooda.

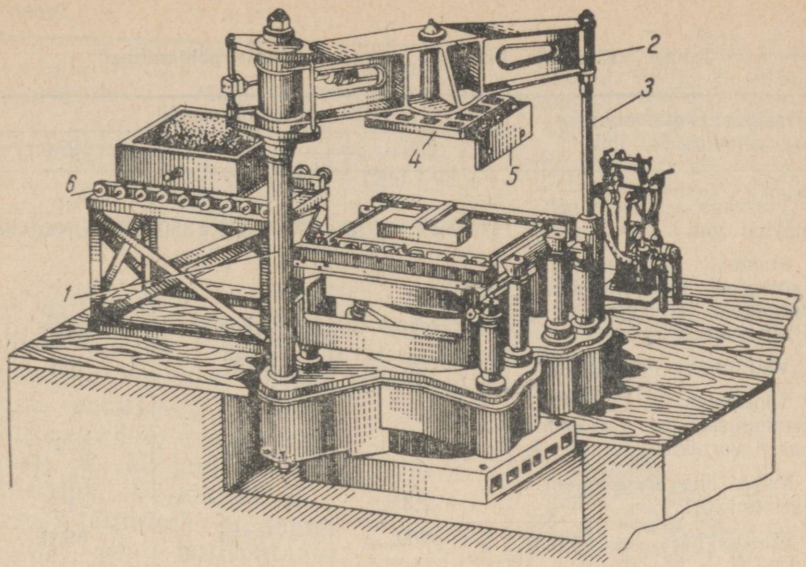
Suurem osa kaasaegseid vormimismasinaid nõuab aga töömahukate operatsioonide mehhaniseerimiseks põhjalikku täiustamist. Moderniseeritud masinate hulka kuulub «Krasnaja Presnja» uus masin 268.[1] See on pöördplaadiga ja järelpressimisega pneumaatiline raputusmasin ülemiste vormkastide vormimiseks. Masin on ette nähtud keeruliste mudelite vormimiseks tõmbeplaadi kasutamisega või lihtsate mudelite vormimiseks ilma tõmbeplaadita. Vormkastide mõõted on 1250×900×400 mm, kaal kuni 1,5 t. Uudsuseks on nende masinate juures rulltee valmisvormide eemaldamiseks, mis kergendab tööd ja suurendab vormide mahavõtmise aja lühenemise arvel tööviljakust (joon. 114).

Raputusmehhanism eelkirjeldatutest ei erine, välja arvatud üksikud detailid.

Masina keresse on valatud pesad presstraaversi *2* samba *1* ja toe *3* jaoks. Samba ülemises osas on rull-laagrid, millel pöördub traavers koos pöördplaadi *4* ja kronsteiniga *5*. Viimase ülesanne on tõugata vormkastid rullteele *6*. Traaversit pöörab horisontaalselt asetatud pneumaatiline silinder.

Masin on ette nähtud kasutamiseks suurseeriatootmises. Mudeliplaat koos sellele kinnitatud mudelitega monteeritakse kii-

[1] «Литейное производство», 1952, nr. 3, lk. 19.



Joon. 114. Vormimismasina 268 üldvaade:
1 — traaversi sammas; *2* — press-traavers; *3* — tugi; *4* — pöördplaat; *5* — kronstein vormkastide masina alt äralükkamisel; *6* — rulltee.

reks vahetamiseks raami külge, mida saab masinalaualt eemaldada mõne minutiga.[1]

Sellel masinal võib peale poolvormide valmistada kärne kastides 1250×900×400 mm. Väljatõmbe ulatus on 350 mm. Tootlikkus täieliku mehhaniseerimise korral on 30 kasti tunnis. Vaba õhu kulu ühele vormimisele on 3 m³.

«Krasnaja Presnja» poolt väljalastavate uute vormimismasinate hulka kuuluvad pneumaatiline järelpressimisega ja pööratava lauaga raputusmasin 255, järelpressimisega ja tõmberaamiga masin 267 ning järelpressimisega ja tihvttõstjaga masin 274. Kõik nad on varustatud löökide arvu lugejatega, vibraatoritega ja automaatidega raputamise väljalülitamiseks ning vormkasti kinnitusklambrite avamiseks. Need uued seadised lubavad tõsta masinate tootlikkust, kergendavad vormijate tööd ja omavad teatud eeliseid võrreldes paljude välismaiste masinatega. Nende masinate põhiandmed on toodud tabelis 23.

Tabelis 24 on toodud NSV Liidus toodetavate raputusmasinate üldine iseloomustus.

Seguheitja on vormimismasin, mis kasutab vormkasti seguga täitmiseks ja selle tihendamiseks tsentrifugaaljõudu. Seguheitja tööorganiks on kiiresti pöörlev tiivik, mis viskab segu välja suure kiirusega (joon. 115).

[1] «Литейное производство», 1955, nr. 5, lk. 27—29.

Tabel 23

Tehase «Krasnaja Presnja» raputusmasinate põhiandmed

Iseloomustava suuruse nimetus ja ühik	Masina mark		
	255	267	274
Vormkasti maksimaalmõõted mm	1000×800×350	1000×800×350	1000×800×350
Masina maksimaalne kandejõud (mudeliplaadi, vormkasti ja segu kaal) 6 atü juures, kg	900	1200	1400
Väljatõmbe ulatus, mm	325	325	325
Tootlikkus täielikult mehhaniseeritud jaoskonnas, * vormkasti tunnis ..	40	45	—
Vaba õhu kulu ühele vormimisele, m^3 . . .	2,3	1	1,2
Masina kaal, kg . . .	5000	6750	6500

* Segu andmisel masina kohale monteeritud punkrist, liigse segu koristamisel, tühjade vormkastide mehhaniseeritud etteandmisel ja valmis vormide äratransportimisel konveieri abil.

Tabel 24

Raputusmasinate iseloomustus

Grupp	Mark	Vormkastide mõõted mm			Tõstejõud kg	Väljatõmbe ulatus mm	Masina mark, millega töötab paaris
		pikkus	laius	kõrgus			
I Väikesed	222	500	400	150	200	150	—
	261	500	400	200	150	150	—
	271	500	400	200	150	150	—
II Keskmised	231	900	500	275	320	300	241, 265
	241	600	600	250	500	200	231, 253
	253	1000	660	250	350	240	266, 241
	266	800	600	250	400	250	253
III Suured	232	1000	660	450	580	450	242, 265
	233	1400	1000	400	1350	500	243
	242	1300	700	300	700	250	231, 232
	243	1400	1000	400	1500	400	233
	254	1340	810	300	500	290	265
	255	1500	850	350	900	325	—
	265	1250	700	300	600	300	232
	267	1000	800	350	1200	325	—
	268	1250	900	400	1500	350	—

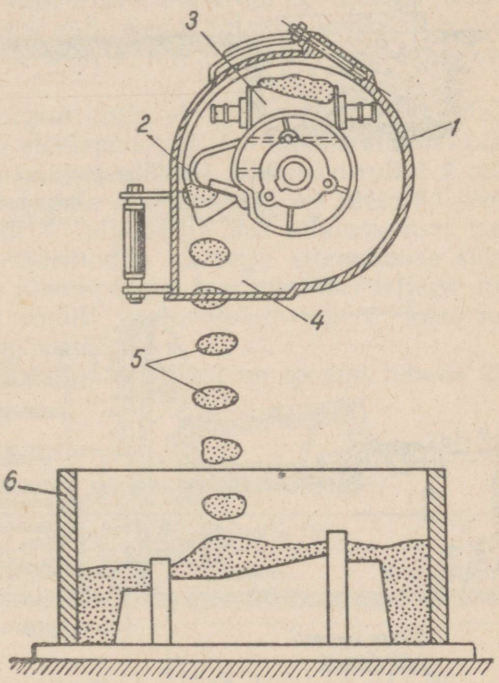
Tabel 24 (järg)

Grupp	Mark	Vormkastide mõõted mm			Tõstejõud kg	Väljatõmbeulatus mm	Masina mark, millega töötab paaris
		pikkus	laius	kõrgus			
IV Väga suured	234	2000	1200	500	2700	600	243, 244
	235	2200	1800	650	5000	700	—
	235	3500	2000	800	1000	—	—
	235	4200	2800	1100	17000	—	—
	244	1800	1000	500	2500	500	—

Seguheitja pea *1* kujutab endast kesta, milles horisontaaltelje ümber pöörleb tiivik *2*. Vormisegu antakse peasse pidevalt linttransportööriga *3*. Tiiviku laba heidab sellele sattuva segu üksikute annustena *5* suure kiirusega läbi ava *4* vormkasti *6*, kusjuures segu tihendub. Vormkasti ühtlaseks täitmiseks on seguheitja pea horisontaaltasapinnas nihutatav. Mudeli väljavõtmiseks lükatakse vormkast seguheitjast eemale.

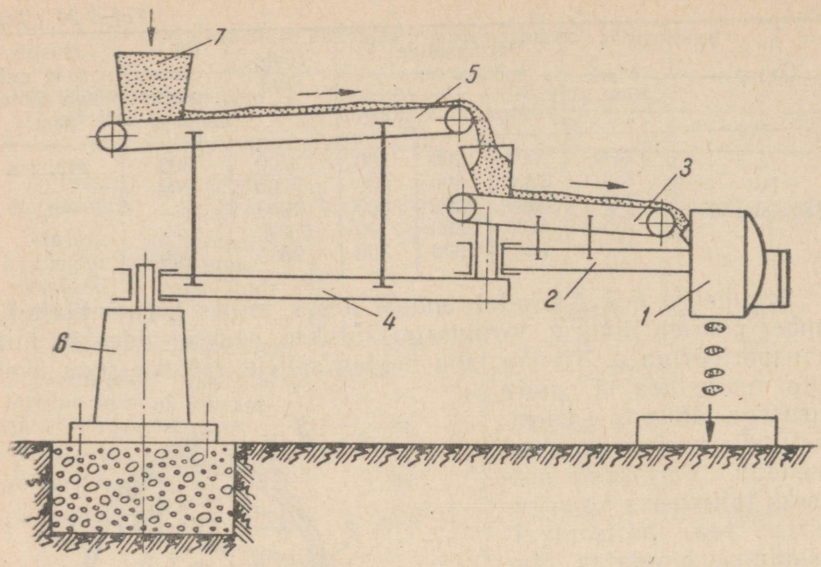
Seguheitjaid on mitut tüüpi: statsionaarsed, konsoolsed («jalgrattatüüpi») ja rööbasteel liikuvad punkriga varustatud seguheitjad.

Seguheitja mehhaniseerib ainult ühe operatsiooni — segu tihendamise vormkastis. Seguheitjaga saadava tihenduse kvaliteeti on vähe uuritud, kuid vormkasti kõrguse ulatuses võib tihedust lugeda ühtlaseks, mis on kõrgete mudelite vormimisel eeliseks. Seguheitjaid kasutatakse individuaal- ja seeriatootmisega valutehastes. Teistest vormimismasinatest on seguheitja kasulikum selle poolest, et tema abil saab vormida mistahes kujuga mudeleid.

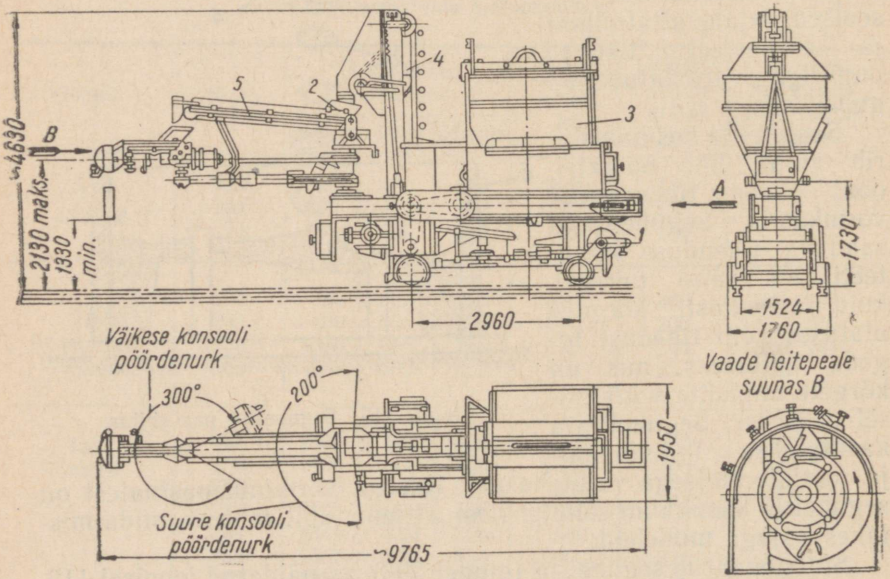


Joon. 115. Seguheitja pea ehitus.

Statsionaarne seguheitja (mudel 293) on näidatud joonisel 116. Seguheitja on monteeritud vundamendile. Alus *6* on temale monteeritud suure konsooli *4* pöördeteljeks. Suure konsooli parempoolsele otsale on omakorda kinnitatud väiksem konsool *2* ühes



Joon. 116. Statsionaarne seguheitja:
1 — pea; *2* — väike konsool; *3* — linttransportöör; *4* — suur konsool; *5* — linttransportöör; *6* — aluspukk; *7* — segupunker.



Joon. 117. Vahetatava punkriga liikuv seguheitja 295:
1 — vanker; *2* — seguheitja; *3* — vahetatav punker; *4* — elevaator; *5* — suure konsooli transportöör.

heitepeaga *1*. Suurema konsooli kanderaamile on monteeritud elektrimootoriga käitatav linttransportöör *5*. Väiksemal konsoolil asub transportöör *3* ja elektrimootor koos ülekandega. Vormisegu antakse transportöörile *5* segujaoskonna punkrist *7* dosaatoriga, millega reguleeritakse ka etteantava segu hulka. Edasi satub segu transportöörile *3* ja sealt seguheitja peasse. Heitepea *1* on varustatud käepidemetega, mille abil vormija saab teda nihutada mistahes trajektoori mööda horisontaalpinnas.

Statsionaarse seguheitja 293 kasutamisel tekib vajadus valmisvormide kõrvaletransportimiseks ja tühjade vormkastide etteandmiseks ehitada rullteed või konveierid. Selles mõttes on mugavamad liikuvad seguheitjad (joon. 117). Nende kasutamisel jäävad vormid vormimiskohale, seguheitja aga liigub piki vormimisvalamisjaoskonda ehitatud raudteed. Vankrile *1* on paigutatud seguheitja *2* ja platvorm vahetatava punkriga *3*. Punker tõstetakse platvormile sildkraana abil. Segu antakse punkrist transportööri abil elevaatorisse *4*, sealt kaldrenni kaudu suurema konsooli transportöörile *5* jne.

Konsool-seguheitja («jalgrattatüüpi») (joon. 118) on monteeritud vankrile *1*, mis liigub elektrimootori jõul mööda alumist piki vormimisjaoskonna seina asetatud rööbast. Ülemised rullid *2* toetuvad seejuures ülemisele rööpale *3*. Piki seina on asetatud segu etteandmise linttransportöör *4*. Seguheitja pea allalaskmisel laskub automaatselt transportöörilindile ka segu etteandmise sahk (joonisel ei ole näidatud). Moodustades transportööri teljega 45° nurga, suunab sahk segu lindilt vastuvõtulehtrisse *5*, kust see langeb suure konsooli transportöörile *6*.

Kirjeldatud seguheitjate karakteristikad on toodud tabelis 25.

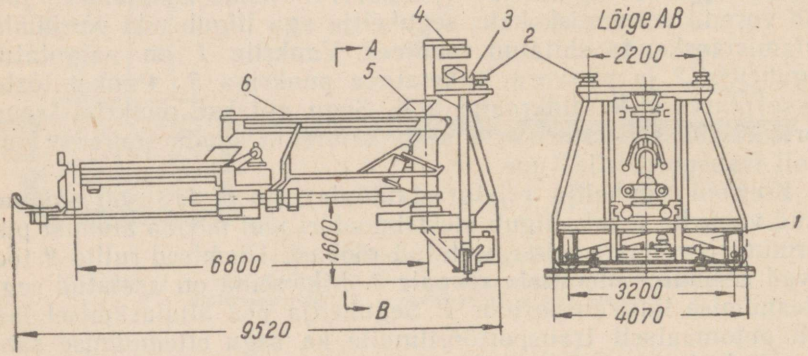
Tabel 25

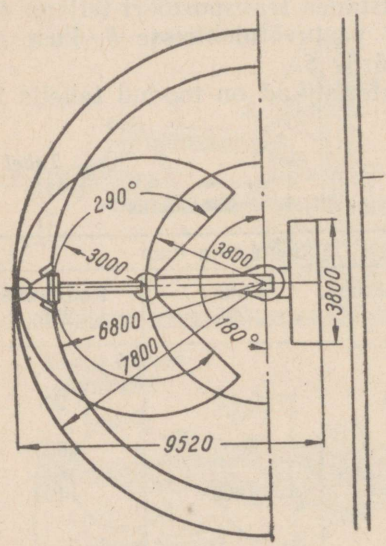
ЦКБ НИИЛИТМАШ-i seguheitjate iseloomustus

Iseloomustav suurus ja ühik	Seguheitja tüüp		
	Statsionaarne 293	Liikuv 295	Konsoolne 296
Tootlikkus tihendatud mahu järgi m^3/h	8—10	12	20
Heitepea tegevusraadius mm	3155	4000	6800
Heitepea võlli pöörlemiskiirus p/min.	1460	1460	1460
Viskeava kõrgus põrandast:			
maksimaalne mm . . .	955	2130	1865
minimaalne mm . . .	—	1330	1220
Suure konsooli pöördenurk kraadides	—	200	180
Väikese konsooli pöördenurk kraadides	—	300	280

Tabel 25 (järg)

Iseloomustav suurus ja ühik	Seguheitja tüüp		
	Statsionaarne 293	Liikuv 295	Konsoolne 296
Elektrienergia kulu 1 m³ tihendatava segu kohta kWh	1,2	2,4	1,5
Vahetatava punkri maht m³	—	4,5	—
Seguheitja kaal kg . .	1500	9400	9000



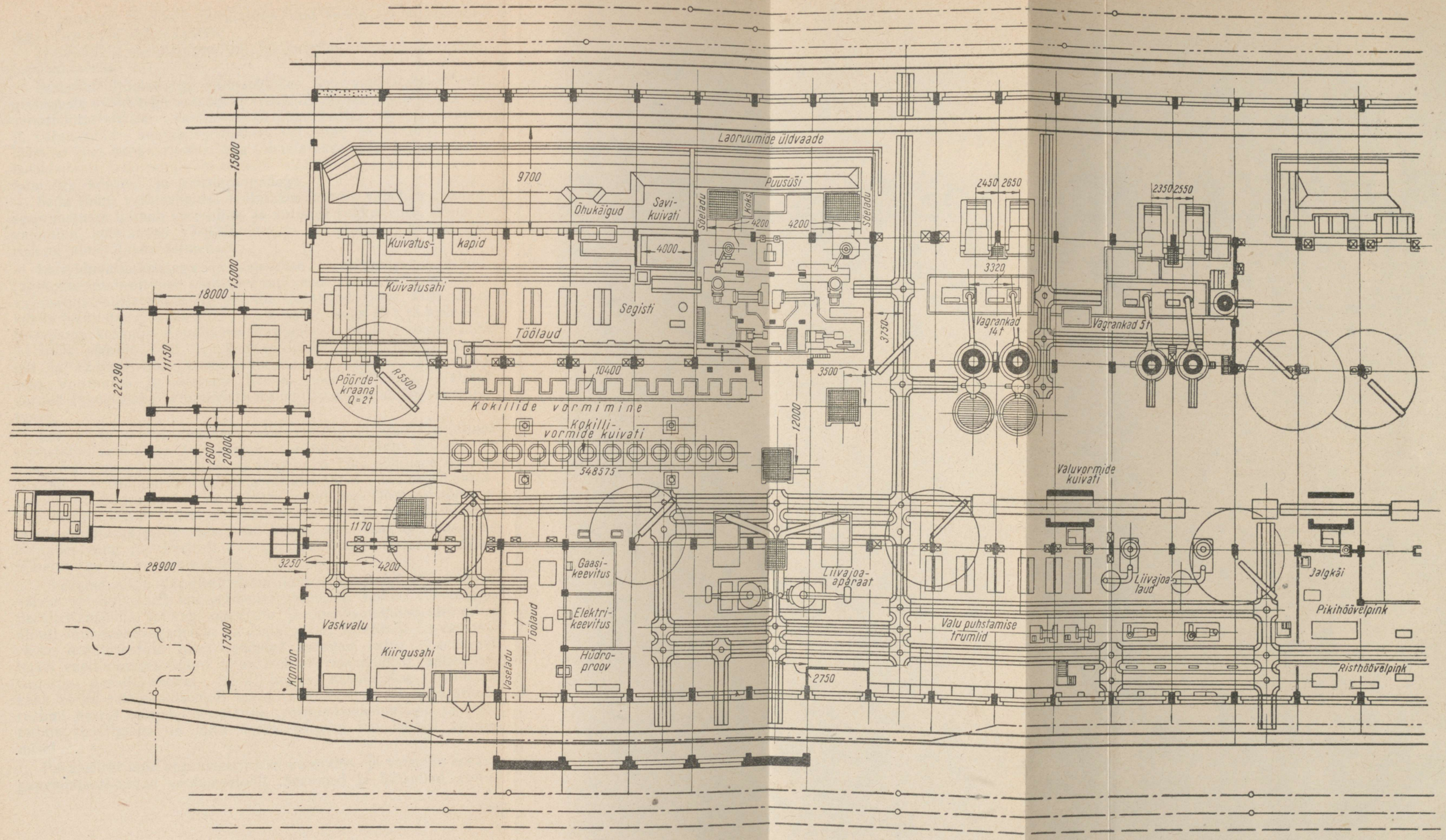


Joon. 118. Liikuv konsool-seguheitja 296:

1 — vanker; *2* — ülemised tugirullid; *3* — ülemine üksikrööbas; *4* — lint-transportöör; *5* — vastuvõtulehter; *6* — suur konsool.

Veoste vooluliinide organiseerimise ja kasutatavate seadmete järgi jagatakse vormimisjaoskonnad:

1) osaliselt mehhaniseeritud ja individuaaltootmisega vormimisjaoskondadeks;



Joon. 119. Kuznetski metallurgiatehase valutsehhi suurte valandite vormimisjaoskond.

2) peaaegu täielikult mehhaniseeritud seeria- ja masstootmisega vormimisjaoskondadeks;

3) täielikult mehhaniseeritud ja automatiseeritud vormimisjaoskondadeks.

Individuaaltootmisega valutsehhides, kus valmistatakse mitmesuguste mõõdetega valandeid (remonditehaste, metallurgia- või veduriehitustehaste, raskemasinaehitustehaste, tööpingitehaste jt. valutsehhid), toimub vormimine, valamine ja vormist väljalöömine ühes kohas, raskusi aga toimetatakse edasi mitmesuguste tsehhisiseste transpordivahenditega: sildkraanaga, rullidel veeretamisega, konsool- ja pöördkraanadega.

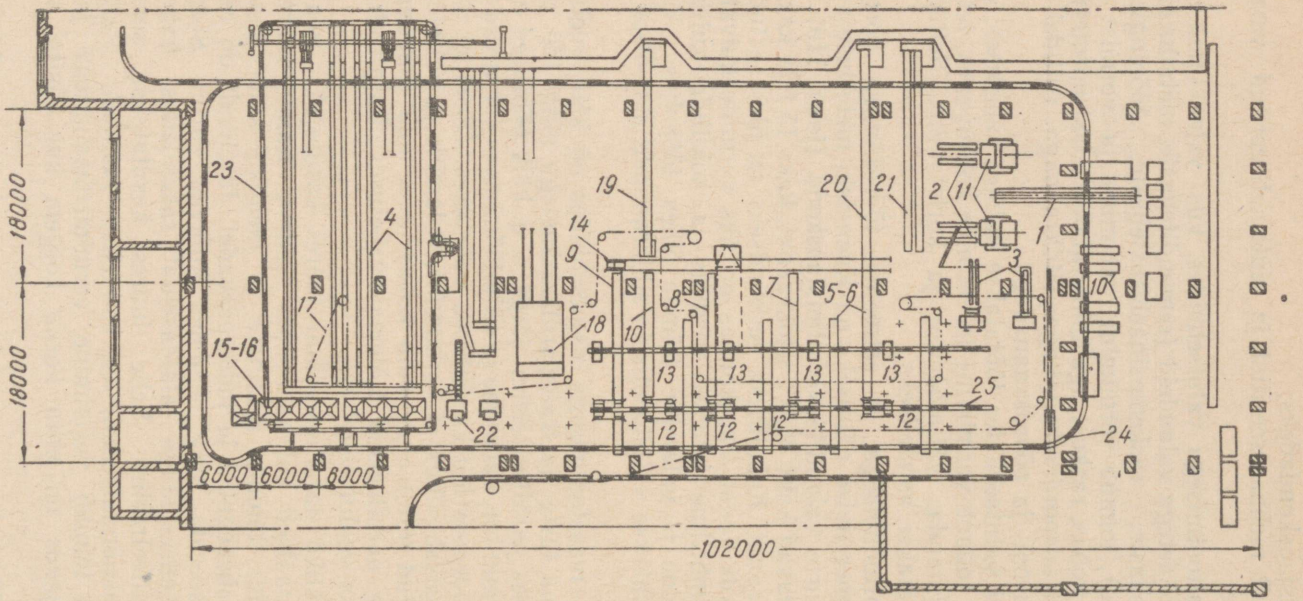
Seda tüüpi valutsehhides töötatakse kolmes vahetuses: esimeses vahetuses toimub vormimine ja vormide kokkupanek, teises — valamine, kolmandas väljalöömine ja koristamine. Sellist töörežiimi nimetatakse astmeliseks.

Individuaaltootmisega ja astmelise töörežiimiga vormimisjaoskonna planeerimise näidiseks on Kuznetski metallurgiatehase valutsehhi suurte valandite vormimisjaoskond (joon. 119). Jaoskonda teenindavad kaks 30/5 t sildkraanat, kaks 15 t ja kaks 10 t tõstejõuga kraanat. Kohalikuks vormimiseks on üles seatud mitu 3-tonnist pöördkraanat. Jaoskonnas on üks vormide kuivatamise ahi ja 12-kambriline kuivati vormide ja kokillide kuivatamiseks. Vormimine ja valamine toimub ühes töökohas. Valatud vormid toimetatakse väljalöömisele sildkraanade abil öises vahetuses.

Seeria- ja masstootmisega valutsehhides on kõik vooluliinid varustatud oma tõste- ja transpordiseadmetega ning töö toimub kahes vahetuses paralleelrežiimi järgi, s. o. kõik põhilised operatsioonid — vormimine, valamine ja väljalöömine — toimuvad paralleelselt nii päevases kui ka õhtuses vahetuses. Öösel ei töötata. Paralleelsus seisab selles, et vormimine, valamine ja väljalöömine ei ole lahutatud mitte ajas, vaid kohas, s. o. nad toimuvad eri kohtades ning paralleelselt mõlemas vahetuses. Paralleelrežiimi nimetatakse ka voolumeetodiks.

Ühevahetusliku paralleelrežiimi juures kasutatakse seadmeid vähem ratsionaalselt kui astmelises režiimis. Kolme vahetusega paralleelrežiimis toimub masinate ja mehhanismide ülevaatus ainult lõunavaheaegadel ja puhkepäevadel. Järelikult on remonti raske organiseerida ning seadmed kuluvad ruttu. Seepärast leidis vooltootmises kõige laialdasemat rakendamist kahevahetuseline paralleelrežiim. Selle juures kasutatakse seadmeid kaks korda ratsionaalsemalt kui astmelises režiimis. Paralleelrežiimi korral toimub vormimine vormimismasinatega ja vormijate tööviljakus on mitu korda kõrgem kui käsitsi vormimisel.

Paraleelrežiimis organiseeritakse vormimis- ja vormide kokkupanemisjaoskonnad voolumeetodil. Seadmed ja töökohad aseta-



Joon. 120. Terasevalu-tsehhi vormimisjaoskond:

1—10 — rullteed; *11—13* — raputusmasinad; *14* — etteandevanker; *15—16* — punkriestakaad; *17* — nelja ajamiga konveier; *18* — kuivati; *19—21* — plaatkonveierid; *22* — raputusmasin; *23* — konveier; *24—25* — talakraana rööpad.

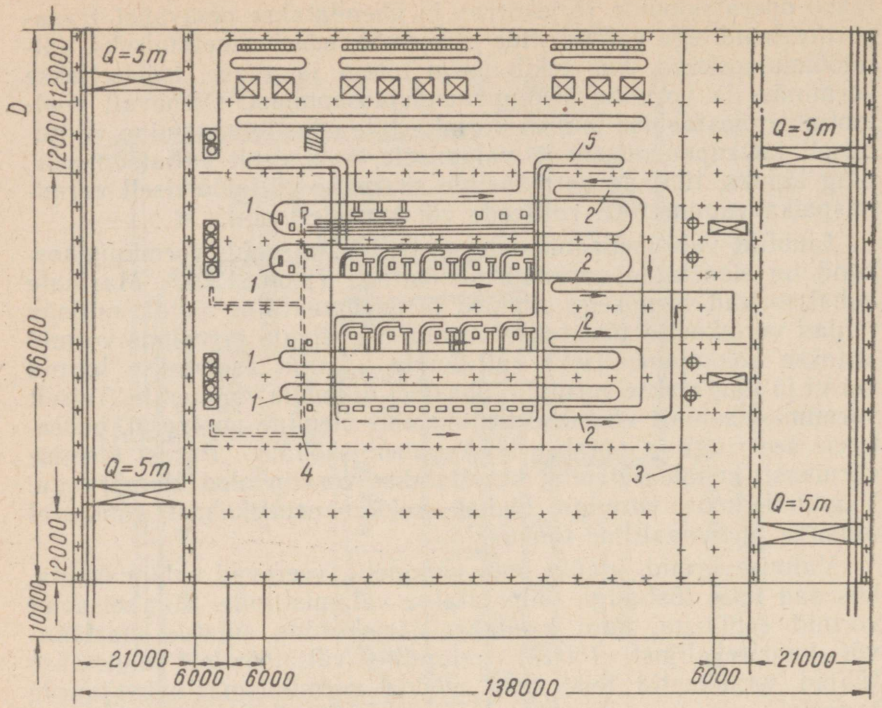
takse operatsioonide järjekorras ja ühendatakse omavahel transpordivahenditega vormkastide ja vormide edasitoimetamiseks. Väljalöömisjaoskond, kus tekib palju tolmu ja gaase, isoleeritakse vormimis- ja vormide kokkupanemisjaoskonnast. Olenevalt vooltootmise mastaabist toimub vormkastide edasitoimetamine vormimiselt kokkupanemisele ja valamisele, valamiselt väljalöömisele, ning lõpuks, tühjade vormkastide saatmine väljalöömiselt vormimispaika vagonettide, rullteede või konveieri abil.

Ljublini valu-mehaanikatehase terasvalutsehhi vormimisjaoskond on sisustatud vormimismasinatega (joon. 120). Masinate kohal asuvad vormisegu punkrid ja pneumaatiline tõstuk, millega tühjad vormkastid tõstetakse vormimismasinale ja valmis vormid antakse kokkupanemiseks rull-lauale. Laual asetatakse kärnid vormi ja tõugatakse vormid rööbasteel liikuvale vagonetile. Teiselt vormimismasinalt võetakse tõstuki abil ülemine poolvorm, pööratakse see ringi ja antakse kokkupanemiskohale. Pärast ülemise vormkasti kohaleasetamist kinnitatakse vormipooled klambritega. Vagoneti koos vormiga lükkab kokkupanemiskohast rööbastel minema pneumaatiline tõukur.

Valmis vormid, igaüks oma vagonetil, veerevad valamiskohta, kus nad teise tõstukiga toimetatakse valamisliinile. Siin seisavad vormid senikaua, kuni saadakse järjekordne sulatus martään- või kaarleekahjust. Pärast valandite väljalöömist saadetakse tühjad vormkastid teist teed mööda vormimismasinate juurde tagasi.

Mehhaniseeritud valutsehhi konveierseadmed on näidatud joonisel 121. Horisontaalsed ringkonveierid 1 kujutavad endast pidevalt liikuvaid ahelaid, mis koosnevad rööbastel liikuvatest vankritest (vagonettidest). Konveier pannakse liikuma elektrimootoriga. Liikumiskiirus määratakse olenevalt vajadusest ja vormimismasinate ning konveieri tootlikkusest. Tööline tõstab kerged vormkastid käsitsi masinale, vormib need, asetab valmis poolvormid mööduvatele vabadele vankritele ning paigutab kohale kärnid. Teine tööline valmistab naabermasinal ülemise poolvormi ja asetab selle alumisele, tõstab peale raskuse või kinnitab mõlemad vormipooled. Valmis vormid, liikudes noole suunas paremale, mööduvad valamisplatvormist *2*, kus nad valatakse täis platvormil seisva valaja poolt. Valamisplatvorm kujutab endast lühikest konveierit, mis liigub peakonveieriga kaasa.

Konveieri tagasiminev e. jahutamisharu on pealt kaetud nn. jahutustunneliga, millel on väljatõmbeventilatsioon kahjulike kuumade gaaside eemaldamiseks. Vedela metalli kopad veetakse juurde mööda ripproobast. Vahesein *3* lahutab vormimisjaoskonda valamisjaoskonnast, vahesein *4* — väljalöömisjaoskonnast. Valatud vormid lüüakse välja väljalöömisrestidel. Tühjad vormkastid asetatakse uuesti konveierile ja saadetakse vormimisele.



Joon. 121. Autotehase malmvalu-tsehh organiseeritud massvooltootmisega. Toodang 20 000 t valu aastas.

Raskemate vormkastide tõstmiseks ja ümberpaigutamiseks seatakse vormimis- ja väljalöömiskohtades konveieri kõrvale üles pneumaatilised tõstukid või elektritalid. Kärnid antakse ette ripptransportööridega *5*.

VALUKANALITE SÜSTEEMI VALMISTAMINE

Kanaleid, mida mööda vedel metall pääseb kopast valuvormi õõnsusesse, nimetatakse valukanaliteks ja kanalite süsteemi v a l u k a n a l i t e s ü s t e e m i k s.

Valukanalite süsteemi kujundus mõjutab oluliselt nii valamisprotsessi kui ka valandi enda kvaliteeti. Õigesti projekteeritud valukanalite korral on välditud räbupesade, gaasitühimike, liidete, pragude ja kahanemispingete tekkimine ning valamisprotsess kulgeb normaalselt.

Valukanalite süsteemid on väga mitmesuguse ehitusega. Hallmalmist valandite jaoks on välja töötatud mitu valukanalite süsteemi varianti, terasvalandite jaoks aga palju rohkem. Sama võib ütelda ka värvilistest metallidest, valge- ja tempermalmist valandite kohta. Kuid valukanalite süsteemi põhiosad ja nende üles-

anded on ühesugused nii terasest ja malmist kui ka värvilistest metallidest ning nende sulamitest valanditele.

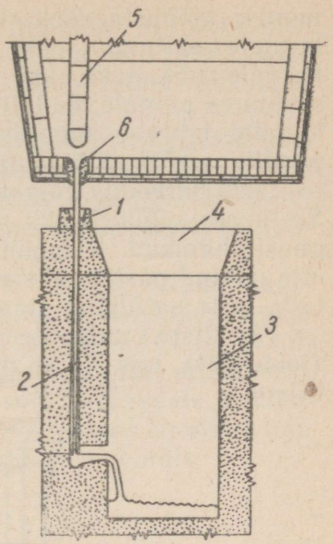
Hallmalmist valandite valukanalite süsteemi põhielementideks on: valulehter, valukauss, püstkanal, räbupüüdja, toitekanal, tõusupea ja valupea. Kõigil neil osadel on oma kindel ülesanne. Hallmalmist valandite valukanalite süsteemi põhiliste osade soovitatav kuju ja mõõted on toodud ГОСТ 2613-44.

Valukanalite süsteemi ehitus on näidatud joonisel 50.

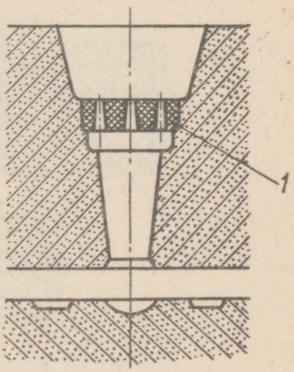
Metall valatakse kopast (joonisel ei ole näidatud) valukaussi *1*. Kausist voolab metall püstkanalit *2* mööda alla, läbib räbupüüdjaks nimetatava horisontaalkanali *3* ja suundub edasi kahte toitekanalisse *4*, kust pääseb lõpuks vormiõõnde. Õhk väljub vormist tõusupea *7* ning vertikaalsete gaasikanalite *10* kaudu. Kärnist lahkuvad õhk ja gaasid kahe gaasikanali kaudu ning edasi läbi kanali *10* üles ja alla. Valukauss on vajalik kopast tuleva sulametalli vastuvõtmiseks ja selle suunamiseks püstkanalisse.

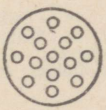
Valamise ajal peab valukauss olema ääreni täidetud metalliga, et juhuslikult sisse sattunud räbu saaks tõusta metalli pinnale. Terase valamisel sulgurkopa (stopperkopa) abil valukausi järele vajadust ei ole. Selle aset täidab valulehter (joon. 122). Valulehtri kasutamisel kulub metalli vähem kui valukausiga valamisel. Masinvormimisel asetatakse räbu püüdmiseks valukausi põhja aukudega liivakärn (valukurn), mis etendab filtreeriva sõela osa (joon. 123).

Valukurn valmistatakse kärnisegust umbes 15 mm paksuse kettana, milles on 5—8 mm augud. Ummistumise ärahoidmiseks ja vor-



Joon. 122. Sulgurkopaga valamisel kasutatav valukanalite süsteem:
1 — valulehter; *2* — püstkanal; *3* — vormi tõõõõnsus; *4* — valupea; *5* — sulgur; *6* — sulgurkoonus

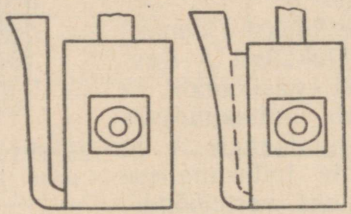




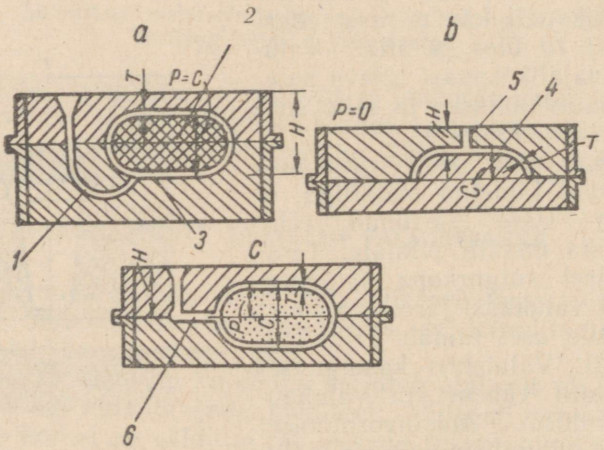
Joon. 123. Valukauss koos valukurnaga:
1 — kurn.

mimise hõlbustamiseks tehakse augud alt laiemad. Juhuslikult kurnale sattunud paks räbu ei pääse läbi aukude ja jääb kurnale niikauaks, kui metall täidab valukausi. Räbu tõuseb seejuures pinnale, metall aga voolab endiselt püstkanalisse. Püstkanalid tehakse koonilised, tipuga allpool, nii et nendes tekiks positiivne rõhk. Silindrilistes või ülespoole ahenevates püstkanalites tekib hõrendus, mis põhjustab õhu sisseimemist läbi valukausi. Seejuures seguneb õhk metalliga ning valandites võivad tekkida gaasitühimikud. Räbupüüdjad, nagu näitab nende nimetuski, on ette nähtud püstkanalisse tungiva räbu kinnipüüdmiseks, et takistada selle sattumist vormiõõnsusesse.

Värviliste sulamite jaoks soovitatakse pilukujulist toitjat (joon. 124), mis töötab nii räbupüüdjana kui ka metallivoo rahustajana.



Joon. 124. Pilukujuline toitekanal (A. G. Spasski).



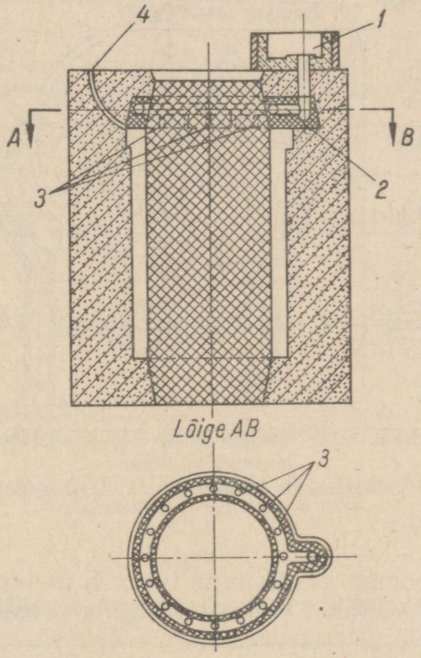
Joon. 125. Valukanalite süsteemid:
a — sifoonsüsteem; *1* — valukanal alumises vormipooles; *2* — kärn; *3* — ahendatud ristlõige; *b* — otsene ehk ülemine süsteem; *4* — valukanal ülemises vormipooles; *5* — ahendatud ristlõige; *c* — külgsüsteem; *6* — valukanal vormi eralduspinnas.

Valukanalite süsteemide peamised konstruktsioonid on näidatud joonisel 125. Sifoontüüpi valukanalite süsteemi korral (joon. 125, *a*) siseneb metall vormi selle alumisse ossa paiguta-

tud toitekanali kaudu. Joonisel 125, *b* on näidatud nn. otsene ehk ülemine valukanalite süsteem. Külgmiseks nimetatakse valukanalite süsteemi (joon. 125, *c*), millel toitekanal asetseb vormi eralduspinnas.

Peale ülalkirjeldatud süsteemide kasutatakse veel paljusid teisi süsteeme, peamiselt keerulise kujuga valandite juures. Nii näiteks eriti massiivsete valandite juures kasutatakse mitmel kõrgusel asuvate toitekanalitega süsteemi, mida nimetatakse mitmekorruseliseks sifoonsüsteemiks.

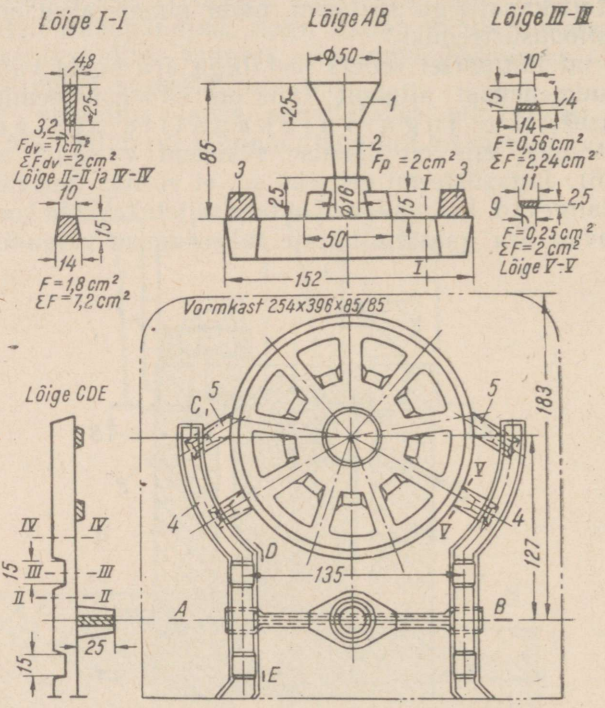
Et vormi täitumisel vedela metalliga ära hoida valandi tugevat ülekuumenemist altpoolt (mis on sifoonsüsteemide puuduseks), kasutatakse juga-valukanalite süsteemi (kollektorsüsteemi), mis on ülemise süsteemi variandi arenduseks (joon. 126). Jugasüsteemi eeliseks on, et vormis tõusvale metallipinnale langevad kuumad joad ei lase sellele tekkida koorikut, millega hoiavad ära gaasimullikeste takerdumise valandis.



Joon. 126. Valukanalite kollektorsüsteem malmvalanditele:
1 — valukauss; *2* — valukäik; *3* — toiteavad; *4* — pliiatsikujulised tõusukanalid.

Vastutusrikaste ja keeruliste valandite jaoks ehitatakse pidursüsteemi räbupüüdjaid. Nii võttis B. V. Rabinovitš Podolski mehaanikatehases õmblusmasinate kerede vormides kasutusele

valukanalite drosselsüsteemi (joon. 127). See süsteem soodustab väikeste räbuosakeste ja õhumullikeste kõrvaldumist ja annab puhta metalliga valandid. Drosselsüsteemi puuduseks on ta küllaltki keeruline ehitus ja suurem metallikulu valukanalitele.



Joon. 127. Valukanalite drosselsüsteem malmvalanditele:

1 — valukauss; *2* — püstkanal; *3* — räbupüüdjad; *4* — drosselid; *5* — toitekanalid.

Metalli ökonoomne kasutamine tugineb metalli vormi andmise lühimate teede valikul ja valukanalite süsteemi elementide optimaalsete ristlõigete arvutamisel. Arvutuse aluseks on hüdraulika klassikalised seadused, mis on vedelale metallile täiesti rakendatavad niikaua, kui see omab vedelvoolavust.

Liikumise parameetrid on määratud joon-, ruum- ja kaalukiirusega. Joonkiiruse $v_{\text{ün}}$ sõltuvust raskuskiirendusest g cm/sek.², survekõrgusest h cm ja hüdraulilise takistuse tegurist μ väljendab vene akadeemiku Daniel Bernoulli võrrand:

$$v = \mu\sqrt{2gh} \text{ cm/sek.}$$

Hõõrdumisvabal vedelikul $\mu = 1$, kuid reaalsetel vedelikel on μ alati ühest väiksem. Kui terase valamine toimub sulgurkopast, siis takistustegur $\mu = 0{,}85—0{,}87$. Mida suurem on liikumistakistus, näiteks mitme käänakuga ja ahenemistega valukanalites, seda väiksem on μ. Väikeste vormide külgsüsteemilistel valukanalitel $\mu = 0{,}35$.

μ sõltuvuse takistuste summast võib avaldada valemiga

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1+\Sigma\xi_i}},$$

kus $\Sigma\xi_i$ on mitmesuguste takistuste, nagu näiteks: ξ_1 — käänakutakistused, ξ_2 — hõõrdetakistus, ξ_3 — ahanemistakistused jne. summa.

G. I. Dubitski andmetel kasutatakse tehastes järgmisi μ väärtusi (vt. tabel 26).

Tabel 26

Takistusteguri μ väärtused malm- ja terasvalanditele (malmi valamisel kopa nokast ja terase valamisel läbi kopa põhja)

Valandi liik ja vormi iseloom	Vormi takistus		
	Suur	Keskmine	Väike
	Takistustegur μ		
Malm, märg vorm . . .	0,35	0,42	0,50
Malm, kuiv „ . . .	0,41	0,48	0,60
Teras, märg „ . . .	0,25	0,32	0,42
Teras, kuiv „ . . .	0,30	0,38	0,50

Märkus: Vormitakistus loetakse suureks, keskmiseks või väikeseks olenevalt valukanalite süsteemist ja vormi enese keerulisusest.

Mitmesuguste tegurite mõju μ väärtusele on toodud tabelis 27.

Tabel 27

Mitmesuguste tegurite mõju μ väärtusele

μ-d mõjustav tegur	μ väärtuse muutumine
Kõrgendatud valamistemperatuur	Kuni +0,05
Lahtiste tõusu- ja valupeade olemasolu	+0,05 . . . +0,30
Püstkanali ja räbupüüdja suur ristlõige, võrreldes toitekanalitega	+0,05 . . . +0,20
Suur toitekanalite arv hargnevas valukanalite süsteemis	−0,05 . . . −0,30
Vormi väike gaasiläbitavus lahtiste tõusu- ja valupeade puudumisel	−0,05

Terasvalandite keskmise takistusega märgvormide takistustegur $\mu = 0{,}32$. Kõrgsurvesilindri valamisel hargneva valukanalite süsteemi abil suureneb aga vormitakistus ning takistustegurit μ tuleb tabeli 27 põhjal 0,05 võrra vähendada. Lõplikuks μ väärtuseks kujuneb seega 0,27.

Kaalulise kulu ehk kaalulise kiiruse võib vormide valamisel avaldada ruum- või joonkiiruse kaudu võrrandiga:

$$v_k = v_r \gamma = v_{lin} F\gamma.$$

Korrutades D. Bernoulli võrrandi mõlemaid pooli Fγ-ga, saame

$$v_k = \frac{G}{t} = F\gamma\mu\sqrt{2gh} \text{ kg/sek.},$$

kus G on metalli kaal valandis, valupeas ja valukanalites kg;
t — vormi ja valupeade täisvalamise aeg sek.;
F — valukanalite ristlõige kõige kitsamas kohas cm²;
γ — vedela metalli erikaal kg/cm³;
μ — hüdraulilise takistuse tegur;
g — raskuskiirendus cm/sek.²;
h — survekõrgus cm, mida mõõdetakse metallinivoost valukausis või kopas kuni toitekanali sisenemiseni vormiõõnsusesse.

Lahendades selle võrrandi F suhtes, leiame valukanalite ristlõikepinna suuruse:

$$F = \frac{G}{t\gamma\mu\sqrt{2gh}} \text{ cm}.$$

Et aga $0{,}001\ \gamma\sqrt{2g} = 0{,}31$, saame saksa valaja Ozanni võrrandi

$$F = \frac{G}{\mu t\, 0{,}31\sqrt{h}} \text{ cm}^2.$$

Tegur 0,001 tuli sisse grammide üleviimisest kilogrammideks. Selle võrrandi abil arvutatakse valukanalite süsteemi kõige väiksem ristlõige, mille asukoht määratakse järgmistel kaalutlustel: kui süsteemi kõige kitsam koht on toitekanali suudmes, siis sulgub see kohe valamise algul ning metallinivoo tõuseb kuni valukausini, s. o. süsteem jääb valamise ajaks täidetuks ehk suletuks.

Tähistades toitekanalite summa (üldjuhul, kus metall antakse vormi mitme toitekanali kaudu) ΣF, räbupüüdja ristlõike aga F_r ja püstkanali ristlõike F_p, saame suletud valukanalite süsteemi jaoks võrratuse:

$$F_p > F_r > F_t .$$

Ozanni võrrandist leiame:

$$\Sigma F_t \frac{G}{\mu t\, 0{,}31 \sqrt{h}} \text{ cm}^2.$$

Kaalu G arvutame valandi vormi joonisel toodud mõõdete järgi. Teguri μ väärtuse valime tabelist 26.

Vormi täisvalamise aeg t võib olenevalt valandi seinapaksusest, gabariitidest ja valukanalite süsteemi konstruktsioonist muutuda laiades piirides ning seda eriti massiivsete valandite puhul. Insener K. A. Sobolev esitas vormi valamise aja määramiseks valemi, mis on tuletatud paljude tsehhivaatluste põhjal:

$$t = S \sqrt[3]{\delta G} \text{ sek.},$$

kus t on kogu vormi (koos valupeadega) täisvalamise aeg sek.;
S — katseline ajategur, leitakse tabelist 28;
δ — valandi keskmine paksus mm;
G — valandi, valukanalite ja valupea metalli kaal kg.

Tabel 28

Teguri S väärtused terasvalanditele
(G. M. Dubitski)

Valamise temperatuur ja metalli vedelvoolavus	Metalli juurdejuhtimine		
	sifoonsüsteemi kaudu	külgsüsteemi kaudu	otsesüsteemi kaudu
Normaalsed	1,3	1,4	1,5—1,6
Kõrgendatud	1,4—1,5	1,5—1,6	1,6—1,8

Märkused: 1. Kahanemistühimike, sisepingete ja pragude tekkimisele kalduvatel valanditel suurendatakse S väärtust 0,1—0,2 võrra.
2. Sekundaarse oksüdeerumise kilede moodustamisele kalduvatel valanditel vähendatakse S väärtust 0,2—0,3 võrra.
3. Metall- või liivavormides suure arvu väliste jahutajate kasutamisel vormi valamise kiirus suureneb ning S väärtust vähendatakse 0,1—0,2 võrra.

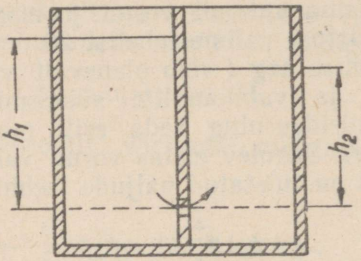
Läbi sifoonkanalite valamisel tuleb valamisaega veidi vähendada, valukanalite ristlõiget aga suurendada, sest vormi sifoonsel täitumisel toimub valamise lõpul isepidurdumine, vastavalt hüdraulika seadusele vedeliku liikumisel läbi uputatud ava.

Vaatleme liikumist ühendatud anumates (joon. 128). Alguses, kui nivoode vahe on suur, on liikumiskiirus

$$v_{lin} = \mu \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

kõige suurem. Vastavalt vedeliku nivoo langemisele vasakpoolses nõus ning tõusmisele parempoolses nõus, väheneb ka kiirus v ning muutub lõpuks nulliks. Siit järgneb, et liikumist valukanalite

sifoonsüsteemis saab väljendada mingisuguse keskmise kaalulise kiirusega, mida valamisaja vähendamisel tuleb tõsta. Sifoonsüsteem on «isepidurduv».



Joon. 128. Vedeliku voolamine läbi uputatud ava ühendatud anumates.

Vedeliku liikumist läbi vertikaalse otsese püstkanali tuleb aeglustada, sest suure kiirusega liikuva metallijoa purustav toime on võrdeline kineetilise energiaga

$$A = \frac{m \cdot v^2_{tin}}{2}$$

ning seda tuleb vähendada.

Liikumine külgsüsteemis on sifoon- ja otsesüsteemi vahepealseks. Teguri S leiame tabelist 28.

Peale tabelis toodud juhtumite tuleb vormide valamise kiirust tõsta, kui esineb vormi ülemiste seinte ja lae põlemine.

Toodud arvutusi tuleb kontrollida vedelikunivoo vormis tõusmise keskmise kiiruse järgi, olenevalt vormi asendist valamisel ning valandi seinapaksusest, valemiga:

$$v = \frac{C}{t} \text{ mm/sek.},$$

kus v on metallinivoo tõusmise kiirus vormis mm/sek.;

C — valandi kõrgus valamisasendis (kõige alumisest kõige ülemise punktini) mm;

t — vormi täisvalamise aeg sek.

G. M. Dubitski järgi on see kiirus malmvalanditel katseliste andmete põhjal:

a) üle 40 mm-se seinapaksuse ja vormi horisontaalse asendi juures $v = 8—10$ mm/sek.;

b) seinapaksustel 10—40 mm $v = 10—20$ mm/sek.;

c) seinapaksustel 1,5—4 mm $v = 30—100$ mm/sek.

P. N. Bidulja andmetel terasvalanditele:

a) 7—15 mm paksuste seinte korral on v vähemalt 20 mm/sek.;

b) 15—40 mm juures on v vähemalt 10 mm/sek.;
c) üle 40 mm paksuste seinte juures on v vähemalt 8 mm/sek.

Ozanni valemi abil leitud toitekanalite summaarset ristlõiget tuleb pärast metallinivoo tõusmise kiiruse kontrollimist täpsustada.

Ülejäänud ristlõiked leitakse katseliselt määratud suhtest

$$F_p : F_r : \Sigma F_t = 1{,}4 : 1{,}2 : 1{,}0.$$

Võttes ühikuks toitekanalite summaarse ristlõike, leiame $F_p = 1{,}4\Sigma F_t$ ja $F_r = 1{,}2\Sigma F_t$.

Lahtine valukanalite süsteem erineb selle poolest, et tema kõige kitsamaks kohaks on püstkanal. Räbupüüdja ja toitekanalite summaarne ristlõige leitakse pöördsuhtest:

$$F_p : F_r : \Sigma F_t = 1{,}0 : 1{,}2 : 1{,}4.$$

Lahtises süsteemis (joon. 122) voolab metall üle toitekanali läve ülevoolu põhimõttel. Vastavalt sellele määratakse voolu kiirus võrrandiga:

$$v_{lin} = \frac{2}{3}\sqrt{2gh},$$

kus h on metallinivoo kõrgus ülevoolu lävel.

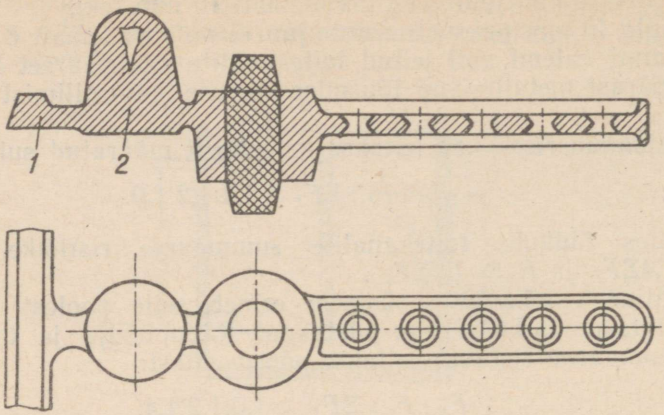
Lahtise süsteemi kasutamine on otstarbekas juhtudel, kui esineb valukanalite seinte ärauhtumise ja vormi risustamise oht. Kuid süsteem on avatud niikaua, kui toitekanali suue ei ole metalliga üle ujutatud. Uputamise korral süsteem järk-järgult sulgub, sest metallinivoo hakkab tõusma ka valukanalites. Sellest momendist alates hakkab metalli liikumine alluma uputatud ava kohta kehtivale võrrandile, mida vaatlesime eespool.

Lahtise valukanalite süsteemi paremused ja puudused vastavad täiel määral juga-toitekanaliga süsteemile, mis on oma olemuselt lahtiseks süsteemiks.

Valukanalite süsteemi ehitus valitakse tavaliselt olenevalt metalli liigist. Teras ja värvilised sulamid kalduvad mitmesuguste mittemetalsete lisandite ja oksüüdikilede moodustamisele. Seepärast on neid soovitatav valada suhteliselt suure kiirusega, malmi aga väikesega.

Tempermalmist ja vase-, alumiiniumi- või magneesiumisulamitest valandite puhul tehakse toitekanalitele jämendused, mis etendavad kahanemise ajal valandi soojussõlme toitvate valupeade osa. Joonisel 129 on esitatud tempermalmist kangi valukanalite süsteemi näide.

Jämendatud toitekanal etendab kolmekordset osa (joon. 129). Ta on valamise ajal lihtsalt metalli vormi juhtivaks toitjaks, räbupüüdjaks ja valupeaks. Räbu püüdmine on eriti vajalik värviliste sulamite, samuti aga ka terase korral, sest räbu tekib metalli



Joon. 129. Valukanalite süsteem tempermalmist valanditele:
1 — räbupüüdja; *2* — jämendatud toitekanal.

sekundaarse oksüdeerumise ajal. Mittemetalsete lisandite, peamiselt oksüüdide, disperssed osakesed moodustavad kilesid, näiteks alumiiniumi valamisel. Sattudes vormiõõnde, põhjustavad nad valupraaki. Siit järeldub, et taolistest sulamitest valandite tootmisel tuleb valukanalite teele teha mitte ainult räbupüüdjad, vaid ka räbu settimise kohad.

KÄRNIDE VALMISTAMINE

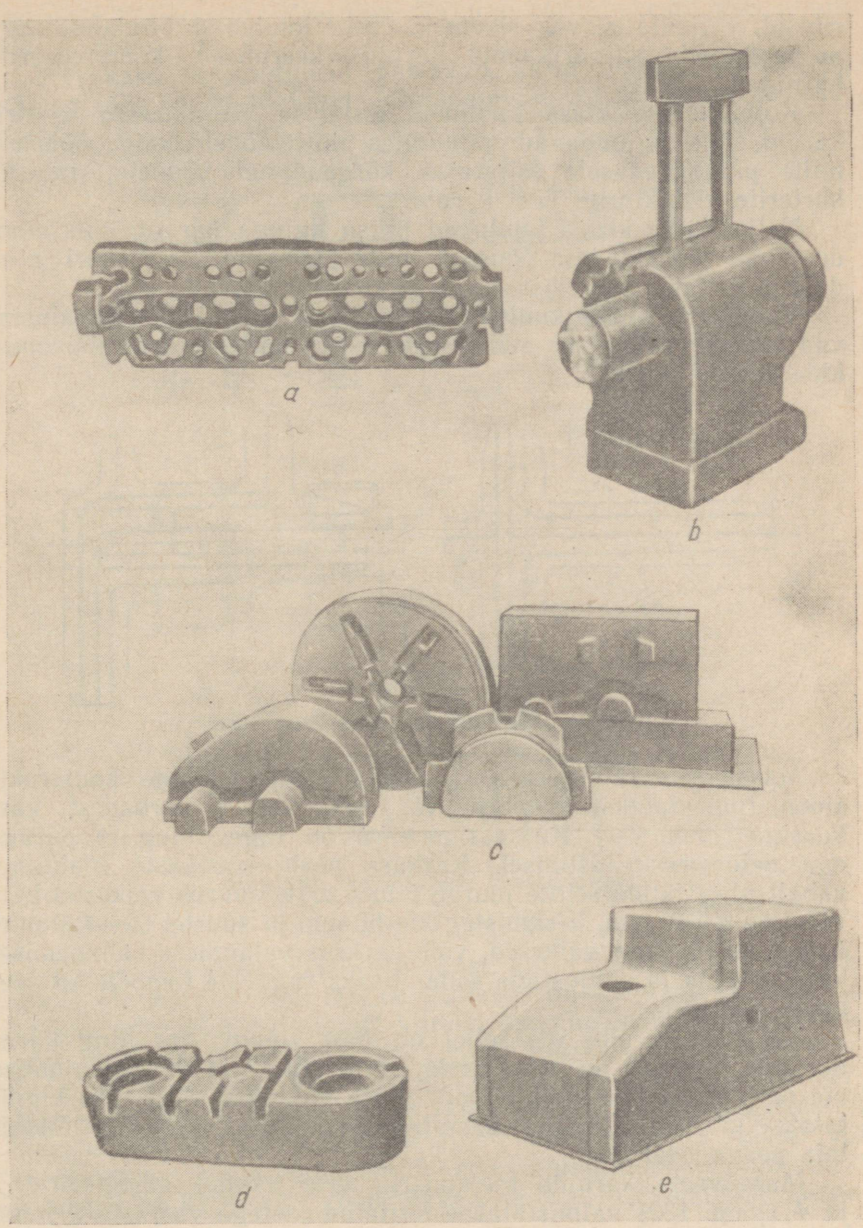
Kärnideks nimetatakse valuvormide osi, mille abil saadakse valandite sisemised õõnsused või avad. Peale valandites õõnsusi kujundavate kärnide kasutatakse sageli ka valandite välispinda kujundavaid kärne. Viimaseid kasutatakse keeruliste valandite puhul, samuti ka juhtudel, kui valanditelt nõutakse väga täpseid mõõteid.

Paljudel juhtumitel koostatakse kogu vorm ainult kärnidest. Selliseid vorme kasutatakse kõige keerulisemate ja vastutusrikkamate detailide valamisel, nagu sisepõlemismootorite silindriplokid ja plokikaaned, väntvõllid, ketid jne.

Kasutatakse ka valufiltritena töötavaid kärne. Olenevalt kärnide kujust ja töötingimustest valuvormis jagatakse neid viide klassi.

Esimesse klassi kuuluvad keerulise kuju ja metalli poolt tugevasti uhutavate õhukeste ristlõigetega kärnid, mis moodustavad valandites vastutusrikkaid raskesti juurdepääsetavaid ja mittetöödeldavaid siseõõnsusi. Seda klassi kärnide näiteks on mootoriosade valamisel kasutatavad lintkärnid (joon. 130).

Teise klassi kärnide hulka kuuluvad keerulise kujuga kärnid, milledel on kompaktse ja isegi massiivse osa kõrval väga õhukesi



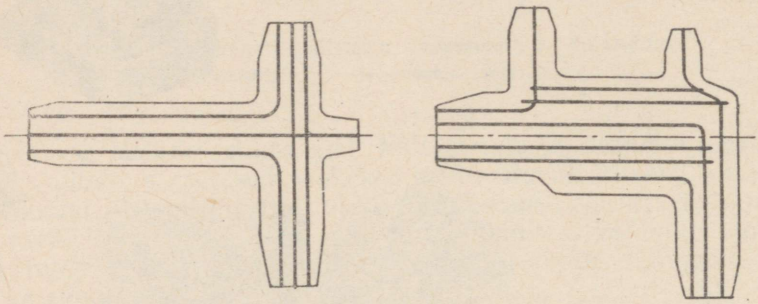
Joon. 130. I—V klassi kuuluvad kärnid:
a — esimese, *b* — teise, *c* — kolmanda, *d* — neljanda, *e* — viienda klassi kärn (vt. lk. 194).

ribisid, väljaulatisi või sidemeid. Siia kuuluvad õhujahutusega automootorite silindrikaante kärnid, keerulised kompressorite kärnid jt.

Kolmandasse klassi kuuluvad keskmise keerukusega tsentrikärnid, mis kujundavad valandites mittetöödeldavaid õõnsusi, mille pinnasiledusele esitatakse kõrgendatud nõudeid, näiteks karterite, reduktorite jms. kärnid.

Neljandasse klassi kuuluvad lihtsa kujuga kärnid, mis moodustavad töödeldavaid õõnsusi, mille pinnasiledusele suuri nõudeid ei esitata. See klass on kõige rohkem levinud.

Viiendasse klassi kuuluvad massiivsed kärnid, mis moodustavad suurtes valandites suuri siseõõnsusi, näiteks metallilõikepinkide kerede kärnid.



Joon. 131. Kärnide armeerimise viise.

Massiivsete või keeruliste viienda klassi kärnide konstruktsioon tugevdatakse traadist või peenikestest varbadest karkassiga (joon. 131). Karkassiga kärn on tugev ning ei purune ega deformeeru tõstmisel. Karkass peab kärnkasti mahtuma vabalt ning jätma seinte juurde pilud, mille suurus väikestel kärnidel on 8—12 mm, keskmistel 30—50 mm ja suurtel 60—120 mm. Kui pilud on liiga väikesed, võib karkass valandisse kahanemisel kinni kiiluda ja põhjustada selles lisaks tugevale tõmbele ka veel kuumpragusid.

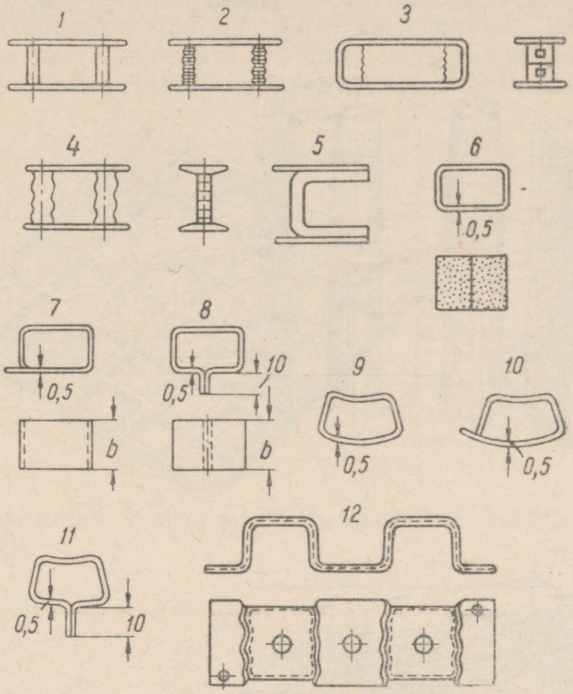
Kui kärn on pikk või sellel on pikk rippuv osa ning kärnmarkide tugipind on väike (mis põhjustab kärni pinnaleujumise või deformeerumise ja läbipaindumise valamise ajal), siis kinnitatakse kärn igast küljest kärnitugedega. Toeks võib olla lihtsalt laia peaga nael.

Massiivsete kärnide toetamiseks ette nähtud kärnitoed *1*, *2* ja *4* (joon. 132) valmistatakse teritatud otstega varrastest, mille külge kinnitatakse plaadikesed; kärnitoed *6*, *7*, *8* on painutatud 0,5 mm paksusest plekist. Toed *9*, *10* ja *11* on ette nähtud torudele ja kõveratele pindadele. Tugi *12* stantsitakse välja plekist ja seda kasutatakse kärnitugede *1*, *2*, *3*, *4* ja *5* asendajana.

Kärnisid vormitakse kärnkastide ja šabloonide abil käsitsi või masinatega. Põhiliseks abinõuks suurema osa kärnide vormi-

misel on kärnkastid. Keerulise kujuga kärne vormitakse ainult kärnkastides.

Kärnkasti sisekontuurid vastavad kärni kujule. Kärnkastid võivad olla kas terviklikud, lahtivõetavad või äravõetavate osadega.

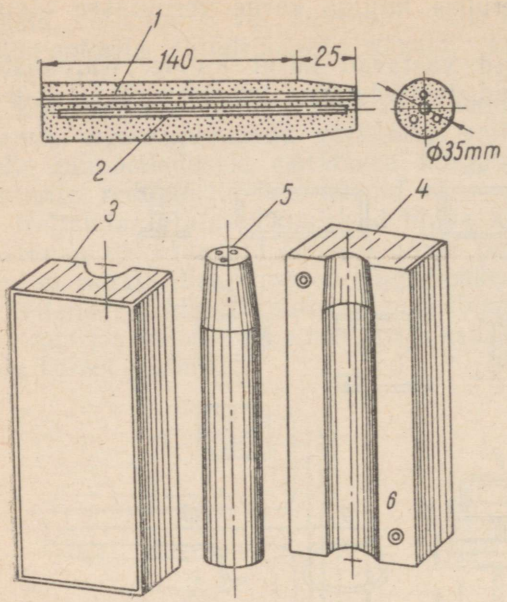


Joon 132. Kärnitugede konstruktsioone.

Kärnkastid valmistatakse puidust, kui valmistatavate kärnide arv ei ole suur — kuni 500 tk. Puitkast on odavam ja seda on kergem teha, kuid ta muutub kiiresti kasutamiskõlbmatuks. Peale selle ei võimalda puitkast saada suure mõõdete täpsusega kärne, kuna puit töötamisel kaardub. Seepärast, kui valmistatavate kärnide arv on suur ja kui nende täpsusele esitatakse kõrgendatud nõudeid, tehakse kärnkastid metallist. Materjaliks on malm või vasesulamid, kõige sagedamini aga alumiiniumisulamid, sest viimased on kergemini töödeldavad ja nad on malmist kergemad.

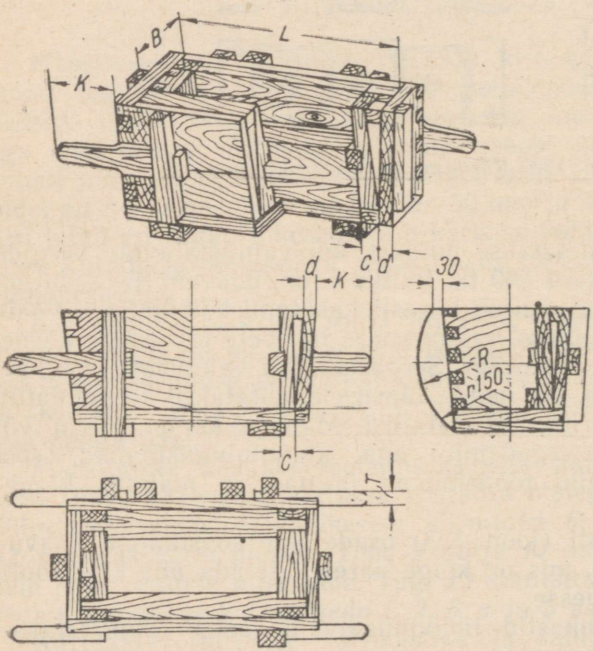
Lahtivõetava kasti (joon. 133) osade õige koostamine saavutatakse tihvtide abil, mis on kõige parem asetada ühe kastipoole eralduspinna nurkadesse.

Ühest tükist kärnkastid individuaalvalu jaoks valmistatakse kokkuliimitud puitosadest.



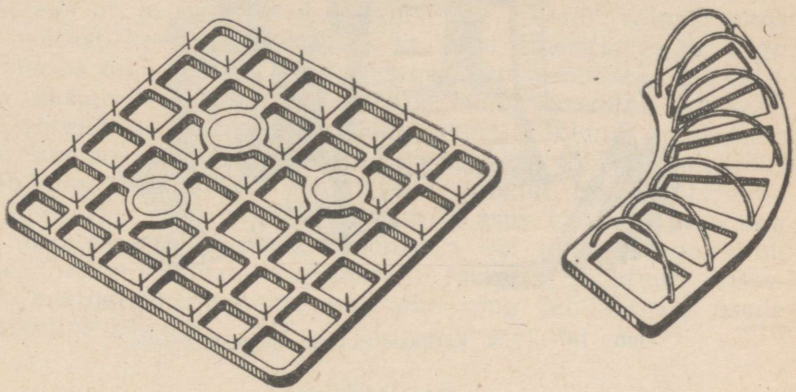
Joon. 133. Lahtivõetav kärnkast:

1 — ventilatsioonikanalid; *2* — karkass (traadi läbimõõt 2 mm); *3* — ülemine kastipool; *4* — alumine kastipool; *5* — kärn; *6* — tihvt.

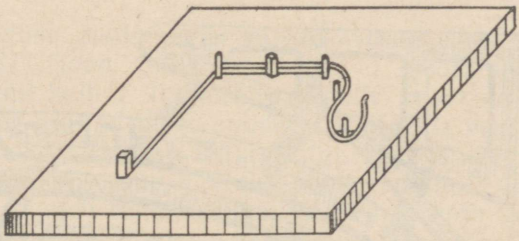


Joon. 134. Raputus-kärnkast.

Keerulise kujuga kärnide jaoks kasutatakse niinimetatud lahtivõetavaid kaste (joon. 134). Äravõetavad osad on monteeritud lahtivõetavatesse seintesse, mis ümbritsevad kärni igast küljest. Valmis märg kärn asetatakse koos kastiga kuivatusplaadile. Pärast surukruvi eemaldamist võib kasti seinad käepidemetest kõrvale tõsta. Sellise konstruktsiooni juures ei ole äravõetavate osade kaardumine võimalik. Kasti karp tehakse jäik ning selle eluiga on palju pikem kui üksikutel lahtikäivatel osadel. Kärnide valmistamine kirjeldatud kastides toimub raputusmasinatel.



Joon. 135. Valatud raam koos sissevalatud traaditükkidega.

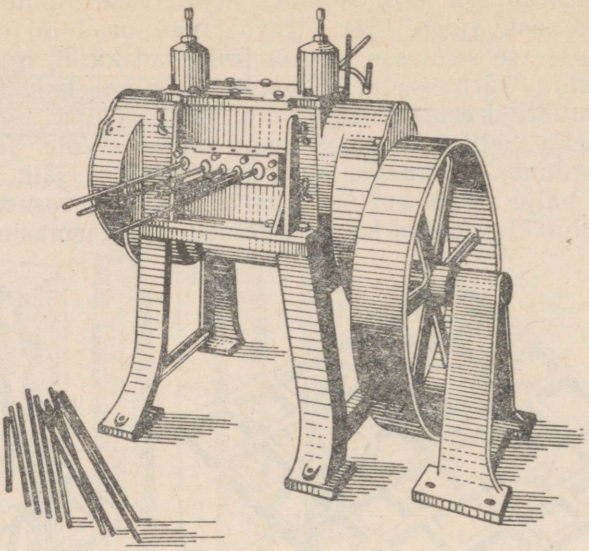


Joon. 136. Rakis traatarmatuuri valmistamiseks.

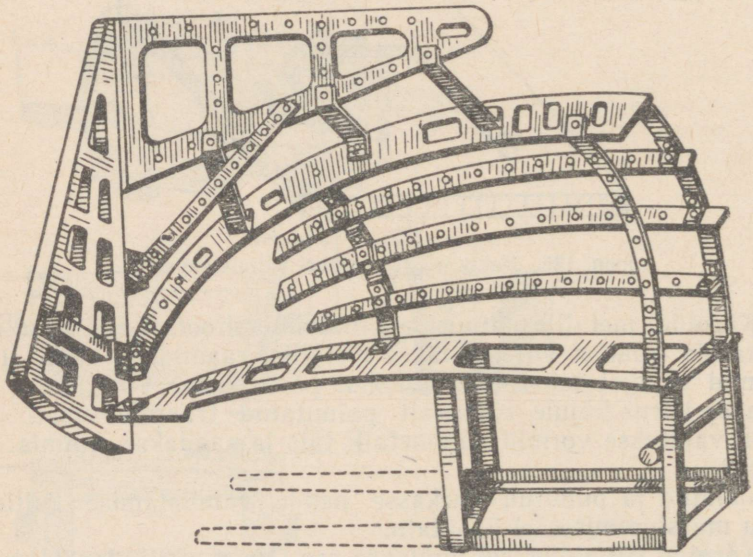
Kärnide metallarmatuuride individuaaltootmisel punutakse karkassid traadist või valatakse metallist raamidena (joon. 135). Vormid valmistatakse valamiskohal põrandasse. Vormidesse torgatakse kärni kujule vastavalt painutatud traatide otsad. Seejärel valatakse vormid sulametalli täis ja saadakse valmis karkassid.

Valatud ja punutud karkasse nende valmistamise kalliduse tõttu masstootmises ei kasutata.

Kärnide väljalöömisel püütakse armatuuri säilitada. Konksude valmistamisel kasutatakse varraste painutamiseks spetsiaalset seadist — armeerimislauda (joon. 136).



Joon. 137. Pink karkassitraatide sirgestamiseks.



Joon. 138. Keevitatud karkass. Sektsioonid ühendatud poltidega.

Pärast kärnide väljalöömist kogutakse traatkarkassid kokku ja saadetakse kärnijaoskonda. Kõverdunud traat sirgestatakse rullide vahel, pihtide või matriitside abil jms.

Suured karkassid võivad olla kombineeritud (joon. 138): nende üksikud sõlmed on kokku keevitatud ning ühendatud omavahel poltidega.

Kärnisegu tihendamine kastides võib toimuda nii käsitsi kui ka raputus-, liivapuhumis- jt. masinatega.

Kärnide käsitsivormimisel kärnkastides ja vormimisel kärnimasinatega on palju ühiseid operatsioone. Kärni valmistamine algab pärast kasti ettevalmistamist segu tihendamisega. Segu tihendamine on vajalik sileda pinnaga kärni saamiseks ja liivaterade üksteisele lähendamiseks, et nad paremini liituksid. Käsitsivormimisel ja käsitsivormimismasinatel toimub raputamine käsitsi, pneumaatilistel masinatel aga suruõhu jõul. Raputamisel tiheneb kõige rohkem kasti põhjas asuv segukiht. Kõrgemalasuvad kihid tihenevad nõrgemini, kärni pinnal asuv kiht ei tihene aga üldse, ning see tuleb lameda tambitsaga või puuvasaraga kinni tampida. Kärnimasinate kasutamisel toimub armatuuri sissepanek, ventilatsioonikanalite tegemine ning lahtikäivate osade väljavõtmine käsitsi.

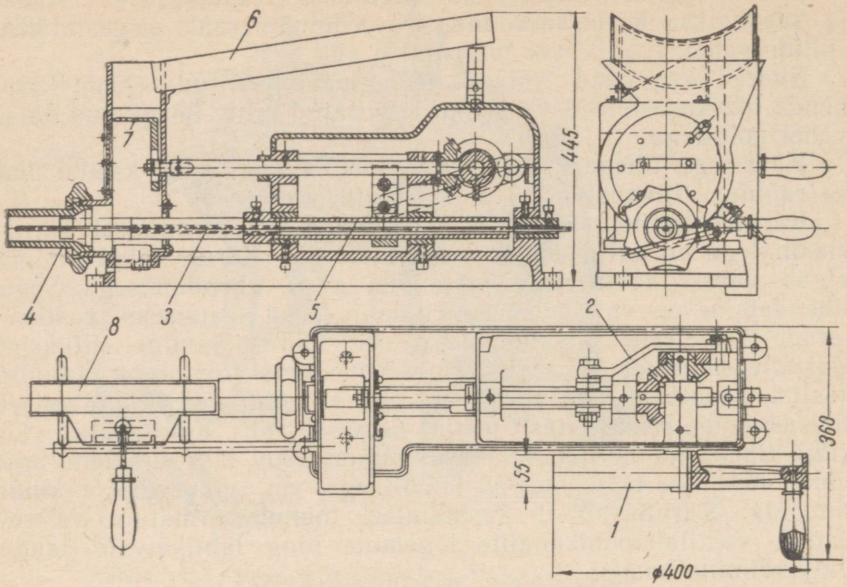
KÄRNIMASINAD

Vaatleme laialdasemalt kasutatavaid kärnimasinaid ja nendel töötamist.

Pikad ühesuguse ristlõikega kärnid vormitakse suudmega kärnimasinal 281 (joon. 139). Käsiratta *1* pööramisega pannakse kepsu *2* abil kolb *3* liikuma paremalt vasakule ning see tihendab vormisegu silindrilises suudmes *4*. Kärnis ventilatsioonikanali saamiseks kinnitatakse kolvi külge nõel *5*. Segu puistatakse masinasse mööda renni *6*. Kolvi poolt suudmest väljapressitav valmis kärn langeb renni *8*. Suudme ava ja kolb võivad olla ümmargused, neljakandilised, ovaalsed jne. Seepärast tehakse kolb ja suue vahetatavad.

Keskmise suurusega kärnide vormimiseks kasutatakse kõige rohkem käsivormimismasinat 283 (joon. 140). Sellel on laud *1*, mis võib pöörduda ümber horisontaalse telje *2*. Lauale asetatakse kärnkast. Laua ja kärnkasti tasakaalustavad vedrud *4* ja vasturaskus *5*.

Kasti koos seguga raputatakse käepideme *6* abil, lüües lauda vastu masina alust. Segu pealmine kiht tambitakse kinni käsitsi. Seejärel kinnitatakse kastile tasane plaat ning pööratakse lauda ja kasti 180° ümber telje *2*. Tõstehoova *7* abil tõstetakse laud *3* üles nii kõrgele, et tema liistud puutuvad kokku kasti külge kinnitatud plaadiga. Laua liistud kinnitatakse plaadi külge, pannakse vibraator tööle ja lastakse laud *3* aeglaselt alla. Kärn langeb kastist plaadile ja jääb sellele.

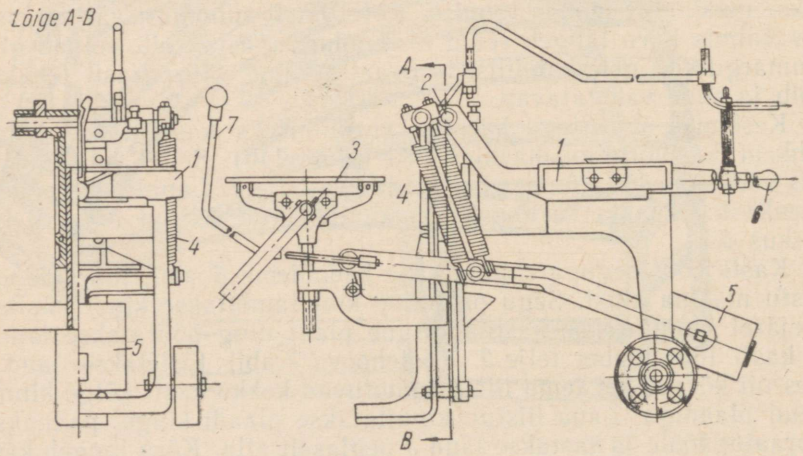


Joon. 139. Suulisega kärnimasin:

1 — käsi-hooratas; *2* — vänt; *3* — vahetatav kolb; *4* — vahetatav suuline; *5* — nõel ventilatsioonikanali sissetorkamiseks; *6* — kärnisegu etteanderaam; *7* — segisti; *8* — valmiskärnide vastuvõturenn.

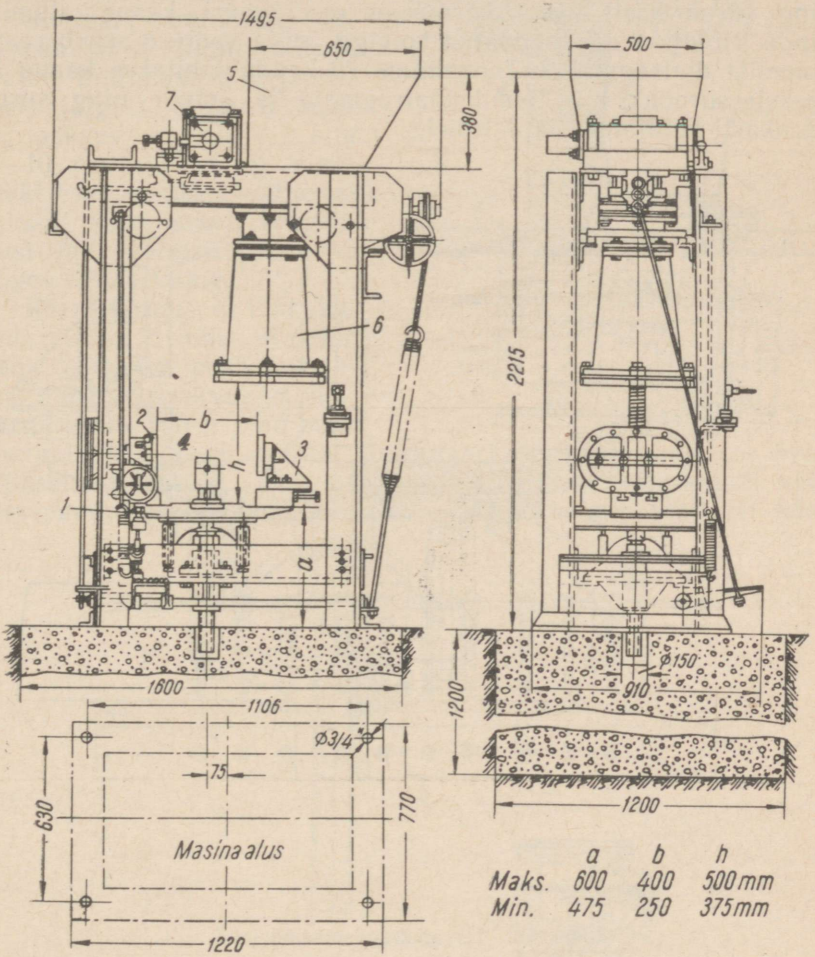
Kast koos lauaga pööratakse esialgsesse asendisse, kärn aga antakse kuivatisse.

Masin 283 on meie auto- ja traktoritehastes laialt levinud, kus sellel vormitakse kärne kastidega 500×360×200 mm. Masin annab tunnis 18—30 kärni. Masina kaal on 300 kg.



Joon. 140. Raputusmasin.

Suuremate kärnide vormimiseks saab kohandada igat tihvttõstjaga raputusmasinat, kinnitades selle lauale mudeliplaadi asemel kärnkasti.

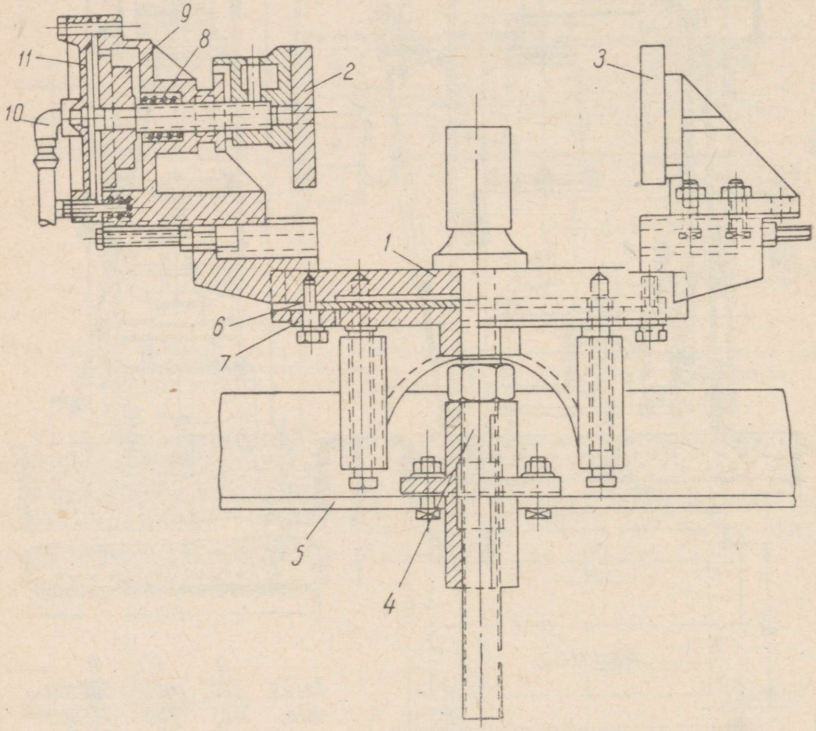


Joon. 141. Liivapuhumismasin.

Kõrge tootlikkusega liivapuhumismasinatel C-7, mida laseb välja teḥas «Krasnaja Presnja» (joon. 141), on needitud alusraam. Kärnkast asetatakse lauale *1* (joon. 142) ning kinnitatakse hoidjatega *2* ja *3*. Kärnkasti ülemises pinnas on auk kärnisegu sissepuhumiseks. Auk tsentreeritakse toe abil täpselt masina keskteljega.

Laud *1* ning hoidjad *2* ja *3* võivad liikuda üksteisest kuni 400 mm kaugusele olenevalt kärnkastide suurusest. Masina laud

seisab sambal *4*, mis on keeratud raami nurkraudade *5* külge poltidega kinnitatud puksisse (joon. 142). Laua ülemise ja alumise osa (*6* ja *7*) vahele surutud kummidiafragma jätab ülemise osa alla väikese kambri. Õhu sisselaskmisel ülemine osa veidi tõuseb ning surub kasti vastu kärnisegu reservuaari kaane alumist pinda. Hoidja *2* on ühendatud kolviga, mida vedru *8* surub vastu kummist diafragmat *9*. Torujuhtme *10* kaudu juhitakse kaane *11* keskele suruõhk, mis toimib diafragmale ja kolvile ning surub kärnkasti hoidjate *2* ja *3* vahele.



Joon. 142. Liivapuhumismasina laud.

Kärnisegu puistatakse reservuaari *6* läbi kolu *5* (joon. 141). Pärast kärnkasti asetamist lauale nihutatakse reservuaar mööda kandetala vasakule. Reservuaari ülemine ava suletakse, alumine aga seatakse kohastikku kärnkasti avaga ja masina keskteljega. Seejuures reservuaari ülemine ava satub õhujaotuskambri *7* alla, millest 5—6 atü rõhu all antav õhk viib segu kärnkasti ning tihendab selle.

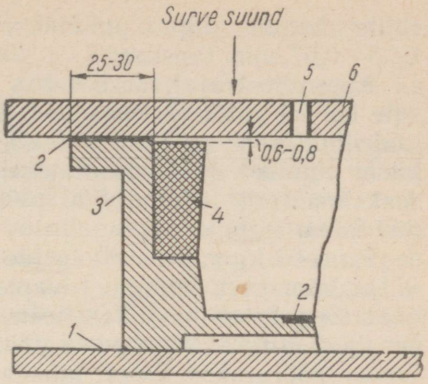
Kärnkasti seintes on ette nähtud avad õhu väljapääsuks.

C-7 tüüpi masina tootlikkus on 200—300 kärni tunnis (liivaõli või sulfiitsegust kärnid). Savisegud pole liivapuhumismasinates

kasutamiseks kõlblikud, sest segu tihendub juba reservuaaris *6* eneses ja ummistab selle kiiresti.

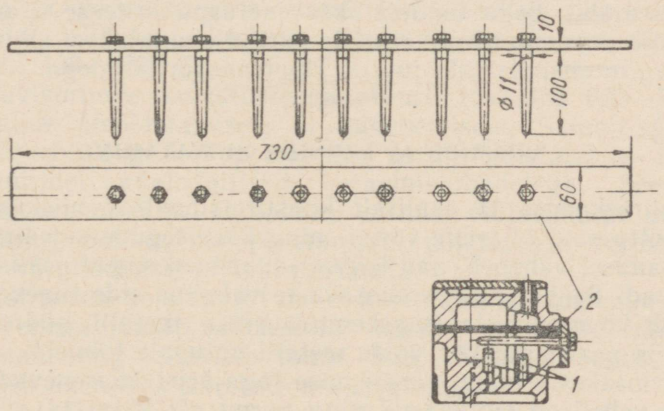
Suurema tootlikkuse saamiseks tuleb kinni pidada teatud tingimustest [1], ja nimelt: jälgida, et kärni seinte paksus ei oleks alla 8—10 mm ja et ei oleks pikki ja peenikesi väljaulatuvaid kärnmarke, kõrgendusi jne. Karkassid peavad olema lihtsa kujuga.

Kärni kõrgus ei tohi ületada 100—120 mm. Kastide konstruktsioon peab vastama masina reservuaari ümbermõõdule. Kärni pind horisontaallõikes peab olema reservuaari õõnsuse pindalast veidi väiksem. Kärnkast (joon. 143) peab sisaldama võimalikult vähe sissepandavaid osi jms. Osa *4* surveplaadi poolne pind on kasti



Joon. 143. Liivapuhumismasina kärnkast:

1 — masina laud; *2* — vahelehed; *3* — kärnkast; *4* — puks; *5* — puhumisava; *6* — puhumisplaat.



Joon. 144. Nõelplaat ja kärnkast:

1 — tihvtid karkasside fikseerimiseks; *2* — ventilatsioonikanalite plaat.

eralduspinnast 0,6—0,8 mm madalamal, et vältida selle kinnikiilumist surveplaadi poolt. Kasti surveplaadiga kokkupuutuvate äärte laius peab olema 25—30 mm. Ventilatsioonikanalite moodustamiseks kasutatakse nõelplaati (joon. 144). Nõelplaat monteeritakse kärnkasti külge ja see võib samaaegselt olla abinõuks,

[1] «Литейное производство», 1951, nr. 5, lk. 6—9.

mille kaudu segu puhutakse kärnkasti. Plaat sobitatakse 0,05—0,07 mm täpsusega.

Käesoleval ajal laseb tehas «Krasnaja Presnja» ülalkirjeldatute kõrval välja vertikaalseid liivapuhumismasinaid 285 (kastide maksimaalsed mõõted 250×150×200 mm) tootlikkusega 300 kärni tunnis [1] ja horisontaalseid puhumismasinaid 286 (kastide maksimaalsed mõõted 500×300×310 mm) tootlikkusega 300—350 kärni tunnis.

Kuni 60 kg raskuste kärnide jaoks valmistatakse pööratava ja väljatõmmatava lauaga liivapuhumismasinaid 288. Pärast täitmist tõugatakse kastid rullteele, pannakse seal neile peale kuivatusplaat ning antakse edasi pöördlauale, kus nad koos plaadiga ümber pööratakse. Edasi lähevad kastid väljatõmbepingile, võetakse seal neist kärnid välja ja suunatakse ripptransportööriga kuivatamisele. Masinal saab valmistada 650—900 mm pikkusi, 450 mm laiusi ja 200—300 mm kõrgusi kärne. Õhukulu ühele puhumisele (lasule) on 0,35 mm^3. Tootlikkus on 150 kärni tunnis. Suruõhu rõhk on 6—7 atü. Punkri mahutavus 1000 kg. Masina kaal 550 kg, pöördpingi kaal 2950 kg, väljatõmbepingi kaal 820 kg.

Käsitsivormimiseks peavad vormimisjaoskonnas olema üles seatud töölauad, mille juurde on ehitatud tee kärnisegu etteandmiseks ja valmis kärnide transporteerimiseks kuivatusahju.

Masstootmisega valutsehhides toimub kärnide valmistamine masinate abil. Segu toimetatakse jaotuspunkritesse transportööriga või pneumaatiliselt. Valmis kärnid suunatakse ahjudesse ja sealt vormimismasinate juurde ripptransportööridega.

VORMIDE JA KÄRNIDE KUIVATAMINE

Hügroskoopse ja osaliselt konstitutsioonilise niiskuse kaotamise tõttu savi ja teiste vormi- ning kärnisegude sideainete maht kuivatamisel väheneb, nad kuivavad; mõned segud osaliselt oksüdeeruvad. Seejuures kvartsiosakeste vaheline side tugevneb, kärn muutub kõvemaks, talub paremini vedela metalli hüdrostaatilist rõhku ja peab paremini vastu metalli uhtuvale toimele.

Saviosakeste mahu vähenemise tagajärjel suurenevad kvartsiterade vahelised läbipääsud ning vormi või kärni ja sulametalli kokkupuutumisel tekkivate gaaside ja aurude ärajuhtimine paraneb, s. o. vormi gaasiläbitavus suureneb, segu gaasitekitavus aga väheneb.

Kuivatusprotsessiga on seotud kütuse või elektrienergia kulu, vormide või kärnide transporteerimine kuivatusahju ja sealt vormide kokkupanemiskohale, tootmispinna vähenemine (osa pinnast läheb kuivatusahjude ja kuivatamist ootavate ning pärast kuivatamist jahtuvate vormide alla). Seepärast kasutatakse kui-

[1] «Литейное производство», 1954, nr. 7, lk. 12—13.

vatamist ainult piiratud juhtudel, näiteks massiivsete valandite ja keerulise kujuga vormide korral.

Et eemaldada niiskus mitte ainult vormi pinnalt, vaid ka sügavamatest kihtidest, peab kuivatamine kestma sellise aja, mille jooksul sisekihtide niiskus jõuab difundeeruda aurumispinnale. Niiskuse difundeerumise kiirus vormi sees on aga siiani teadmata ning kuivatusaeg määratakse kindlaks katselisel teel.

Mida suurem on kuivatatava vormi paksus, mida massiivsem on vorm, seda pikem on kuivatusaeg. Kuivatusprotsess kulgeb seda kiiremini ja kvaliteetsemalt, mida paremini on vormid asetatud kuivatusahju (mida täielikumalt neid ümbritsevad kuumad gaasid) ning mida ühtlasem on kuumade gaaside voo jaotus ahju tööruumi ristlõikes.

Vormid, mille vormkastidel on külgavad, kuivavad kiiremini, sest auramispind on suurem. Seepärast tehakse ka kärnide kuivatusplaatidesse avad või kujundatakse need võretaolise konstruktsiooniga.

Tihendatud liiv-savi massi kuivatamisel kaotavad kaoliniidi ja montmorilloniidikristallid imendunud niiskuse ja kõvenevad, seos kvartsiosakeste vahel tugevneb. Mehaaniliselt segatud niiskusliig eraldub 100—110° C juures. Montmorilloniidikristallid kaotavad kolloidse niiskuse 150—200° C, kristallvee aga 900—1100° C juures.

Malmi ja värvilise valu vorme kuivatatakse temperatuuril 300—350° C, väikese ja keskmise terasvalu vorme aga temperatuuril kuni 400—450° C.

Liiv-savivormide kuivatustemperatuuri tõstmine 600—700° C viib vormide ülepõletamisele ja pudenemisele. Šamott-savi ja šamott-liiv-savi segudest poolalalisi vorme põletatakse nendel temperatuuridel analoogiliselt keraamikatoodetega. Seejuures tõuseb tugevus niipalju, et valandi vormist väljalöömine muutub väga raskeks. Sellistel temperatuuridel põletatakse vorme, mis valandite väljalöömisel ei tohi puruneda.

Tavalisi vorme pole mingit mõtet kuivatada põletustemperatuuril, sest sellega tõuseb kütusekulu, kasvab valandite väljalöömise töömaht ning suureneb tolmu hulk töötanud segus, mida sageli tuleb uuendada värskete materjalidega.

Vormide läbikuivatamise aeg on pärivõrdeline tihendatud massi paksusega. Vormi paksuse iga 25 mm kohta tuleb 3—4 tundi ahjus hoidmist kõrgeimal temperatuuril. Šamottmassist valmistatud poolalalisi vorme põletatakse 700° C juures. Vormide hoidmise kestus sellel temperatuuril sõltub põletatava segu paksusest ja kõigub 2—6 tunni piirides, vastavalt reeglile: üks tund vormi paksuse 150 mm kohta.

Vormid, mida kuivatatakse tavalistes väljatõmmatava vankriga kamberahjudes, tuleb gaasidele parema juurdepääsu võimaldamiseks laduda 100—150 mm vahedega. Alla laotakse suuremad, üles väiksemad vormid.

Eriti suuri vorme kuivatatakse individuaalselt. Kuivamise käiku kontrollitakse kõige suurema vormi sisse asetatavate termopaaridega. Niipea, kui püromeeter näitab vormi keskosas etteantud temperatuuri, katkestatakse kütmine ja vormid jäetakse tunniks ajaks avatud siibriga ahju jahtuma. Siis tõmmatakse vanker ahjust välja ja lastakse vormidel vabas õhus jahtuda 60—80° C. Pärast seda puhutakse nad üle suruõhuga või puhastatakse pehmete harjadega väävlitsisaldavast söe- või antratsiidiühendite kirmest ning värvitakse [1].

Kuivvormide temperatuuri langemisel alla 50° C või vormide teistkordseks värvimiseks kuumutatakse neid uuesti ahjus 180—250° C ning jäetakse siis õhu kätte seisma, et värvida 60—80° C juures. Külmade vormide värvimine põhjustab valandites gaasitühimikke, liiga kuumalt värvitud vormid aga annavad ebarahuldava pinnaga valandi.

Värnits kui kärnimassi sideaine eraldab kuivatamisel pisaraid tekitavat gaasi akroleiini ning muutub pärast oksüdeerumist viskoosseks ja tugevaks massiks — linoksiiniks, mis seob kvartsiterad omavahel.

Kuivatusprotsessi kontrollitakse püromeetritega. Kontrollimise eesmärgiks on ära hoida märgade kärnide liiga kiiret kuumenemist, mille ajal niiskuse aurumine ja õli oksüdeerumine toimub kärni pinnalt. Kärni kesktsooni niiskus ei jõua difundeeruda ja võib purustada juba tekkinud kõva linoksiinikooriku. Kärn puruneb.

Liiga kõrge temperatuuri korral (üle 250° C) linoksiin koksistub ja põleb ära. Kärn kaotab tugevuse ja pudeneb koost. Hapniku vaesus ahjugaasides kärnide kuivatamise ajal võib mitteküllaldase tõmbe korral esile kutsuda kogunenud gaaside plahvatuse. Seepärast peab ahju ülaosas olema iseavanev luuk, mis töötades kaitseklapina väldib ahju müürituse purunemist plahvatuse korral.

Sulfiitleelise lahusega valmistatud kärne kuivatatakse 150° C juures. Kuumutamisel 175° C kärnide tugevus lenduvate vaikude sublimeerumise tagajärjel langeb. Sulfiitpraagaga valmistatud kärne kuivatatakse temperatuuril mitte üle 160—180° C.

Raskete ja viskoossete vaikainete jäägid tõstavad kärnide tugevust, niiskuse ja lenduvate ainete väljaauramine kuivatamisel aga gaasiläbitavust. Puusiirupiga (okaspuidu saagmete töötlemise jääk) valmistatud kärne kuivatatakse 170—180° C juures.

Jahu käesoleval ajal sideainena peaaegu ei kasutata, välja arvatud veskitest korjatud ja kivitolmu sisaldavad pühkmed. Jahu segatakse kuuma, kuid mitte keeva vette. 70—90° C juures tekib tärklisekliister, mis seob saviga segatud kvartsiterasid. Jahuga valmistatud kärnidel on suurem märgtugevus kui õli- või sulfiitkärnidel. Kliister annab veega kolloidlahuse, mis tungib läbi

[1] П. А. Гончаров. Производство литья на марганцовистой стали. Металлургиздат, 1940, lk. 85.

kvartsiterasid ümbritsevast savikihist. Selliseid kärne ei tohi kuivatada aeglaselt, sest tärklisekliistri kuivamine neutraliseerib kolloidlahuse siduva toime.

Temperatuuri järsul tõstmisel kuni 160—190° C kolloidmass nagu küpseks ja kärnid omandavad vajaliku tugevuse. Gaasiläbitavus tõuseb niiskuse lendumise tagajärjel. 220° C juures kliister põleb ära ja kärnid muutuvad pudedaks.

Tärklise soojendamisel tekib vees kergesti lahustuv dekstriin. 150° C juures dekstriinilahus kuivab ja muudab kärnimassi tugevaks. 230° C juures kärnid lagunevad. Siirupi liimaine, sahharoos sulab 150—175° C juures ja muutub karamelliks. Siirupikärnide kuivatustemperatuuri tõstmine kuni 220° C alandab järsult nende tugevust.

Kampol (tahke okaspuuvaik) sulab 175° C, turba-, puusõe ja naftapigi (naftabituumen) 200—220° C juures, ent kärnide jahtumisel nad tarduvad ja annavad kärnidele nõutava tugevuse. Pehmenemise ja sulamise ajal esineb lenduvate ainete kadu. Temperatuuri tõstmine üle näidatud piiride viib kärnide tugevuse vähenemisele.

Kuivatamise kestuse määrab vormi või kärni läbisoojenemise ja niiskuse väljadifundeerumise aeg. Mida suuremad on vormkastide gabariidid ja vormide või kärnide paksus, seda pikem on kuivatamise aeg. Allpool on toodud prof. L. I. Fantalovi[1] andmete kohaselt koostatud kuivatusaja tabel (tabel 29) sõltuvalt vormkastide gabariitidest.

Tabel 29

Vormkastide gabariitmõõted ja kuivatusaeg

Kuivatusrežiim	Vormkastide mõõted			
	Väikesed	Keskmised	Suured	Väga suured
	500×300÷÷1200×400 mm	1000×400÷÷3000×500 mm	3000×500÷÷5000×500 mm	3000×500÷÷7000×700 mm
Kuivatuse üldkestus tundides	6—8	8—12	16—24	24—36
Sealhulgas (tundides):				
Vormide laadimine vankrile	0,5	1—1,5	1,5—2	1,5—2
Kuumutamine ülemise temperatuurini	2—3	3—4	5—7	7—10
Hoidmine	3—4	4—5	8—13	14—22
Väljalaadimine	0,5	1—1,5	1,5—2	1,5—2
Teistkordne kuivatamine	0,5	1—1,5	1,5—2	2—4

[1] Л. И. Фанталов. Основы проектирования литейных цехов, Машгиз, 1954.

Vormide kuivatamise intensiivistamine nende kuivatis oleku aja lühendamise arvel ei ole võimalik, sest kiirel kuumutamisel vormid pragunevad. Teiste orgaaniliste sideainete (peale savi) olemasolu vormisegus määrab madalaima kuivatustemperatuuri, mis on iseloomulik kõige madalama kuivamistemperatuuriga sideainele. Vastasel juhul vorm või kärn põleb üle ja laguneb või pudeneb kokkupanemisel koost. Kuivamise kiirendamine osutub võimalikuks, kui vormid asetatakse kuivatusahju, mille müüritises on säilinud eelmise kuivatustsükli soojus (selleks tuleb kütteuksed ja siiber kuivatamise lõppemisel pärast vankri väljatõmbamist tihedalt sulgeda) ning kui kuivati täis- ja tühjakslaadimine toimub kiiresti.

Prof. L. I. Fantalovi poolt soovitatav malmvalu vormide kuivatamise temperatuurirežiim on toodud tabelis 30.

Tabel 30

Malmvalu vormide kuivatamise temperatuurirežiim

Kuivatusrežiim	Vormkastide gabariidid mm			
	Väikesed, kuni 1000×800	Keskmised, kuni 2000×1500	Suured, kuni 3000×3000	Väga suured, üle 3000×3000
Laadimistemperatuur °C . .	60—70	60—70	60—70	60—70
Kuivatamistemperatuur °C .	400	400	450	450
Väljalaadimistemperatuur °C	100—120	100—120	120—150	120—150
Teistkordse kuivatamise temperatuur °C	180—200	180—200	180—200	200—250
Kütuse kulu esmakordsel kuivatamisel kg/m³	5—7	6—8	8—10	10—12
Teistkordsel kuivatamisel kg/m³	0,5—1	1—2	2—3	3—4

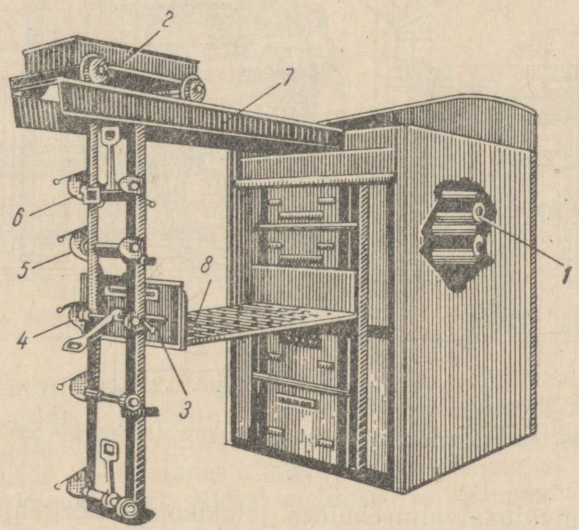
Terasvalu vormide kuivatusrežiimi määrab vajadus saada tugevamate seintega vorme, mis oleksid võimelised vastu pidama terase kõrgendatud metallostaatilisele rõhule. Terasvaluks kasutatavate savivormide kuivatustemperatuur peab olema kõrgem kui malmvalu vormidel.

Terasvalu vormide kuivatusrežiim L. I. Fantalovi andmetel on toodud tabelis 31.

Tehastes kasutatavad vormide ja kärnide kuivatid jagatakse perioodiliselt ja pidevalt töötavateks kuivatiteks. Perioodiliselt töötavates kuivatites kuivatatakse kas ainult vorme või ainult kärne või nii ühtesid kui teisi. Kärnide kuivatamiseks ehitatakse väljatõmmatavate riiulitega kapid (joon. 145). Riiulid veerevad rullidel *1* mööda ahjus olevaid juhtpindu ja tõmmatakse välja karprauast taladel *7* liikuva vankri *2* abil. Vankri alla on kinnitatud püstraam rakistega (*3*, *4*, *5* ja *6*) kõigi väljatõmmatavate riiu-

Terasvalu vormide kuivatusrežiim

Kuivatusrežiim	Valandite tükikaal t				
	1	1—3	3—5	5—10	10—25
	Vormi gabariidid mm				
	1500×1500	2500×2000	3000×3000	5000×3000	6000×5000
Kuivatamise kestus tundides	8—12	16—20	18—24	24—36	36—48
Sealhulgas (tundides):					
Vormide laadimine vankrile	0,1—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	1,5—2,0	2,0—2,5
Kuumutamine	3—4	5—7	6—9	8—12	10—13
Hoidmine	4—6	9—10	9—11	13—20	20—30
Väljalaadimine	0,5	1—1,5	1,5—2	1,5—2	2—2,5
Teistkordne kuivatamine	0,5	1—1,5	1,5—2	2—4	6—8
Kuivatamise temperatuur °C	400	400	500	550	600
Kütuse kulu esmakordsel kuivatamisel kg/m³	6—8	7—9	8—10	10—12	12—15
Teistkordsel kuivatamisel kg/m³	0,5—1	1—2	2—3	3—4	4—5

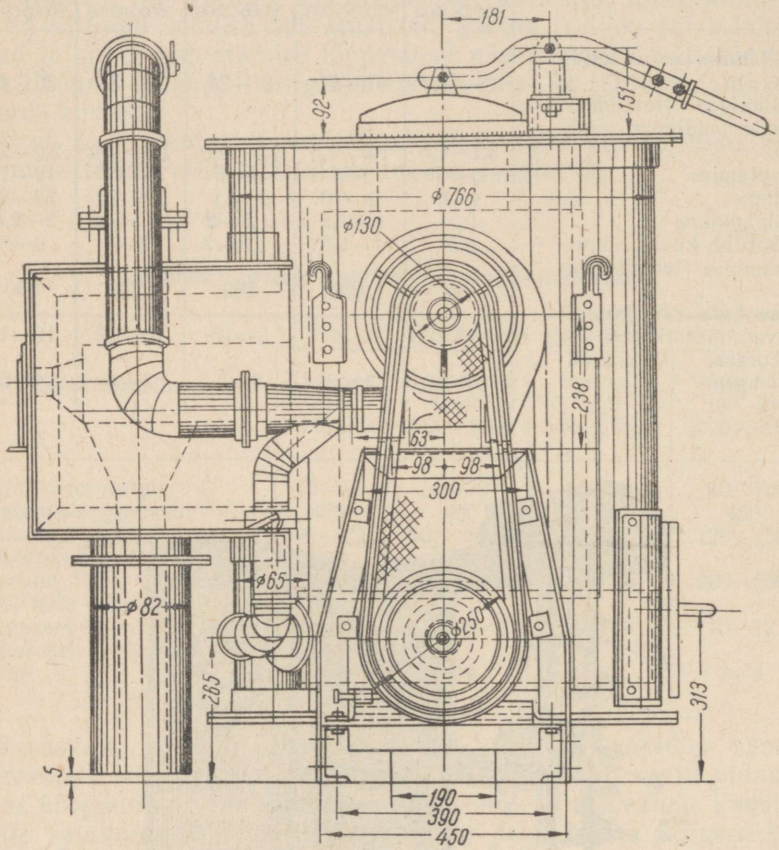


Joon. 145. Väljatõmmatavate riiulitega kuivatuskapp kärnide kuivatamiseks.

lite kinnitamiseks. Igas riiulis *8* on avad suitsugaaside läbilaskmiseks. 25—50 mm paksuste kärnide kuivatamine kapis kestab ainult 40—45 minutit. Kuumad gaasid segatakse kuivatites õhuga,

et alandada nende temperatuuri kuni 500° C ja et mitte rikkuda kärne liiga kiire kuivatamisega.

Mõnikord kuivatatakse vorme valmistamiskohal, kasutades näiteks koksi- või generaatorgaasi, mis juhitakse kohale kummivooliku abil. Vooliku otsa kinnitatakse omavahel kokku keevitatud raudtorudest otsik. Sellist kuivatamist kasutatakse laialdaselt

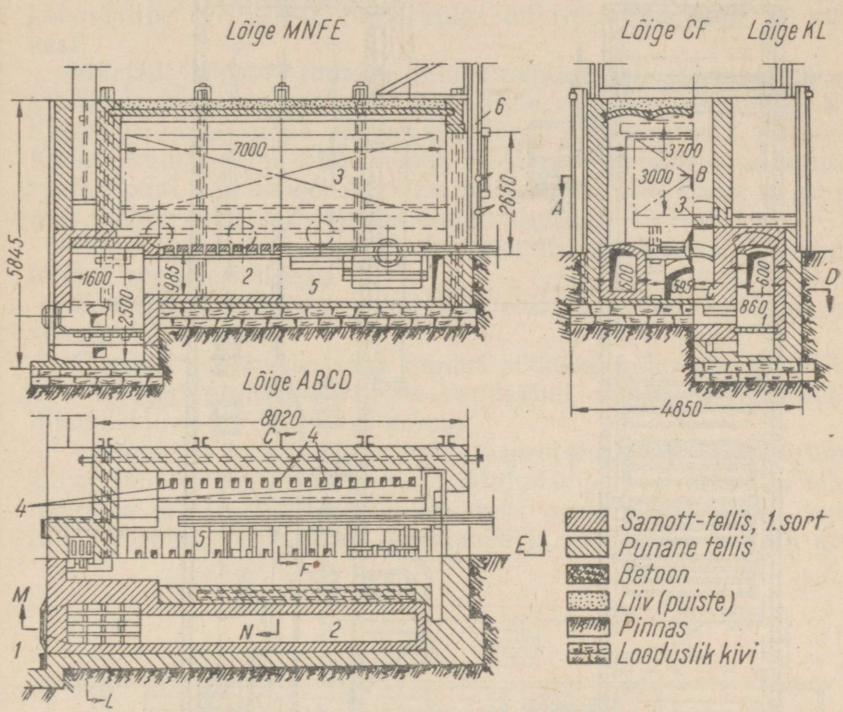


Joon. 146. Liikuv kuivatusahi vormide kuivatamiseks vormimiskohal.

suurtes individuaalvalutsehhides (šlakikopad, kõrgahju laadimis- (täitmis-) koonused jms.). Vorme kuivatatakse pinnalt 50—75 mm sügavuselt.

Suured vormid kuivatatakse kohapeal ins. I. J. Lemlehh'i konstrueeritud teisaldatava kuivatusahju abil (joon. 146). Kui vorm on kokku pandud, asetatakse ahi sildkraana abil ülemisele vormkastile nii, et kuumade gaaside väljumisava asuks püstkanali kohal. Gaasid läbivad vormi õõnsuse ja väljuvad tõusu- või valu-

pea kaudu tsehhi atmosfääri. Kolle on ehitatud tulekindlatest tellistest ning suletud kaanega. Põlemiseks tarvilik õhk võetakse läbi imitoru ning surutakse ventilaatori poolt koldesse, kus ta tekitab positiivse rõhu. Külma õhuga segunevad põlemisgaasid suunduvad segunemiskambrisse, läbivad järelpõlemiskambri ja sisenevad läbi ava vormi. Kütuse põlemisel tekkiv tuhk langeb kaanega suletavasse tuhakasti, kust ta aeg-ajalt eemaldatakse.



Joon. 147. Väljatõmmatava vankriga kamberahi vormide kuivatamiseks: *1* — kolle; *2* — lõõr; *3* — töökamber; *4* ja *5* — pikilõõrid; *6* — uks.

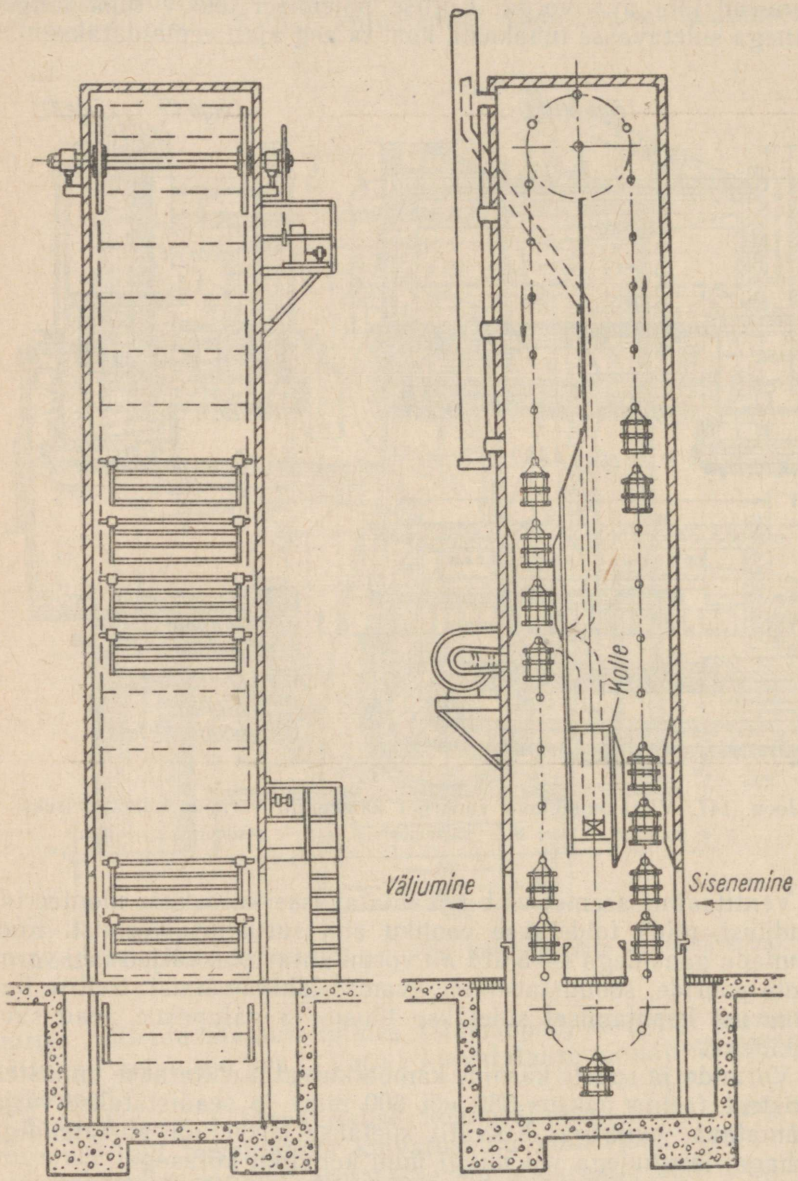
Ventilaatori asemel võib teisaldatavasse kuivatisse monteerida õhudüüsi, mida toidetakse vooliku abil suruõhusüsteemist. Koos kuumade gaasidega 4—5 atü all vormi antav õhk väljub läbi vormi seinte pooride, soodustades sügavamat läbikuivamist. Sellise kuivatusviisi kasutamisel suletakse tõusu- ja välupeade avad savikorkidega.

Vormide ja suurte kärnide kamberkuivatid ehitatakse punastest tellistest (seina paksus 380 või 500 mm) ja seadistatakse väljatõmmatava vankriga. Kuivatit köetakse koksi või antratsiidiga, turbaga, laastudega või mingi muu kohaliku kütusega.

Kamberkuivatid jagatakse konstruktsiooni järgi ühe- (tupik-) ja kahe uksega kuivatiteks. Uksed tõstetakse üles käsitsi või elekt-

rimootori abil, kasutades üle ploki tõmmatud ja vasturaskusega tasakaalustatud trossi.

Kõikide kambrite tühjendamine ja laadimine toimub suletud kambritevaheliste siibrite juures. Gaasikulu täislaadungi juures on 70 m³/min.



Joon. 148. Pidevalt töötav vertikaalahi kärnide kuivatamiseks.

Masstootmise tingimustes kasutatakse pidevalt töötavaid kuivateid mitte ainult kärnide, vaid ka vormide jaoks. Kuivatid keskmise ja väikese kaaluga kärnide kuivatamiseks ja pärast värvimist järelkuivatamiseks on auto-, traktori- ja vaguniehitustehastes leidnud laialdaselt kasutamist.

Kärnide kuivatamise püstahjul (joon. 148) on lehtterasest valmistatud kahekordne kere, mis soojustamiseks on vahelt täidetud klaasvati 100 mm paksuse kihiga. Ahjus liigub lõputu kaherealine šarniirkett, mille külge on riputatud kuni 40 riiulikest.

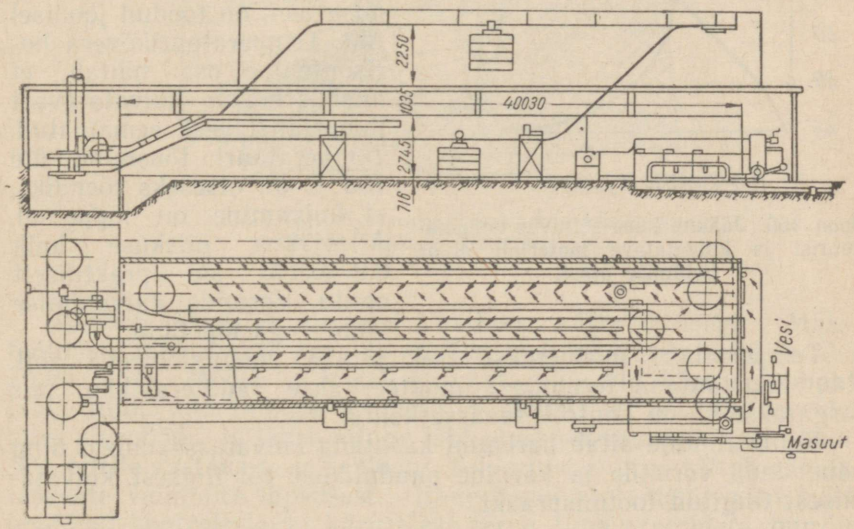
Märjad kärnid tuuakse kuivatusplaatidel sisselaadimisava juurde ja laotakse aeglaselt tõusvatele vabadele riiulitele. Riiul tõuseb ja jõuab mõne aja pärast kõrge temperatuuri piirkonda. Kärnid kuumenevad pikkamööda ja sisenevad kõrgeima temperatuuri tsooni. Liikumisel üle ülemise hammasratta kärne nagu hoitaks mõnda aega konstantses temperatuuris.

Etteantud kuivatusrežiim fikseeritakse mehhanismi liikumiskiiruse reguleerimisega.

Suurema tootlikkusega kuivatid ehitatakse horisontaalse konveieriga (joon. 149).

Üheteeline konveier teeb kambri pikkusel kolm või neli käänakut. Külgeriputatavate riiulite kandejõud on 0,5—1 t. Konveieri liikumiskiirus on 0,25—1,5 m/min.

Vormide ja kärnide õige kuivatusprotsessi kindlaksmääramine kuivatamise temperatuuri ja aja jälgimise teel on valamise tehnoloogilise protsessi möödapääsematuks osaks. Puudulikult kuivatatud vormid põhjustavad rebenemisi ja varisemisi, metalli koha-



Joon. 149. Horisontaalne konveierahi kärnide kuivatamiseks.

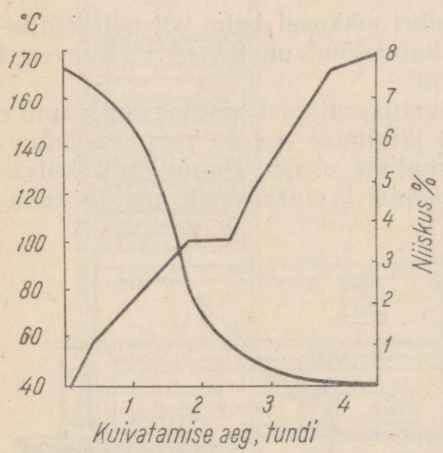
likku keemist, gaasitühimikke, liivapesasid jms. — s. o. praakvalandeid. Mõnikord ilmneb puudulikult kuivatatud vormidest tingitud praak alles mehaanikatsehhis, kui valandilt on kiht laastu maha võetud. Seda liiki praak läheb valutsehhile eriti kalliks maksma.

Vormide ülekuivatamine annab samuti kahjulikke tagajärgi, kuna nende pind pudeneb, metall risustub kõrvaliste lisanditega ja valandi pind tuleb halva välimusega.

Õeldust selgub, kuivõrd tähtis on ahju- ja toodetesisese kuivatusrežiimi õige kindlaksmääramine.

Kontrolli meetodid võivad olla kaudsed ja otsesed. Kaudne meetod seisab kuivatusruumi temperatuuri mõõtmises või vormi läbikoputamises vasara abil või läbitorkamises metallvardaga. See meetod põhjustab sageli eksimisi, sest ta ei võimalda täpselt määrata jääkniiskust.

Üks progressiivsemaid kontrollmeetodeid põhineb temperatuuri mõõtmisel mistahes kontrollitavas kohas, pidades silmas asjaolu, et temperatuur niikaua 100° C kõrgemale ei tõuse, kuni selles kohas jätkub niiskuse auramine. Temperatuur hakkab tõusma alles siis, kui kogu mehaaniliselt seotud niiskus on eemaldatud. Jääkniiskuse sõltuvus temperatuurist ja kuivatatava materjali ahjus hoidmise ajast, leituna temperatuuri vahetu mõõtmise ja jääkniiskuse kaalu määramise teel, on toodud joonisel 150. Temperatuurikõvera horisontaalne osa näitab, et niiskus ei ole kuivatatavast materjalist veel eemaldatud. Temperatuuri tõusmine üle 100° C on otseseks tõendiks, et kuivamine on lõppenud. Allesjääva niiskuse hulk 0,2—0,4% on praktiliselt ohutu. Vormide kuivatamise võib seega lõpetada.



Joon. 150. Jääkniiskuse sõltuvus temperatuurist ja kuivatatava materjali ahjus hoidmise ajast.

Temperatuuri mõõdetakse isekirjutava potentsiomeetri abil. Raud-konstantaan termopaar monteeritakse raudteravikku, mis torgatakse vormi kontrollitavasse kohta.

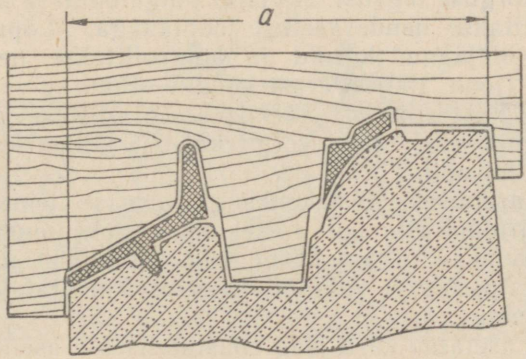
Kontrollimine aitab paremini kasutada kuivatusseadmeid ning vähendada vormide ja kärnide puudulikust või liigsest kuivatamisest tingitud tootmispraaki.

Kõigi vormiosade — poolvormide, kärnide ja valukanalite süsteemi osade — järgemööda kohaleasetamist tervikuna nimetatakse vormi kokkupanekuks.

Kärnideta lihtsad vormid pannakse kokku väga lihtsalt: pärast mõlema vormipoole järelevaatust tõstetakse ülemine vormipool alumisele. Seejärel asetatakse vormile raskus või kinnitatakse ta klambritega, et vedela metalli surve ei saaks ülemist poolvormi kohalt ära tõsta; vastasel korral tungib metall vormkastide eraldusdpinnast välja.

Kärnidega vormide kokkupanek on keerulisem ja nõuab teatud tootmisalast vilumust, mistõttu see usaldatakse kõrgema kvalifikatsiooniga vormijatele. Mida suurem ja keerulisem on vorm, seda hoolikamalt tuleb ta kokku panna.

Alumine vormkast asetatakse kohale rangelt horisontaalses asendis. Muldpõrand kokkupanemiskohal peab olema tihedaks tambitud. Siluriga lõigatakse alumise poolvormi alla pinnasesse gaaside ärajuhtimiseks kanalid. Kärne kontrollitakse enne vormi asetamist šabloonide abil, et, esiteks, mitte lõhkuda vormi, ja teiseks, mitte võimaldada praagi tekkimist ebaõigete geomeetriliste mõõdete tagajärjel.

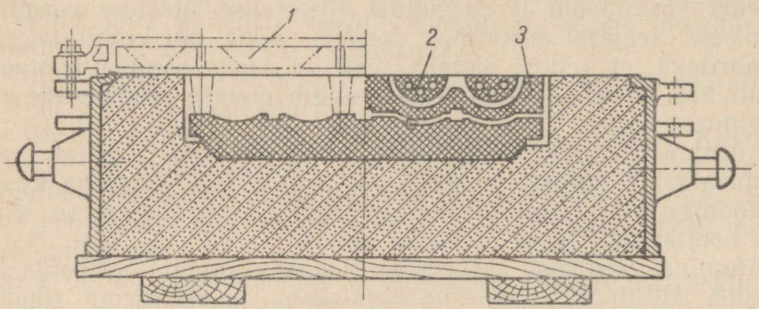


Joon. 151. Kontroll-piirišabloonid kärnide mõõdete õigsuse kontrollimiseks.

Mõõdete kõrvalekaldumisel lihvitakse kärni tellisega. Masstootmisel määratakse kärnide mõõted kontroll-piirišabloonide abil (joon. 151). Mõõde *a* loetakse lubatavaks, kui kärn ei mahu läbi miinustolerantsiga esimese šablooni, s. o. läbi *a* alumise piirmõõdu, ja läheb piluga läbi plusstolerantsiga, s. o. ülemisele piirile vastava teise šablooni. Tolerantsi suurus sõltub valmistatavate valandite täpsusest. Enne kärni asetamist vormi tuleb hoolikalt kontrollida, et kärn oleks terve, ilma pragudeta, murdunud osadeta ja et selle ventilatsioonikanalid oleksid puhastatud

nendesse sattunud rämpsust. Vigased kärnid praagitakse välja. Peale selle kontrollitakse kärni õiget asetust vormis.

Mitme kärni asetuse õigsuse kontrollimine seadešabloonide abil traktori silindriploki vormi kokkupanemisel on näidatud joonisel 152. Esimesena asetatakse vormi spetsiaalsel seadeldisel



Joon. 152. Traktori silindriploki vormi kokkupanek:
1 — šabloon; *2* ja *3* — kärnid.

parajaks lihvitud kõige alumine kärn. Šablooniga *1* kontrollitakse kärni asetuskõrguse õigsust. Seejärel paigaldatakse kärnid *2* ja *3* ning kontrollitakse nende asetust joonlauaga. Lõpuks paigutatakse kohale ülejäänud kärnid ja kontrollitakse nende asendit šablooniga *1* (joon. 153). Pärast kõikide alumisse vormkasti asetatud kärnide kontrollimist kaetakse see ülemise poolvormiga. Väikesed kärnid asetatakse vormi käsitsi, keskmised ja suured tõstemehhanismi abil.

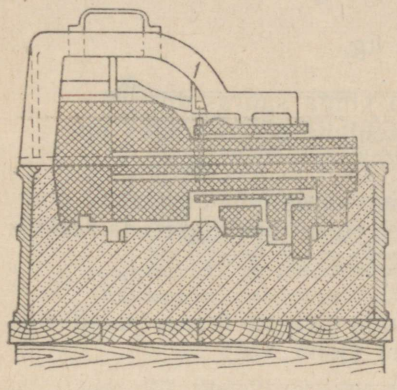
Kärni haaramiseks tõstekonksuga tehakse temasse süvend, vormi aga kärnimargi kohale tõstekonksu jaoks õõnsus. Mõlemad süvendid täidetakse pärast kärni kohaleasetamist märja vormiseguga. Vastutusrikaste valandite korral kuivatatakse täidetud kohad leeklambiga.

Kui vormi asetatud kärn jääb ebastabiilsesse asendisse ja võib oma raskuse mõjul alla vajuda või valamisel metalli pinnale kerkida, kindlustatakse ta kärnitugedega. Alumine kärnitugi *2* toetatakse vormi alumisse ossa asetatud kuivale plaadikesele *3* (joon. 154), et kärn ei suruks oma raskusega kärnituge vormi sisse. Ülemine tugi *1* varustatakse ülemist poolvormi läbiva vardaga, mille ots toetatakse. Kärnitoed peavad enne vormi asetamist olema roostest puhastatud ja liivaga üle puhutud.

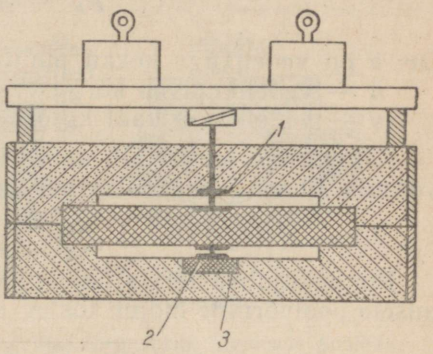
Surve all proovitavad valandid tuleb valmistada ilma kärnitugedeta, sest hüdroproovil ilmneb viimaste ümber tavaliselt läbijooks. Tuleb püüda valandit ja kärnmarke konstrueerida nii, et kärni oleks võimalik vormi paigaldada ilma igasuguste tugedeta.

Kärni kinnitamise näiteks ülemisse poolvormi ilma kärnitugesid kasutamata on joonisel 155 toodud konstruktsioon.

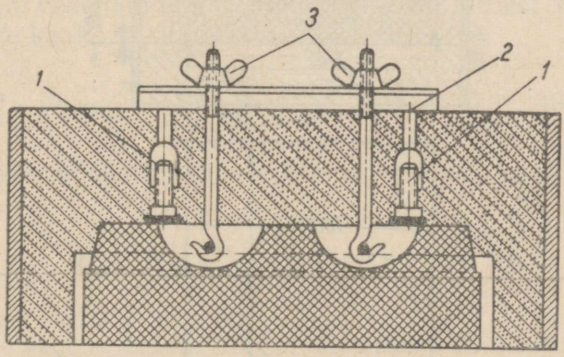
Pärast kõigi kärnide kohaleasetamist ja nende geomeetrilise asetuse õigsuse kontrollimist tuleb märgvormis kõigi kärnmarkide juurest siluriga tõmmata vormi eralduspinnale ventilatsioonikanalid (jooned), mida mööda eemalduvad aurud ja gaasid.



Joon. 153. Šabloon kärnide asetuse õigsuse kontrollimiseks.



Joon. 154. Kärnitugede asetus:
1 — ülemine kärnitugi; *2* — alumine kärnitugi; *3* — alusplaadike.



Joon. 155. Kärni kinnitamine ülemisse poolvormi poltide abil:
1 — poldid; *2* — tugiplaat; *3* — tiibmutter.

Kokkupaneku viimaseks operatsiooniks on alumise vormipoole katmine ülemisega. Katta tuleb ettevaatlikult ja täpselt, et mitte purustada sissepandud kärne. Et veenduda, kas vorm pole vertikaalpinnas kaardunud, asetatakse kärnidele enne vormi sulgemist savikuulikesed või -koonused, mille kõrgus ületab veidi valandi seinapaksust. Seejärel pannakse ülemine vormipool kohale ja tõstetakse uuesti ära. Savi muljumisjäljed näitavad valandi täpse seinapaksuse ning ülemise vormipoole asetuse õigsust alumise poole suhtes.

Nüüd jääb üle vorm lõplikult sulgeda. Enne seda puhastatakse õõnsus prügist. Vorm kinnitatakse poltide või raskuste abil.

Füüsikast on teada, et vedelik avaldab nõu seintele hüdrostaatilist rõhujõudu, mis on Pascali seaduse kohaselt võrdne vedelikusamba raskuse ja seina pindala korrutisega, s. o.

$$P_h = \gamma bh \text{ kg},$$

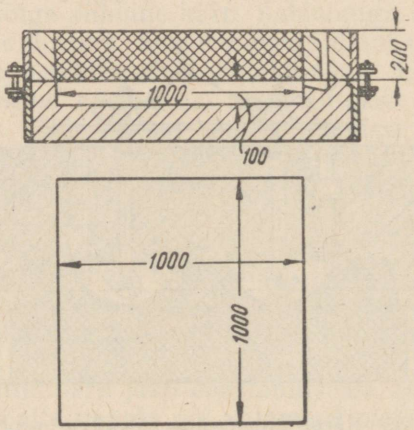
kus b on vedelikuga kokku puutuva pinna suurus dm²;
h — vedelikunivoo kõrgus vaadeldava pinna suhtes dm;
γ — vedeliku erikaal kg/dm³.

Valuvormis on metalli surve kõige ohtlikum ülemisele poolvormile. Et seda tasakaalustada, tuleb vormi peale asetada raskus:

$$G > P_h.$$

Ruudukujulise 1000×1000×100 mm suuruse tasase plaadi ülemisele poolvormile mõjub tõstev jõud (joon. 156)

$$P_h = 10 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 7 = 1400 \text{ kg}.$$



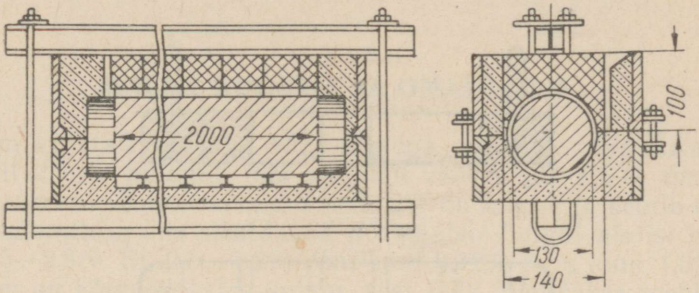
Joon. 156. Metalli rõhujõud lameda plaadi vormi ülemisele poolele.

Seejuures on vedelikusamba kõrgus 2 dm mõõdetud valukausi nivoost kuni plaadi ülemise pinnani. Vedeliku erikaal on 7 kg/dm³.

Silindrilise toru ülemisele poolvormile (joon. 157) mõjuv surve kujuneb kahe jõu liitumisest: hüdrostaatilisest rõhujõust Pascali seaduse kohaselt ning vedela metalli pinnale tõusta püüdva kärni rõhumisest (Archimedese seaduse järgi, mis kõlab: «Iga vedelikku asetatud keha kaotab oma kaalust niipalju, kui palju kaalub tema poolt välja tõrjutud vedelik».)

Rõhujõu võib antud juhul arvutada (Pascali seaduse järgi) ligikaudselt kui vedelikusamba surve silindri projektsioonile horisontaaltasapinnas

$$P_h = 1{,}4 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 7 = 196 \text{ kg}.$$



Joon. 157. Metalli rõhujõud silindrilise toru vormi ülemisele poolele.

Kärni poolt avaldatav surve võrdub sulametalli jääva kärni ruumala ja vedeliku erikaalu korrutisega, millest on lahutatud kärni enese kaal:

$$P_A = \frac{\pi \cdot 1{,}3^2}{4} \cdot 20 \cdot 7 - \frac{\pi \cdot 1{,}3^2}{4} \cdot 20 \cdot 1{,}5 = 146 \text{ kg}.$$

Ülemisele poolvormile asetatava raskuse kaal arvutatakse valemiga:

$$P = [H_{vk}\ (F_{val} + F_{kan})\gamma - G]\,k \text{ kg},$$

kus P on raskuse kaal kg;
H_{vk} — vedela metalli kõrgus ülemises vormkastis dm;
F_{val} — valandi projektsioonipind horisontaaltasapinnal dm²;
F_{kan} — valukanalite projektsioonipind horisontaaltasapinnal dm²;
γ — vedela metalli erikaal kg/dm³;
G — ülemise vormkasti kaal kg;
k — varutegur, mis arvestab valamise ajal vedeliku liikumisest tingitud dünaamilist lisarõhku.

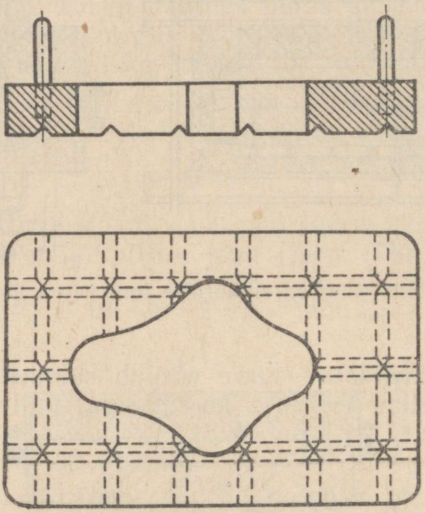
Ilma vormkastita vormimisel võetakse $k = 1{,}25$, teiste vormimisviiside puhul $k = 2 - 2{,}5$.

Normaalkoormis vormkastita vormi jaoks on näidatud joonisel 158. Alumises osas on sellel vaod ülemise vormipoole ventileerimiseks, keskel aga avaus valamiseks.

Poltidega kinnitamisel kontrollitakse nende tugevust valemiga:

$$P = nfk,$$

kus n on poltide arv;
f — ühe poldi ristlõige;
k — lubatav tõmbepinge.



Joon. 158. Masinvormimisel kasutatav normaalkoormis.

Pärast koormise asetamist vormile või vormi kinnitamist asetatakse kohale valukauss. Mõnikord tehakse vorm valu- ja tõusupeade juures kõrgemaks, et metalli nivoo nendes vastaks metalli nivoole valukausis või lehtris.

VEDELA MALMI SAAMINE

MALMI KOOSTIS JA OMADUSED

Malm kujutab enesest raua-alusega sulamit, mis sisaldab vähemalt 2% C. Sulamit, mis sisaldab vähem kui 2% C, nimetatakse teraseks. Süsinikusisalduse piir 2% on tinglik ja kehtib tavalistele sulamitele, mis sisaldavad normaalsel hulgal alalisi lisandeid: 0,5—2,8% Si, 0,5—1,0% Mn, kuni 0,12% S ja kuni 1,0% P.

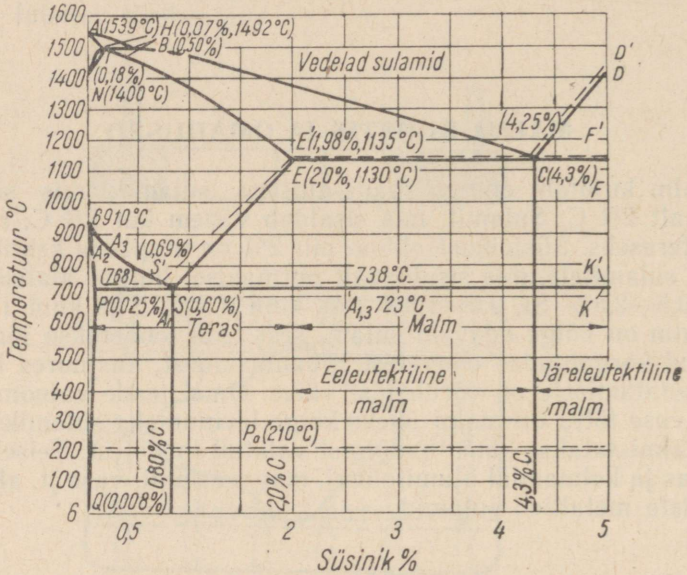
Malm on kõige odavam sulam, sest teda toodetakse mehhaniseeritud kõrgahjudes odavatest rauamaakidest, kusjuures kütusekulu sulatamisele on võrdlemisi väike. Oma heade valuomaduste ja odavuse tõttu on malm üheks kõige levinumaks sulamiks. Malmist valmistatakse kuni $^4/_5$ kõigist valatud toodetest. Teisel kohal on teras ja kolmandal alumiiniumi, magneesiumi, vase jt. alustega värviliste metallide sulamid.

KEEMILISTE ELEMENTIDE MÕJU MALMI OMADUSTELE

Peamine lisand — süsinik esineb hallmalmis grafiidina, valgemalmis aga tsementiidina Fe_3C, s. o. süsiniku ja raua keemilise ühendina, mis annab värskele murrule valge värvuse. Grafiidi ja tsementiidi üheaegne esinemine malmis annab kirju murdekoha, ning sellist malmi nimetatakse poolmalmiks ehk kirjuks malmiks (murd on pooleldi hall, pooleldi valge). Hallmalmis grafiidi ja valgemalmis tsementiidi eraldiste hulk, kuju ja suurus määravad malmvalandite paljud füüsikalis-mehaanilised ja keemilised omadused. Hallmalmis jaotavad grafiidi väikese tugevusega libled (lehekesed) metallimassi nagu üksikuteks osadeks, alandades malmi tugevust ja plastilisi omadusi. Valamistemperatuuri ja malmi koostise muutmisega või spetsiaalsete lisandite (modifikaatorite) sisseviimisega, samuti jahtumiskiiruse suurendamisega saab grafiitsete lisandite hulka, kuju ja jaotust muuta ning saada kõrgendatud tugevuse ning plastilisusega metalli, mis enam ei jää terasest maha, vaid isegi ületab seda.

Süsinik on malmis peamiseks lisandiks, millest sõltuvad valamis- ja mehaanilised omadused. Süsiniku üldkogus määrab malmi asendi raua-süsinikusulamite olekudiagrammil (joon. 159). Viimaselt nähtub, et mida rohkem sulam ligineb eutektilisele

punktile (4,3% C), seda madalam on ta sulamistemperatuur ja tardumisel kristallisatsioonitemperatuur. Mida kaugemal eutektilisest punktist, vasemal või paremal, asub sulam, seda kõrgem on kristallisatsioonitemperatuur ja seda halvem on vedelvoolavus.



Joon. 159. Raua-süsinikusulamite olekudiagramm.

Eeleutektilisi malme tuleb nende halva vedelvoolavuse tõttu valada kõrgemal temperatuuril kui eutektilist malmi. Eriti halva vedelvoolavusega on järeleutektiline malm, milles esimeseks jahtumisel eralduvaks tahkeks faasiks on grafiidiosakesed. Grafiidilehekesed ühinevad kiiresti kämbukesteks, mis ummistavad valukanalid ja malm lakkab voolamast isegi kõrgetel temperatuuridel. Järeleutektilise malmi jahutamisel ja seista laskmisel läheneb ta eutektilisele seisundile.

Kui järeleutektilist malmi hoida kõrgahjugaasidega kuumutatavas nõus (P. V. Gubtševski ahjus), siis muutub ta vedelvoolavaks. Seejuures vastab ta koostis eutektilisele, sest liigne süsinik ujub pinnale ja metallis süsinikuliiga enam ei esine.

Räni on malmis süsiniku järel teiseks tähtsaks lisandiks, mis mõjutab kristallisatsiooni käiku, struktuuri kujunemist ja valatud metalli omadusi, kuid tema toime on umbes kolm korda nõrgem kui süsinikul. Süsiniku ja räni summa väljendab malmi eutektilisuse astet ehk eutektilise süsiniku tinglikku hulka:

$$\% C + 0{,}3 \cdot \% Si = \% C_e .$$

Nii näiteks 3,8% $C_{üld}$ ja 2% Si sisaldava malmi eutektilisuse aste on:

$$3{,}8 + 0{,}3 \cdot 2{,}0 = 4{,}4\%\ C_e .$$

Sellise koostisega malm sisaldab rohkem kui 4,3% C_e ja tema ehitus vastab järeleutektilise koostisega sulamile. Malm, mis sisaldab 2,8% $C_{üld}$ ja 1,2% Si, sisaldab $2{,}8+0{,}3 \cdot 1{,}2=3{,}16\%\ C_e$ ja on eeleutektilise ehitusega.

Räni nihutab eutektilist punkti, samuti süsiniku tsementiidina ja austeniidi lahustumise joont *ES* diagrammil vasemale, tõrjudes süsinikku grafiidi või tsementiidi kujul vedelast ja tahkest lahusest välja. Seepärast on räni malmile degrafitisaatoriks. Mida rohkem on vedelas malmis räni, seda vähem jääb temasse süsinikku, sest viimane eraldub erikaalult kergete grafiidilehekestena. Kõrge ränisisaldusega malm, isegi kui seda täites on vaid 10%, alandab tugevasti valandite mehaanilisi omadusi.

Räni soodustab süsiniku eraldumist malmis grafiidina ja takistab malmi valgenemist, sest tsementiidi üldkogus väheneb.

Ränirikas malm (1,5—2,5% Si) on lõikamisega kergesti töödeldav, kuid hõõrdumisel ta kulub kiiresti. Sellel omadusel põhineb antifriktsioonmalmi saamine. See sulam, kuludes ise, kaitseb hinnalisemat detaili (terasvõlli) enneaegse kulumise eest.

Kuni 2,5%-lise sisalduse juures räni tavalises malmis iseseisvat faasi ei moodusta ja, lahustudes γ-rauas ning α-rauas, mikroskoobi all nähtav ei ole. Üle 2,5%-lise sisalduse juures annab räni karbiidi faasi ja malm valgeneb jälle.

Kui malmis on räni üle 3,5%, tekib keemiline ühend, raua silitsiid FeSi, mis on väga happekindel. Ferrosilitsiidi, mis sisaldab 11—13% Si ja 0,5—0,7% C, kasutatakse aparatuuri valmistamiseks väävelhappe jaoks. Soolhappe toimele alluvad valandid valmistatakse 11—13% ränisisaldusega malmist, millele lisatakse 4—5% Mo. Sellist sulamit nimetatakse antiklooriks.

Valgenenud malmist valandite saamiseks vähendatakse räni hulka 0,5—0,8%-ni. Valgenemise ärahoidmiseks aga suurendatakse ränisisaldust, ning seda rohkem, mida õhem on valandi ristlõige.

Kõrge ränisisalduse ja alandatud süsinikusisalduse juures osutub kõige tugevamaks eutektikumi-lähedase koostisega malm, sest grafiit eraldub selles peente eutektiliste terakestena ja mõjutab kõige soodsamalt metalli kogumassi mehaanilise tugevuse tõusu. Valamine võimalikult madalal temperatuuril ja kiire jahutamine tõstavad tugevust kõige rohkem, kuid põhjustavad plastilisuse langust. Legeerivate lisandite sisseviimisel või magneesiumiga (ka tseeriumiga) modifitseerimisel muutub malm, tänu grafiidi eraldumisele kerakujuliste terakestena, tugevuselt võrdseks legeeritud terasega. Tavalisest hallmalmist valandites on räni harva üle 3%. 2,5% C ja 5% Si sisaldavat malmi nimeta-

takse ränimalmiks, silaaliks. Sellest valmistatud valanditel on omadus korduval kuumutamisel mitte paisuda.

Räni annab hapnikuga happelise oksüüdi SiO_2, mis osaliselt läheb üle räbusse raua ja mangaani silikaatide ning teiste keerulise koostisega oksüüdide näol. Osa SiO_2 lahustub malmis, alandades selle mehaanilisi omadusi mõnikord 20—40%. Raua, räni ja teiste kergesti oksüdeeruvate lisandite oksüüde sisaldav malm annab vormi valatuna väikese mehaanilise tugevusega valandeid. Vastavate abinõude tarvituselevõtmine, mida kirjeldatakse edaspidi, võimaldab seda puudust ära hoida.

Mangaan on malmi kolmandaks alaliseks lisandiks. Tema mõju on ränile vastupidine, sest suurem osa mangaanist annab süsinikuga keemilise ühendi mangaankarbiidi Mn_3C, mis omakorda ühineb tsementiidiga, andes keerulise koostisega karbiidi $mMn_3C \cdot nFe_3C$. Mangaani ja raua kaksikkarbiid on kõva (ligikaudu 450 H_B) ja rabe ning ei ole tavaliste lõiketeradega töödeldav.

Mangaani lahustub α-rauas kuni 0,04%, γ-rauas leidub teda aga umbes 0,10—0,13%. Väävliga annab mangaan püsiva ühendi — mangaansulfiidi MnS, mis läheb üle keeruliseks sulfiidiks $mFeS \cdot nMnS$. Viimane on kõrgema sulamistemperatuuriga (1630° C) kui puhas raudsulfiid FeS (sulab 1160° C juures). Raskestisulavad sulfiidid moodustavad malmis iseseisva faasi, mis mikroskoobi all on nähtav hallide kuubikestena. Kui hallmalmi mangaanisisaldus on väike ja väävlisisaldus suur, tekib äärmiselt kahjulik raua ja väävli ühend, mis alandab tunduvalt malmi vedelvoolavust ja mehaanilisi omadusi. Saadavad valandid on valgenenud, sisaldavad gaasitühimikke ja on kõrgematel temperatuuridel rabedad (nn. punarabedus).

Öeldust järgneb, et tunduv osa mangaanist asub malmis karbiididena, osa mangaani kulub väävli neutraliseerimiseks ja tähtsusetu osa lahustub rauas. Mangaani peamine osa seisab tema võimes moodustada karbiide.

Uurides mangaanisisalduse mõju malmile, võib märgata, et valandite õhukeste ristlõigete valgenemine on malmi suurema mangaanisisalduse korral suurem. Üle 1%-lise sisalduse korral käitub mangaan antigrafitisaatorina. Üle 2% Mn sisaldav malm on valamiseks kõlbmatu.

Vähem kui 0,4% Mn sisaldav malm, kui väävlisisaldus samal ajal ületab 0,13%, on samuti madalakvaliteediline.

Mangaani positiivne osa hallmalmist valandites ilmneb tema 0,6—1,0%-lisel, kuid mitte vähem kui kolmekordsel sisaldusel, võrreldes väävliga.

Mangaan laiendab γ-raua (austeniidi) piirkonda, alandades perliitse ümberkujunemise temperatuuri. Kui mangaanisisaldus ületab 2%, ei ole malmis enam perliiti, vaid selle asemel tekib martensiit — kõva aine, mis ei allu lõikamisele. Selliste valandite lõiketöötlemine on väga raske.

Taandades raudoksüüdi, mangaan ise oksüdeerub. Mangaanoksüüd (MnO) annab räniоksüüdidega (SiO_2 ja SiO) püsiva keemilise ühendi — mangaansilikaadi, mis osaliselt läheb üle räbusse. Silikaadi jääk jääb metalli mittemetalse lisandina.

F o s f o r annab rauaga keemilise ühendi — raudfosfiidi Fe_3P. Sisaldusel alla 0,2% lahustub fosfor nii α- kui ka γ-rauas. Üle 0,2% sisalduse juures moodustab fosfor iseseisva faasi — kaksikeutektikumi Fe-γ-Fe_3P-Fe_3C-st ja tsementiidist Fe_3C (joon. 160). Kolmikeutektikum (Fe-γ-Fe_3P ja Fe_3C) esineb kõrgahju toomasmalmis, mis sisaldab ligikaudu 1,5% fosforit.



Joon. 160. Fosfiidne kaksikeutektikum malmis: (Fe-γ-Fe_3C-Fe_3P)-Fe_3C.

Olenevalt fosforisisaldusest tardub malm erinevatel temperatuuridel.

Fosforisisaldusel 0,02; 0,25; 0,88 ja 2,34% tardub malm vastavalt 1145; 1130; 1110 ja 1070° C juures.

Fosfiidse eutektikumi kergestisulavuse tõttu on fosformalmi vedelvoolavus seda suurem, mida rohkem temas on fosforit. Ligikaudu 1% P sisaldav malm täidab valuvormi nii täpselt, et teda kasutatakse kunstitoodete — mälestusmärkide, väravavõrede jne., samuti aga ka õhukeseseinaliste malmnõude ja teiste laiatarbekaupade valamiseks.

Füüsikalis-mehaanilised ja keemilised omadused	Räni	Mangaan	Väävel	Fosfor	Nikkel
Tardumise algtemperatuur	Alandab	—	—	Alandab	—
Eutektiline tardumise temperatuur	Tõstab	Alandab	—	—„—	Muudab vähe
Süsinikusisaldus eutektikumis	Alandab	—„—	—	—„—	—„—
Eutektoidse ümberkujunemise temperatuur	Tõstab	—„—	—	Muudab vähe	Alandab
Eutektoidi süsinikusisaldus	Alandab	—„—	—	Alandab	—„—
Karbiidide püsivus	—„—	Tõstab	Tõstab	Muudab vähe	—„—
Grafiidi kuju	Mõjub ebasoovitavalt	—	—	—„—	Parandab
Perliitstruktuuri peeneteralisus	—	Tõstab	—	—	Tõstab
Vedelvoolavus kindlal temperatuuril	Tõstab	—	—	Tõstab	—
Tugevus	Vähendab	Muudab vähe	—	Muudab vähe	Muudab vähe
Brinelli kõvadus	—„—	—	Tõstab	Tõstab	Tõstab

Kuni 0,3%-lise sisalduseni on fosfori kui vedelvoolavust suurendava ja gaasimullide väljumist soodustava elemendi esinemine malmis kasulik. Kuid fosforisisalduse tõusmisel üle 0,4% valandite tugevus langeb, rabedus aga tõuseb.

Alaliste lisandite kõrval esinevad malmis veel kaasuvad elemendid: vask, titaan, arseen jt. Peale selle võib malmi- ja terasemurd sisaldada niklit, kroomi, vaske, tina, antimoni jt.

Malmvalandite kvaliteedi parandamiseks või nendele eriliste omaduste andmiseks viiakse malmi legeerivaid lisandeid. Tähtsamateks neist on kroom, nikkel, vask, molübdeen, volfram, alumiinium, titaan ja vanaadium.

Ülaltoodud defitsiitsete lisanditega legeerimine võib malmvalandite maksumust mitu korda suurendada, seepärast peab legeerivate lisandite sisseviimine olema igati põhjendatud.

Legeerivate lisandite üldine mõju hallmalmist valandite füüsikalis-mehaanilistele omadustele ameerika metallurgi D. Boltoni andmetel on toodud tabelis 32.

K r o o m annab rauas pideva rea lahuseid, süsinikuga aga moodustab kolm karbiidi Cr_3C, Cr_7C_3 ja Cr_3C_2. Kõik karbiidid on suure kõvaduse ja keemilise püsivusega.

Sarnaselt räniga ahendab kroom γ-raua piirkonda, alandab

Tabel 32

füüsikalis-mehaanilistele omadustele

Kroom	Molübdeen	Alumiinium	Vanaadium	Vask	Titaan	Tina
—	—	—	—	—	—	Alandab
Tõstab	Muudab vähe	—	—	Alandab	—	—„—
Alandab	—„—	Alandab	—	—„—	—	—
Tõstab	Tõstab	Tõstab	Alandab	—„—	—	Muudab vähe
Alandab	Alandab	—„—	—„—	Tõstab	Muudab vähe	—
Tõstab	Tõstab	Alandab	Tõstab	Alandab	Alandab	Muudab vähe
—	Parandab	Muudab vähe	—	—	Parandab	—
Tõstab	Tõstab	—	—	—	—	—
Alandab	Alandab	Alandab	—	—	Tõstab	—
Tõstab	Tõstab	—	Tõstab	—	—	—
—„—	—„—	Alandab	—„—	Alandab	—	Tõstab

ledeburiidi süsinikusisaldust. 30—50%-lise kroomisisalduse juures on eutektilises malmis ainult 2,4% C. Kroomi ülekülluse korral karbiidide hulk väheneb ja sulam omandab ferriitse ehituse laialipillatud karbiiditäppidega. Sellist sulamit saab töödelda lõikamise teel.

Kroomne ferriit on niiskes atmosfääris, vees, lämmastik- ja äädikhapetes antikorrosioonsete omadustega. Teiste elementide, näiteks molübdeeni, vase või nikli, lisamine sulamisse muudab kroomi toimet malmis ja teistes raud-süsiniksulamites.

Kroomi lisatakse malmile tema korrosioonikindluse tõstmiseks. Kui karbiidide sisaldus malmis on ebasoovitav, siis kroomi sisaldus on lubamatu. Kroomi sisaldavate sulamite jäägid ja treilaastud tuleb koguda eraldi.

Kroomi lisamine suurendab hallmalmi tugevust, mis on suurim 0,25—0,40%-lisel kroomisisaldusel, seejärel aga järk-järgult langeb. See langus on seletatav metallimassi terakeste pinnale mikropragude ja karbiidide tekkimisega kahanemise ajal. Alandatud süsinikusisaldusega (2,25—2,50%) hallmalmi tugevus on kõige suurem, kui temas on 0,50% Cr.

Alljärgnevalt on toodud kroomi ligikaudne mõju hallmalmi struktuurile (Ameerika teadlaste andmetel).

Hallmalmi struktuur	Kroomi-sisaldus
Ferriit ja jämedad grafiidilehekesed	0,0
Perliit, ferriiti on vähem, grafiidilehekesed on väiksemad	0,3
Perliit ja väikesed grafiidilehekesed	0,6
Perliit ja peened karbiidid, grafiit väikeste osakestena	1,0
Grafiiti ei ole	3,0
Väikesed karbiidiosakesed	10,0—30,0

Malmi modifitseerimine silikokaltsiumi või ferrosiliitsiumiga (ränirauaga) aitab kaasa 30—40 mm seinapaksusega valandites halli murde saamisele isegi 1,5% Cr sisalduse juures, kui malmis seejuures on 3,0% Si.

Kroom alandab malmi vedelvoolavust ja tingib valuvormide valamistemperatuuri tõstmist.

3—15% Cr sisaldavat malmi ei kasutata. 30% Cr sisaldav väikese süsinikusisaldusega malm on väävligaaside atmosfääris korrosioonikindel, «kasvamiskindel» ja kulumiskindel (kõvadusel 250—350 H_B).

Kroomi lisatakse malmile väikese süsinikusisaldusega kergestisulavate ferrokroomidena XpO0, XpO ja Xpl, s. o. kasutatakse kõige kallimaid ferrokroome. Vastasel korral ferrokroom ei sula ja läheb üle räbusse. Vagrankatäitesse kroomi lisada ei ole soovitav, sest ta «põleb» tugevasti ära ja on kallis. Ferrokroomi lisamist malmikoppa lubatakse ainult pärast tema eelsoojendamist 1100—1200° C.

Praktika näitab, et ainult kroomi lisamine legeeriva elemendina valge- ja hallmalmile ei ole nii kasulik kui kroomi kasutamine koos nikli, vase ja teiste elementidega.

N i k k e l moodustab rauaga pideva rea tahkeid lahuseid. Nikkel soodustab malmi grafitiseerumist ja alandab γ-raua α-rauaks muutumise temperatuuri. Malmis esineb ta lahusena ja mikroskoobi all nähtavaid struktuurselt vabu moodustisi ei anna. Nikli 4,5%-lise sisalduse juures muutub malm martensiitseks, 16% juures mittemagnetiliseks.

Malmile lisatakse niklit 0,5—2%. Seejuures muutub metall sorbiitseks ja grafiidiosakesed väikesteks. Malm lakkab olemast tundlik valgenemisele väikestes ristlõigetes, kuigi nikli grafitiseeriv toime on räni omast ligikaudu kaks korda nõrgem. Metall muutub nikli lisamisel tihedamaks. Nikli peamine mõju seisab tema võimes nii antud valandi õhukestes kui ka massiivsetes lõigetes anda homogeenset struktuuri.

Nikli sisaldusel üle 12% tekib malmis palju austeniiti, 20% sisalduse juures muutub aga metallimass puhtausteniitseks. Metall ei tõmbu enam magnetiga ja on kõrge korrosioonikindlusega.

Osa niklit võib asendada vasega. Kõrge niklisisaldusega sulamid — näiteks 13—16% Ni, 4—5% Cu, 1,5—2% Cr ja 2,0—2,7% C — on lõikamisega hästi töödeldavad. Kuid ehe nikkel on malmvalandite tootmiseks liiga kallis. Seepärast viiakse ta sulamisse looduslikult legeeritud kroomnikkel-lisandimalmi näol, mida sulatatakse kroomi, niklit ja veidi titaani sisaldavast rauamaagist.

Tuntud on looduslikult legeeritud maakide Halilovo leiukoht Lõuna-Uraalis. Kroom koos nikliga annab malmvalanditele homogeensema struktuuri kui kumbki neist üksikult.

Peale selle tõstab nikkel üksikult malmi tugevust tühisel määral, kuid lisades koos nikliga mitmesuguses proportsioonis kroomi, võime saada vajaliku tugevusega metalli. Meil õnnestus 2,93% C, 2,98% Si, 2,15% Ni, 0,98% Cr sisaldava malmi tõmbetugevuseks (proovikeha läbimõõt 30 mm) saada 57 kg/mm² ja paindetugevuseks 75 kg/mm², kusjuures suhteline pikenemine oli 2,5% ja Brinelli kõvadus 255 (pärast 0,5% silikokaltsiumi lisamist koppa). 20—30 mm seinapaksusega valandites valgenemist ei esinenud.

Molübdeen sulab puhtal kujul 2620° C juures, süsinikuga moodustab karbiidi Mo_2C_3, rauaga aga annab kaksikkarbiidi $mFe_3C \cdot nMo_2C_3$. γ-rauas lahustub molübdeeni kaaluliselt kuni 6%. Malmis esineb molübdeen süsiniku tahke lahusena molübdeenis, eutektikumina raud-süsinik-molübdeen ja molübdeenkarbiidina Mo_2C. Kuni 2%-lises koguses molübdeen grafitiseerumist ei takista.

Valgenenud pinnaga malmvalandites vähendab molübdeen tunduvalt kirju malmi üleminekutsooni ja tõstab valgenenud kihi kõvadust. Grafiidilehekesed hallmalmi kihis muutuvad väikseimateks. Perliit muutub sorbiitseks. Malmi tugevuse tõus olenevalt molübdeenisisaldusest on toodud tabelis 33.

Tabel 33

Malmvalandite omadused olenevalt molübdeeni lisamise määrast
(välismaistel andmetel)

Tugevus kg/mm²	0,5 % Mo	1,5 % Mo		
		Silindriline malm	Keskmise seinapaksusega valandid	Õhukeseseinalised valandid
Tõmbetugevus σ_b . . .	+60	+25*	+67	+75
Paindetugevus σ_p . . .	+35	+9*	+57	+75
Survetugevus σ_s . .	+30	+22*	—	+100

* Silindrilisel malmil esineb tugevuse langus

Nagu nikkel ja kroom suurendab ka molübdeen hallmalmist valandite kõvadust, halvendab lõiketöödeldavust, tõstab tugevust kõrgetel temperatuuridel (kuumustugevust) — 350—400° C.

Korduval kuumutamisel ja jahutamisel malmi «kasvamist» ei esine ja sellist malmi kasutatakse lõõmutuspottide valmistamiseks. 2% Mo ja 2% Ni sisaldav malm on nõelja struktuuriga (beiniit), kõrge tugevuse ja plastilisusega.

Molübdeeni koos kroomi ja nikliga kasutatakse poolkõvade malmvaltside ja valgenenud pinnaga valtside valmistamisel.

Vaske leidub vähesel hulgal mõnedes Uraali kõrgahjumalmides, kuid ka malmi- ja terasemurrus. Malmis, mis sisaldab 3,5% Cu, võib leida mikroskoobi all nähtavaid struktuurselt vabu vase kerakesi. Austeniitmalmis asendab vask osaliselt niklit ja teda lahustub γ-rauas ilma väljasadestumata kuni 7%, mis võimaldab saada austeniitstruktuuri väiksema niklihulga juures. Väikestes kogustes soodustab vask malmi grafitiseerimist ning tõstab selle korrosioonikindlust niiskes atmosfääris ja magedas vees. Fosforiga annab vask vaskfosfiidi Cu_3P, väävliga — vasksulfiidi Cu_2S.

Titaan moodustab malmis lahustumatuid oksüüde, karbiide ja nitriide ning toimib malmile kui tugev oksüdeerija ja nõrk grafitisaator. Sidudes lämmastikku ja hapnikku, teeb ta malmi tihedaks, suurendades selle erikaalu kuni 7,35—7,40 g/cm³. Titaani lisatakse malmi lisandimalmina, mida nimetatakse «karbotitaaliks».

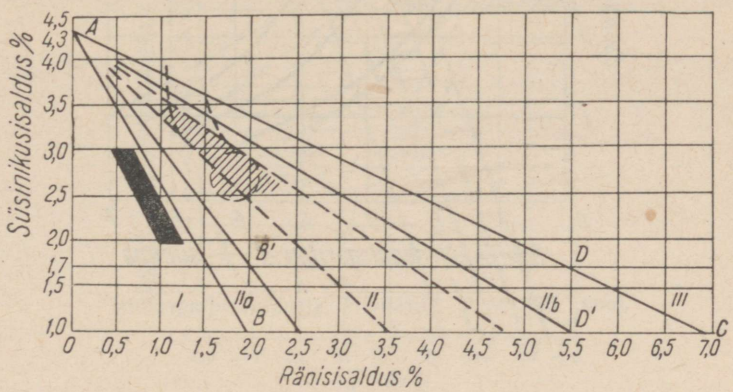
Alumiinium taandab malmi ja kuni 0,1%-lises koguses toimib tugeva grafitisaatorina. 7—9% Al sisaldav malm on kuumuskindel. 20—24% Al sisaldavat alumiiniummalmi («tšugal») kasutatakse kuumuskindlate valandite valmistamiseks, mis töötavad väikesel koormusel kuni 950° C juures.

Kaltsiumi, magneesiumi ja liitiumi lisatakse malmile kümnendikprotsentides (kaaluliselt) kui modifikaatoreid.

KRISTALLISEERUMISKIIRUSE MÕJU

Hallmalmist valandite ehitust ja omadusi mõjutab tugevasti kristalliseerumise kiirus. Viimase mõju on kõige lihtsam kindlaks teha kiilproovi murde järgi. Kiilu peenes otsas on malmi struktuur alati peeneteraline ning austeniidi ja grafiidi terad peenemad kui jämeda otsa lõike keskel. Väiksemate ristlõigete kõvadus on suurem kui jämedamatel. Mõnikord on peenes ristlõikes murd valge, jämedas aga hall. Need nähtused sõltuvad vormi valatud malmi jahtumise kiirusest. Näiteks ligikaudu 1 mm paksuse seina puhul ulatub jahtumise kiirus kuni 850° C minutis, kuna 60 mm läbimõõduga lõike keskel on see ainult 50—60° C minutis. Teisiti öeldes, jahtumise kiiruse määrab valandi seinapaksus ja valuvormi soojusjuhtivus.

Saksa valaja Maurer esitas malmi ühe või teise struktuuri tekkimise sõltuvuse tema süsiniku- ja ränisisaldusest kuivas liivsavi vormis (joon. 161). Diagrammi väli on jagatud viieks osaks: *I* piirkond — perliitne-tsementiitne valgemalm, *II a* — kirju ehk poolperliitne-grafiitne malm, *II* — helehall perliitne-grafiitne malm, *II b* — hall perliitne-ferriitne-grafiitne malm, *III* — tumehall ferriitne-grafiitne malm.



Joon. 161. Malmi ehituse sõltuvus üldisest süsiniku- ja ränisisaldusest 30 mm-se läbimõõduga valanditel (Maurer).

Maureri diagramm on ajaloolise tähtsusega. Selle autor näitas esimesena malmi struktuuri sõltuvust tema keemilisest koostisest. Tegelikult on diagramm kasutatav ainult ühel juhtumil ja nimelt 30 mm läbimõõduga valanditele, kusjuures süsiniku- ja ränisisalduse reguleerimisega võib saada mistahes etteantud struktuuri, ja järelikult ka peaaegu mistahes omadustega valandit. Praktiliselt on valgemalmi võimalik saada ainult väikesel välja *I* tušiga kaetud osal, perliitset-grafiitset malmi aga väljade *B'* ja *II* viirutatud osal.

Prof. N. G. Giršovitš näitas, et sirged jooned diagrammil ei vasta täpsetele arvutustulemustele ja tegi ettepaneku asendada sirged jooned hüperboolidega (joon. 162).

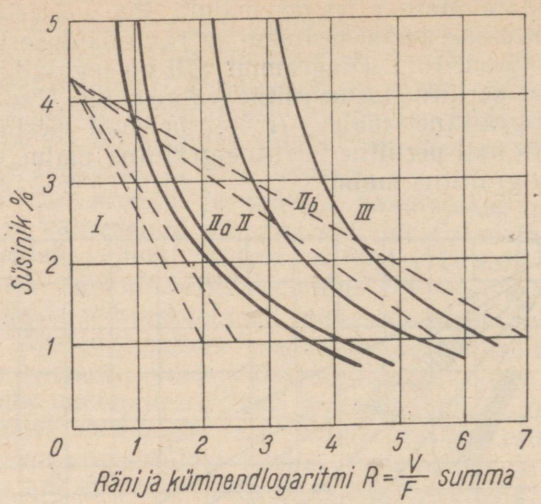
Ordinaatteljele on kantud süsinikusisaldus, abstsissteljele aga räni asemel räniprotsendi ja valandi seina taandatud paksuse (valandi mahu ja pealispinna suhe) $R = \frac{V}{F}$ kümnendlogaritmi summa.

Stalingradi valaja L. I. Kakurin andis sõltuvuse

$$\% \text{ C} + \% \text{ Si} = K - \lg \delta,$$

kus δ on valandi seinapaksus,

K — konstant, mis iseloomustab malmi ehitust (vt. tabel 34).



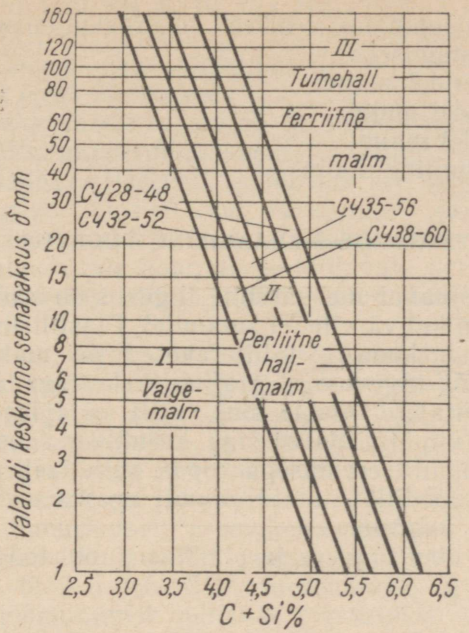
Joon. 162. N. G. Giršovitši struktuuridiagramm.

Tabel 34

Malmi ehituse sõltuvus tegurist *K*
(*L. I. Kakurini andmetel*)

Malmi ehitus	*K*
Perliit + tsementiit	< 5,0
Perliit + tsementiit + grafiit	5,0 —5,20
Perliit + grafiit	5,21—6,30
Perliit + ferriit + grafiit	6,31—6,90
Ferriit + grafiit	> 6,91

Graafiliselt on see võrrand kujutatud diagrammil (joon. 163) teljestikuga % C+% Si ja δ. Ordinaattelg on logaritmilises mõõdus. Väli *I* vastab valgemalmile, väli *II* perliit-grafiitsele, väli *III* aga ferriit-grafiitsele. Keskmine väli võib olla jaotatud paralleelsete sirgetega sõltuvalt seina paksusest ja antud malmi margist (margi esimene arv näitab tõmbetugevust, teine painde-tugevust kg/mm²). See diagramm on kehtiv tavalistele vagrankas sulatatud malmidele, mis sisaldavad 0,6—1% Mn, kuni 0,3% P ja kuni 0,10% S.



Joon. 163. Malmide СЧ 28—48, СЧ 32—52, СЧ 35—56 ja СЧ 38—60 struktuuridiagramm.

VALANDITE KLASSIFITSEERIMINE MALMI KEEMILISE KOOSTISE JÄRGI

Keemilise koostise järgi eristatakse valandeid:

a) tavalisest ehk hallmalmist valandid, mis sisaldavad 3,2—4,2% C, 0,5—4,3% Si, 0,3—1,0% Mn, 0,07—0,3% P, 0,02—0,15% S ja tähistatakse margiga СЧ;

b) legeeritud (kroomiga, nikliga, titaaniga, vasega jne.) malmist valandid;

c) modifitseeritud hallmalmist valandid (mark МСЧ);

d) modifitseeritud, kerakujulise grafiidiga malmist (mõnikord nimetatakse ka magneesiummalmiks) valandid (mark ВЧ);

e) valgemalmist valandite lõõmutamise teel saadud tempermalmist valandid (mark КЧ);

f) väikese süsinikusisaldusega malmist, mille sulatamisel lisati täitesse terasejääke («terasmalmist») valandid;

g) üle 0,5% P sisaldavast fosformalmist valandid;

h) 11—13% Si sisaldavast malmist, ferrosiliidist valandid.

Peale selle eristatakse malme kasutusala järgi:

1) masinamalm, mis läheb valatud masinaosade valmistamiseks;

2) antifriktsioonmalm, läheb hõõrdekulumisele töötavate detailide valmistamiseks;
3) kuumuskindel malm;
4) happekindel malm;
5) leeliskindel malm;
6) elektrotehniline malm.

MALMIDE MEHAANILINE TUGEVUS

Tavalise hallmalmi mehaaniline tugevus on väiksem kui terasel, kuid suurem kui värvilistel sulamitel. Plastilisuselt jääb malm viimastest maha, kuna metalliterakesed on malmis üksteisest lahutatud madala tugevusega grafiidilehekestega. Malmvalandite mehaaniliste näitajate tunduv tõus, eriti sõjajärgsetel aastatel, saavutati mitte niipalju malmi õige keemilise koostise valikuga, kuivõrd tema modifitseerimisega kopas, viies sellesse üsna väikestes hulkades modifikaatoreid, samuti aga ka vedela malmi ülekuumutamisega vagrankas.

Malmide võrdlev tugevus ja plastilisus on toodud tabelis 35.

Tabel 35

Hall- ja modifitseeritud malmist valandite võrdlev tugevus ja kõvadus

Mark	Staatiline tugevus kg/mm²					Brinelli kõvadus H_B	Väsimustugevus kg/mm²				Erikaal kg/m³
	Tugevuspiir						Väsimuspiir				
							paindel		väändel		
	tõmbel	survel	paindel	väändel	nihkel (lõikel)		Tsükli isel.		Tsükli isel.		
							sümmeetriline	pulsseeriv.	sümmeetriline	pulsseeriv	
Hallmalm											
SČ 12—28	12	50	28	16	—	143—222	6	8	6,5	8,5	7180
SČ 18—36	18	67	36	25	—	170—229	8	10	8,5	10,5	7220
SČ 21—40	21	75	40	28	—	170—241	9,5	13	10	11	7260
SČ 24—44	24	83	44	40	—	170—241	10	14	13	16	7310
Modifitseeritud malm											
SČ 28—48	28	90	48	36	28	170—241	12	17	13	19	7370
SČ 32—52	32	110	52	37	30	170—241	14	19	15	21	7430
SČ 35—56	35	110	56	40	34	197—248	16	22	18	23	7480
SČ 38—60	38	120	60	42	36	197—262	18	25	20	25	7520
Kõrge tugevusega malm (sferoidaalse grafiidiga)											
BČ—P—45	45	160	70	56	—	207—269	23	25	17	18	—
BČ—P—55	55	180	90	64	—	207—285	25	27	18	20	—
BČF —5	45	170	—	44	—	180—229	14	16	—	—	—
BČF —10	40	140	—	42	—	180—229	15	17	—	—	—

Kõrge tugevusega malm BČ 60-2 peab tõmbel pikenema vastavalt ГОСТ 7293-54 vähemalt 2%, BČ 40-10 aga mitte alla 10%. Malmist BČ 60-2 proovikeha löögitugevus on vähemalt

1,5 kgm/cm², malmil ВЧ 40-10 aga mitte alla 3 kgm/cm². Kopas magneesiumi ja ferrosiliitsiumiga töödeldud kerakujulise grafiidiga malm läheneb oma plastilisuselt valatud süsinikterasele, tugevuselt aga isegi ületab seda.

Mõnikümmend aastat tagasi oli malm veel selliseks konstruktsioonimaterjaliks, mida lubati kasutada ainult survele töötavateks masinaosadeks. Paremal juhul oli see hallmalm СЧ12-28, mille tõmbetugevus ei ületanud 12 kg/mm² ja paindetugevus 28 kg/mm². Käesoleval ajal kasutatakse malmi nii alalisele kui ka iga liiki vahelduvale koormusele töötavate detailide valmistamiseks, välja arvatud ainult löökkoormus, millele peab vastu ainult teras.

Kõige suurema tugevusega on magneesiumi ja ferrosiliitsiumiga töödeldud malm, milles grafiit on kerakujuline. Kõige halvemate omadustega on segakujulise grafiidiga (sealhulgas kera- ja lehekujulise, lehekujulise ja eutektilise grafiidiga) malm, samuti kihilise grafiidiga ferriitne malm.

Malm, mille murd on jämedateraline, on väikese tugevusega.

Hallmalm tõmbekatsel proovikeha suhtelist pikenemist ja proovikeha ristlõike kahanemist peaaegu ei anna. Modifitseeritud malm pikeneb tõmbel 0,5—2%. Sferoidaalse grafiidiga malm annab pärast lõõmutamist suhtelise pikenemise kuni 10 ja isegi kuni 20%. Sferoidaalse grafiidiga malmi puuduseks on tema kalduvus kahanemispoorsusele ja tühimike moodustamisele, kalduvus kuum- ja külmpragude tekkimisele.

Hallmalmi tundlikkus kristalliseerumiskiirusele on ülemäära suur. Ühes massiivses ristlõikes võib saada Maureri diagrammi kõigi väljade struktuurid. Muutuva paksusega valandid paistavad oma struktuuriga silma selle poolest, et nende peenematest kohtadest lõigatud proovikehad on peaaegu kaks korda suurema tugevusega kui jämedate ristlõigete keskelt lõigatud proovikehad.

Modifitseeritud hallmalm ja sferoidaalse grafiidiga malm on ristlõike jämeduse muutumisele vähem tundlikud ja annavad homogeensema (quasi-isotroopse, s. o. peaaegu homogeense) ehituse.

Malmist proovikehade kõvadusproov võimaldab saada küllalt täpse ettekujutuse malmi ehitusest ja kõvadusest.

Kõrgekvaliteedilisi malmvalandeid võib saada:

a) viies täitesse terasejääke ja alandades malmi üldist süsinikusisaldust;

b) malmi ülekuumutamisega sulatamise ajal;

c) vedela metalli töötlemisega kopas modifitseerivate lisandite (silikokaltsium, ferrosiliitsium, magneesium jt.) sisseviimisega;

d) malmi madala, keskmise ja kõrge legeerimisega;

e) hallmalmist valandite termilise töötlemisega ja

f) tempermalmist valandite valmistamisega lõõmutusmeetodil.

Väikese süsinikusisaldusega malmi saamine põhineb terasemurru lisamisel 10—30% ulatuses täite kaalust.

Mehaaniliste omaduste tõus *esimese* mooduse kasutamisel põhineb üldise süsinikusisalduse, järelikult aga ka metalliterade vaheliste nõrkade grafiidilehekeste hulga vähendamisel. Terase hulk täites ei ole üldises mõttes millegagi piiratud. On näiteks teada sünteetilise malmi saamine vagrankas 92% terase lisamisega, ülejäänud osa moodustab ferrosiliitsium ja ferromangaan. Kuid ei tohi unustada, et malmi süsinikusisalduse mistahes alandamine nõuab väljalaske- ja valamistemperatuuri vastavat tõstmist. Kui temperatuur jääb endiseks, väheneb tunduvalt väikese süsinikusisaldusega malmi vedelvoolavus ja malm võib õhukeseseinaliste valandite jaoks muutuda täiesti kõlbmatuks.

Hallmalmist õhukeseseinaliste valandite korral lisatakse terasejääke täitesse vähem, 0—10%, massiivsete valandite, näiteks vedurisilindrite puhul aga 10—20%. Suuremal hulgal terast lisatakse täitesse vaid erijuhtudel, näiteks valtside või tempermalmist ja kerakujulise grafiidiga malmist valandite valmistamisel.

Kui vagranka kolle on liiga kõrge (vt. edaspidises), siis terase lisamine täitesse on täiesti kasutu, sest puutudes kokku taandavate gaaside ja koksiga rikastub teras tugevasti süsinikuga ja protsess kulgeb süsinikusisalduse tõusu suunas, mitte aga vastupidi. Vagranka furmid asetatakse põhjast mitte kõrgemale kui 300 mm. Kui furmid asuvad kõrgel, täidetakse kolle tellistäidisega (silikaat-panus). Kütuse- ja õhukulu seejuures mõnevõrra suureneb.

Süsinikusisalduse alandamisega on malmi tugevust võimalik tootmise vastaval organiseerimisel tõsta kahekordseks.

Malmi ülekuumutamine vagrankas on *teiseks* enamlevinud meetodiks kõrgekvaliteedilise metalli saamiseks valanditele. Tavalistes tingimustes lastakse malm vagrankast välja 1320—1360° C juures. Sellises malmis esinevad tahked grafiidiosakesed, mis väikesel ülekuumutusel (üle likvidustemperatuuri) vedelas malmis ei lahustu. Väikese ülekuumutuse juures saadav sulam on seetõttu füüsikaliselt mittehomogeenne ja saadavad valandid madala tugevusega. Lisaks eralduvad koos grafiidiosakestega mittemetalsed lisandid, külma malmi jäävad aga poorsust tekitavad gaasid.

Ülekuumutamisel lahustub grafiit täielikult: valgemalmis lahustub tsementiit ja legeeritud malmis raskestisulavad kaksik-, kolmik- ja veel keerulisemad karbiidid. Malmi ülekuumutamine suurendab järsult hallmalmist ja valgemalmist valandite tugevust ja plastilisust. Vedela malmi temperatuuri tõstmisel vagrankas intensiivsema läbipuhumise juures suureneb süsihappegaasi hulk gaasides ja raua põlemine toimub intensiivsemalt. Malmitilkade kattumine oküüdide kilega hoiab ära gaaside, eriti lämmastiku neeldumise nendesse. Metall muutub tihedamaks. Mida kõrgem on ülekuumutus (kuni 1500—1600° C), seda suurem on malmi tugevus.

Kolmas kõrgekvaliteediliste valandite valmistamise meetod põhineb modifitseerimisel, mis pärastsõjajärgsetel aastatel levis peaaegu kõikjal.

MALMI GRAFITISEERUMISE TEOORIA ALUSED

Vaatleme alguses malmi grafitiseerumise teooria aluseid, hiljem aga modifitseerimise aluseid, sest need mõlemad on omavahel seotud.

Süsinik võib malmis esineda, nagu juba varem öeldud, kas grafiidina või tsementiidina. Temperatuuri tõusmisel malm sulab, s. o. läheb tahkest olekust üle vedelasse. Süsiniku oleku kohta vedelas malmis on rida hüpoteese. Ühtede ettekujutuste kohaselt esineb süsinik malmis elementaarses olekus, teiste järgi aga ainult tsementiidimolekulide koosseisus. Kolmandate kohaselt eksisteerivad koos elementaarne süsinik ja tsementiidimolekulid.

M. G. Oknov pidas kogu maailma uurijate paljude aastate töö üldistamise alusel võimalikuks, et sulami stabiilses olukorras eraldub grafiit ja tekib hallmalm. Metastabiilsel ümberkujunemisel eraldub tsementiit ning tekib valgemalm; kuid üheaegselt võivad eralduda ka grafiit ja tsementiit, siis tekib kirju malm. Seda oletust kinnitab fakt, et süsinik võib kristalliseerumisel eralduda tsementiidi lagunemise protsessis või vahetult lahusest grafiidi näol. Tuntud on fakt, et kiirel jahtumisel, näiteks malmitilga jahtumisel vees, tekib valgemalm, kuid keemiline analüüs leiab selles grafiidi jälgi. Vedelas malmis esinevad osakesed, mis on rikastatud süsinikuga, mitte aga tsementiidiga. Teada on ka, et valandi õhukestes ribides tekib valgemalm, valandi keres aga hallmalm. Vaieldamatu on malmi sellise kriitilise koostise ja sellise kriitilise kristalliseerumiskiiruse olemasolu, mis lahutab stabiilse ja metastabiilse seisundi piirkondi. Igasuguse koostisega malmi juures eksisteerib kristalliseerumise piirkiirus, millest üleval pool tekib valge-, alamal aga hallmalm.

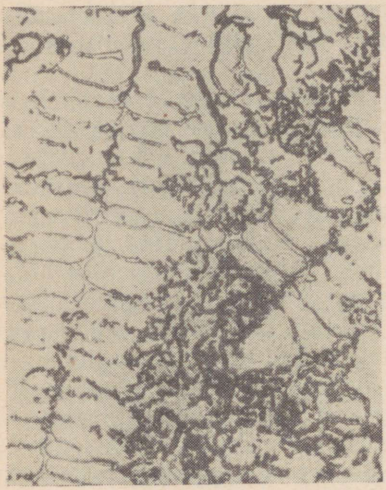
Eeleutektilise koostisega malmis kristalliseerub esmalt esimene faas — austeniidikristallid kui raskestisulavad. Grafiit langeb lahusest välja hiljem ja võib sadestuda ainult austeniidikristallide vahele. Seepärast on grafiidiosakeste kuju allutatud esimese faasi kristallide kujule ja suurusele. Kiirel kristalliseerumisel tekivad peened austeniidikristallid, nende vahel aga peened grafiidiosakesed võretaolise ehk niinimetatud dendriitidevahelise grafiidi näol (joon. 164). Malmi küllalt kiirel kristalliseerumisel muldvormis muutuvad need grafiidikerakestest ahelad järk-järgult lehekesteks.

Eutektilise koostisega malm erineb selle poolest, et vedelikust langeb korraga välja kaks faasi — austeniit ja grafiit ühise eutektikumina.

Järeleutektilises malmis eraldub esimese faasina grafiit sirgete lehekeste kujul. Austeniit eraldub hiljem ja asetub grafiidi-

lehekeste vahele. Austeniidi tekkimise ajal grafiidilehekeste sirge kuju ei muutu. Teatud tingimustel võib grafiit järeleutektilisest malmist välja langeda kerakujulises ehk globulaarses vormis.

Kerakeste kujunemist vaatles esimesena akadeemik A. A. Botšvar plii ja vismuti sulamites ning põhjendas seda nähtust asjaoluga, et vismuti difusioonikiirus on suurem kui seatinal, mistõttu vismuti aatomite väljumine vedelikust kristalli on suurem kui pliil. Kui väljumise kiirus on suur, suureneb vismuti kerakeste tekkimise tõenäosus. Kerakese ümber tekib seepärast pliivõru. Samasuguse seletuse annab kerakujulise grafiidi tekkimisele austeniidis K. P. Bunin, kes leiab, et raud paikneb süsinikuga küllastatud kohtadest kiiresti «vakantsetele» kohtadele, vastavalt akadeemik J. I. Frenkeli vedelike ehituse «aukude»-teooriale. Raua poolt vabastatud kohal aga kujuneb süsinikuaatomite grupp. Raua-aatomite eemaldumise kiirus on igas suunas ühesugune, seepärast liiguvad süsinikuaatomid oma kogunemistsentri poole, paiknevad ühtlaselt selle ümber ja moodustavad kristalliseerumise lõpuks kerakujulise grafiidi.



Joon. 164. Dentriitidevaheline ehk võrekujuline grafiit.

Tuleb nõustuda eksisteeriva arvamusega, et tekkiva grafiidi kuju sõltub kristalliseerumise tingimustest ja sealhulgas süsiniku difusioonikiirusest.

Malmi grafitiseerumise protsesside keerulisus ei luba senini tunnustada mingisugust ainuõiget grafitiseerumisteooriat. Nende küsimuste kallal on palju töötanud nõukogude teadlased (P. N. Bidulja, I. N. Bogatšev, K. P. Bunin, K. P. Vaštšenko, N. G. Giršovitš, A. F. Landa, G. N. Troitski jt.). Seejuures selgitab grafitiseerumisteooria isegi praegusel kujul täielikult sulami grafitiseerumise ja struktuuri iseärasuste kujunemist ning on malmvalandite tootmise aluseks.

MODIFITSEERIMISE ALUSED

Ülalkirjeldatud grafitiseerumisteooria vaatekohast on modifitseerimine vahelesegamine antud koostisega sulami normaalsesse kristalliseerumiskäiku eesmärgiga parandada valandi ehitust.

Käesoleval ajal eristatakse kaht modifitseerimise viisi: a) eeleutektilise malmi modifitseerimist mõnede taandava iseloomuga sulamite lisamisega koppa; b) eutektilise malmi modifitseerimist magneesiumi või tseeriumi lisamisega.

Esimesel juhul tekib keerdunud lehekeste kujulise grafiidiga, teisel juhul sferoidaalse grafiidiga malm.

Malmi kristalliseerumise normaalse käigu muutumist peale modifitseerimist võib seletada järgnevate modifitseerimisteooriate alusel. Akadeemik P. A. Rebinder ja V. K. Sementšenko leiavad, et kristallisatsiooniprotsessi käiku saab mõjutada siis, kui varemtekkinud kristallisatsioonitsentri pinnale liikuvate uute aatomite teele tekib imeõhuke modifikaatori kile. Kolloidset lahust moodustav modifikaator kondenseerub kristalli pinnal ja takistab tema kasvu. Sellist modifitseerimist, kus kristallisatsioonitsentri poole liikuvate aatomite teele luuakse kunstlik tõke, nimetatakse I liiki modifitseerimiseks.

Akadeemikute A. A. Baikovi ja N. T. Gudtsovi teooria kohaselt võivad austeniidikristallide «idudeks» olla kõik ained, mille ruumvõre aatomitevahelised kaugused on lähedased raua ruumvõre vahekaugustele. Sulamisse lisatud modifikaatorid algul lahustuvad, hiljem jahtumisel aga moodustavad täiendavaid austeniidi kristallisatsioonitsentreid.

Meie valukodades käesoleval ajal kasutatavate modifikaatorite hulka kuuluvad 45 või 75%-line ferrosiliitsium, silikokaltsium, silikotitaan jt. sulamid. Grafiit ei saa nähtavasti modifikaatoriks olla. Selle teooria kohaselt tekitavad modifikaatorid täiendava hulga uusi austeniidi kristallisatsioonitsentreid ja malmi struktuur muutub peeneteraliseks. Modifitseerimist, mis põhineb kristallisatsioonitsentrite arvu suurendamisel, nimetatakse II liiki modifitseerimiseks.

Kuid kumbki teooria ei suuda seletada vasturääkivaid tulemusi, mis ilmnevad tagi või silikokaltsiumi lisamisel koppa ning metalli lühiajalisel hapnikujoaga läbipuhumisel. Hapnikujoaga oksüdeerinud malm muutub poorseks, gaasitühimikke täis valgemalmiks, silikokaltsiumiga töödeldud (s. o. taandatud) malm aga muutub halliks ja tihedaks.

Erikaal tõuseb 7,20-lt 7,35 kg/cm^3.

Taandamise otseseks tagajärjeks on taandamisreaktsiooni uute disperssete produktide tekkimine. Need on võimelised muutma mittemetalsete lisandite «looduslikku» koostist ja malmis leiduva aktiivse raudoksüüdi (FeO) hulka ning esile kutsuma uusi täiendavaid austeniidi kristallisatsioonitsentreid. Grafiit, olles kaasallutatud faasiks, eraldub vähenenud austeniidikristallide vahemikes peenenenud kujul.

Kerakujulise grafiidiga malm on valajate tähtsaimaks saavutuseks. Uus modifitseeritud malmi tootmise viis magneesiumi manustamise abil lubas paljudel juhtudel selle malmiga asendada vastutusrikast valu ja isegi masinate sepistatud terasdetaile,

samuti tempermalmist ning pronksist ja teistest värvilistest sulamitest detaile. See malm ületab mehaaniliste omaduste poolest kõiki teisi lehekesekujulise grafiidiga kõrgekvaliteedilisi malme ja ligineb omadustelt kvaliteetsetele konstruktsiooniterastele. Parimaid tulemusi annab malmi modifitseerimine kopas puhta magneesiumipulbriga (0,4—0,8% vedela metalli kaalust) või ligatuuriga (20% magneesiumi ja 80% silikokaltsiumi). Mehaaniliste omaduste paranemine toimub malmi väävlist vabanemise arvel (magneesiumi lisamisel tekib magneesiumsulfiid MgS, mis tõuseb vedela metalli pinnale ja läheb üle räbusse) ning sulami sügava ülejahutamise tagajärjel (solidustemperatuuri alanemine 10—20° C).

Globulaarse grafiidiga malmi kasutatakse laialdaselt põllutöömasinate, tööpingi-, autoremondi- jt. tehastes.

Alamal on toodud magneesiumiga töödeldud malmi keemiline koostis: 3,5—4% C; 1—2% Si; 0,6—0,9% Mn; 0,1—0,2% Cr või 0,4—1% Ni; kuni 0,20% P ja kuni 0,04% S. Valatud sferoidaalse grafiidiga malmi mehaanilised omadused on järgmised: σ_b=45—65 kg/mm²; σ_p=60—80 kg/mm²; δ=4—8%; H_B=179—294. Pärast lõõmutamist 930° C juures (hoitakse 5—6 tundi, jahutatakse liivas 675—685° C, hoitakse 1—2 tundi ja jahutatakse õhu käes) malmi tugevus langeb veidi — σ_b=40—60 kg/mm²; σ_p=50—60 kg/mm²; plastilisus aga tõuseb tunduvalt: δ=20—22%; a_k=2—3 kgm/cm²; H_B=169—180. Malm on lõiketeradega hästi töödeldav ja ületab tempermalmi vastavad näitajad nii tugevuse kui ka plastilisuse osas. (Malmi legeerimist, hallmalmist valandite termilist töötlemist ja tempermalmi tootmist kirjeldatakse allpool.)

Malmi valikul mitmesuguste valandite jaoks lähtutakse vajadusest saada etteantud struktuuri ja mehaaniliste omadustega valand, arvestades valuvormi tüüpi ja valandi seinapaksust, samuti ka valandi otstarvet.

Valandi seinapaksusest olenevalt soovitatakse liiv-savivormidesse valamisel kasutada järgmise koostise ning lehekesekujulise grafiidiga tavalisi hallmalme:

2,5—3,5 mm paksuste kolvirõngaste individuaalvalamiseks: 3,8—4,1% C; 2,50—2,80% Si; 0,4—0,5% Mn; 0,3—0,4% P ja kuni 0,06% S.

Põllumajanduslike, tekstiil-, õmblus- ja polügraafiamasinate ning kütteradiaatorite õhukeseseinalisteks (seinapaksus 4—10 mm) valanditeks: 3,4—3,7% C; 2,0—2,4% Si; 0,4—0,8% Mn; kuni 3% P ja kuni 0,10% S.

Hammasrataste, tugipukkide, väiksemate aluste, hoobade jms. 10—20 mm paksusteks valanditeks: 3,3—3,6% C; 1,80—2,10% Si; 0,4—0,7% Mn; kuni 0,25% P ja kuni 0,12% S.

Sisepõlemismootorite silindriplokkide valamiseks, mille seina-

paksus on 8—15 mm: 3,2—3,5% C; 1,60—1,80% Si; 0,5—0,8% Mn; 0,3—0,5% Cr; 0,2—0,3% Ni; kuni 0,20% P ja kuni 0,08% S.

Keskmiselt 20—30 mm paksuse masinvalu jaoks: 3,2—3,6% C; 1,50—1,70% Si; 0,5—0,9% Mn; kuni 0,2% P ja kuni 0,12% S.

Aurumasinate, kompressorite jt. silindriteks, mille seinapaksus on 30—40 mm: 3,1—3,4% C; 1,30—1,60% Si; 0,5—0,9% Mn; kuni 0,20% P ja kuni 0,12% S.

Metallilõikepinkide suuregabariidiliste kerede ja teiste 40—50 mm seinapaksusega masinaosade valamiseks: 3,1—3,4% C; 1,20—1,50% Si; 0,5—0,9% Mn; 0,2—0,3% Cr; 0,1—0,2% Ni; kuni 0,20% P ja kuni 0,10% S.

Vedurisilindrite ja teiste 50—60 mm paksuste masinaosade valamiseks: 3,0—3,3% C; 1,10—1,40% Si; 0,5—0,9 Mn; 0,2—0,3 Cr; 0,1—0,2% Ni; kuni 0,20% P ja kuni 0,10% S.

Suurteks 60—80 mm seinapaksusega valanditeks, nagu suurte metallilõikepinkide, sepa- ja pneumaatiliste vasarate keredeks, vundamendiplaatideks jne.: 3,0—3,2% C; 0,9—1,2% Si; 0,6—1,0% Mn; 0,5—0,8% Cr; 0,3—0,7% Ni; kuni 0,15% P ja kuni 0,006% S.

Poolkõvade valtside valamiseks: 3,0—3,2% C; 0,7—0,9% Si; 0,4—0,5% Mn; kuni 0,20% P ja kuni 0,05% S.

Kõiki nimetatud detaile võib valada alaeutektilisest ferrosiliitsiumi või silikokaltsiumiga modifitseeritud malmist. Lõppkoostise ränisisaldus peab neil juhtudel olema 0,2—0,3% alandatud. Lisatava modifikaatori hulk peab moodustama 0,3—0,5% vedela metalli kaalust. Räni omastamine modifitseerivast lisandist on 30—40%.

Sferoidaalse grafiidiga malmi saamiseks on, nagu varem öeldud, nõutav üleeutektilise koostisega malm. Ülaltoodud keemilised koostised ei ole selle malmi saamiseks kõlblikud.

Globulaarse (sferoidaalse) grafiidiga malmist vastutusrikaste valandite näidiseks on valatud väntvõllid. Nii valati Leningradi tehases «Russki Dizel» väntvõlle alljärgneva keemilise koostisega malmist (enne modifitseerimist): 3,1—3,4% C; 1,2—1,5% Si; 0,4—0,5% Mn; kuni 0,10% P ja kuni 0,15% S. Selle koostisega malmile lisati koppa magneesiumi 1% malmi kaalust ja 0,7% 75%-list ferrosiliitsiumi. Malm valati kaheksa valupeaga vormi 1310—1330° C juures. Kasutati gaasirõhul töötavaid valupäid.[1]

Pärast lisanditega töötlemist oli malmi keemiline koostis järgmine: 2,9—3,2% C; 1,6—1,8% Si; 0,4—0,5% Mn; kuni 0,10% P ja kuni 0,03% S ning 0,04—0,10% Mg. Magneesium toimis mitte ükskõnes modifikaatorina, vaid ka kui tugev desulfuraator — väävlisisaldus muutus mitu korda väiksemaks.

Mõnedes väntvõllide proovivalandites avastati räbupesi ja gaasitühimikke. Pärast valamist lõõmutati väntvõlle sisepingete

[1] В. П. Березин. Высокопрочные чугуны. Укрмашгиз, Киев, 1954, lk. 144.

kaotamiseks 550° C juures 5—7 tundi ja jahutati ahjus kuni 200° C.

Struktuurselt vaba tsementiidi esinemisel metallis lõõmutati võlle 920—940° C ja noolutati 600—650° C juures, jahutades neid järgnevalt koos ahjuga 200° C. Väntvõllide malmi omadused vastasid malmi ВЧ-П-55 omadustele.

Kuumutamisel kuni 700° C hakkavad malmvalandid pinnalt õhuhapniku või ahjugaaside toimel pikkamööda oksüdeeruma ja tekib tagi. Mida kõrgem on hõõguva malmi temperatuur, seda kiiremini tekib tagi, selle kiht muutub kobedaks ja 700—900 °C juures malmvalandite maht suureneb järk-järgult. Seda nähtust nimetatakse malmi kasvamiseks. Lõõmutuspotid ja teised malmdetailid kasvavad küllaltki märgatavalt. Nii näiteks kui lõõmutamispottide ja kastide esialgne läbimõõt oli 700 mm, siis pärast mõnenädalalist töötamist 850—900° C juures (tempermalmist valandite lõõmutamisel) oli nende läbimõõt 950 mm.

Malmdetailide kasvamine on seletatav sellega, et oksüdeerivad gaasid tungivad metalli sisse metalli ja grafiidi terakeste vahelistesse mikrolõhedesse. Tekkivate raudoksüüdide maht on suurem ja nad lõhuvad naaberterakesi, suurendades järk-järgult kogu valandi mahtu.

Malmi oksüdeerumine ja kasv on kahjulikud nähtused, mida saab ära hoida malmi legeerimisega, näiteks suure hulga kroomi lisamisega. Esialgselt tekkiv tagi muutub nii tihedaks, et oksüdeerivad gaasid ei pääse enam sellest läbi valandisse ning metall muutub kuumuskindlaks.

Kroomi asemel võib kasutada ka kuni 15—20% alumiiniumi. Sellist malmi nimetatakse alumiiniummalmiks (tšugal). Alumiiniummalmist valatakse konveierahjude ketilülisid, mitmesuguseid kronsteine ja tugipukke, samuti lõõmutamiskaste. 28—30%-lisest kroommalmist valatakse roope ahjudele, milles põletatakse sulfiidseid vasemaake ja teisi maake, mida nimetatakse vaserähkadeks.

Kuumuskindlad malmid ei oksüdeeru ega suurene ka mõõdetelt. Nende kasutusiga on tavalise hallmalmi omast kümneid kordi suurem.

TÄITEMATERJALID JA TÄITMINE

Vagranka täitematerjalide hulka kuuluvad primaarsed metallid kõrgahjumalmi ja ferrosulamite näol, sekundaarsed metallid malmi- ja terasetootmise jääkide ning kõrvalt saadava malmi- ja terasemurru näol, samuti kütus — koks, antratsiit, ning räbustajad — lubjakivi ja dolomiit, mõnikord ka vähesel hulgal lisatavad rauamaagid.

Täitematerjalide kõrval eristatakse lisandmaterjale, nimelt: ferrosulameid, alumiiniumi, magneesiumi, jahvatatud tagi, mitmesuguseid ligatuure, puusütt, kvartsliiva, soodat jms.

Kuumuskindlaid materjale ja nendest valmistatud tooteid, nagu

šamott- ja dinastelliseid, magnesiit- ja kroommagnesiittelliseid, tulekindlat savi, liiva, jahvatatud šamotti jms. kasutatakse sulatusahjude ja koppade vooderdamiseks ja müüritise remondiks. Kõik täite- ja tulekindlad materjalid peavad rahuldama vastavates standardites (ГОСТ-ides) toodud nõudeid.

K õ r g a h j u m a l m i d liigitatakse keemilisest koostisest, tarbitud kütusest ning kasutusalast olenevalt mitmeks margiks: koksi-valumalm ЛК; puusõe-valumalm ЛД, koksi või puusõe erivalumalmid КД, ВК, ВД, ЧК, ЛКА ning ümbertöödeldavad koksi-toormalmid martään-, bessemer- ja toomasterase tootmiseks.

K o k s i - v a l u m a l m i sulatatakse lõunapiirkonna, Uraali, Siberi ja keskpiirkonna tehaste kõrgahjudes. Suurt erinevust nende malmide tehnoloogilistes omadustes ei ole, kui mitte arvestada seda, et mõnedes lõunamalmides on fosforit kuni 0,1%. Selliseid malme nimetatakse hematiitmalmideks (hematiitrauamaagi järgi). 0,11—0,30% P sisaldavat malmi nimetatakse harilikuks malmiks, 0,31—1,20% P sisaldavat malmi fosformalmiks. Fosformalme sulatatakse Tuula ja Lipetski rajoonide kõrgahjudes, samuti mõnedes Uraali tehastes. Olenevalt ränisisaldusest jagatakse ЛК marki malmid järgmiselt: ЛК00 — sisaldab räni 3,76—4,25%; ЛК0 — 3,26—3,75%; ЛК1 — 2,76—3,25%; ЛК2 — 2,26—2,75%; ЛК3 — 1,76—2,25% ja ЛК4 — 1,25—1,73%. Nende malmide mangaanisisaldus on 0,5—1,30%, väävlisisaldus 0,02—0,05%.

Täitmisel tuleb arvestada, et nullmarki malmide toorikutes leidub palju grafiidiosakesi, mis malmi puudulikul ülekuumutamisel (isegi kuni 1400° C) ei jõua lahustuda ning muudavad sulatatud metalli ebaühtlaseks, alandades sellega valandite mehaanilisi omadusi.

Kõrgahjumalmi kasutatakse hulkades, mis ei ületa 30—40% tööpanuse kaalust.

P u u s õ e - v a l u m a l m i ЛД1 väävlisisaldus ei ületa 0,03%, fosforisisaldus on kuni 0,30%, mangaanisisaldus 0,5—1,2%. Malmis ЛД1 on räni 2,26—2,75%, malmis ЛД2 1,76—2,25% ja malmis ЛД3 1,25—1,75%. Puusõemalmi kasutatakse valutööstuses eriti vastutusrikaste suurte unikaalsete toodete valamiseks ja teda asendatakse hariliku koksi-valumalmiga, kusjuures viimast modifitseeritakse kopas. Puusõe-valumalmi sulatatakse väikestes kogustes. Ta on kallis, sest tema väljasulatamiseks kõrgahjus kasutatakse hinnalist puusütt.

Tempermalmist valandite mangaanisisalduse alandamiseks valgenenud pinnaga valtside tootmisel kasutatakse mõnikord КД1 ja КД2 marki erivalumalme, mille mangaanisisaldus on 0,1—0,4%. Selle malmi kasutamine ei ole õigustatud, sest nii bessemer-konverteris kui ka martäänahjus on võimalik mangaani alati välja põletada (kuni minimaalsete jälgedeni) ja saada sama kvaliteediga odavamat vähemangaanset metalli ilma puusõemalmi või mangaanivaesest maagist sulatatud koksimalmi kasutamata.

Uraalis leidub kroomi ja niklit sisaldavate rauamaakide lademeid. Nende maakide kasutamine võimaldab laialdaselt toota looduslikult legeeritud kõrgahjumalme ХЧ1 — ХЧ4, milles on kroomi 1,4—3,8%, niklit 0,7—1,3%, väävlit 0,03—0,04%, fosforit kuni 0,30% ja mangaani 0,5—1%. Malmis ХЧ1 on räni 2,76—3,25%; ХЧ2 — 2,26—2,75%; ХЧ3 — 1,76—2,25% ja ХЧ4 — 1,25—1,75%.

Ümbertöödeldavad koksitoormalmid jagatakse sõltuvalt terase tootmise viisist kolme liiki: martäänmalmid М1 ja М2, bessemermalmid Б1 ja Б2 ning toomasmalm Т1. Martäänmalmis on tunduvalt rohkem mangaani (1,5—3,5%) kui koksivalumalmis. Fosforit on sellises malmis kuni 0,30% ja väävlit 0,03—0,07%. Malmis М1 on räni 0,9—1,5%, malmis М2 — 0,3—0,9%.

Malmvalu tootmisel ümbertöödeldavat martäänmalmi peaaegu ei kasutata, sest kõrgendatud mangaanisisaldusega (üle 1,0%) valandid kalduvad pragunemisele, valtsides aga laieneb järsult kirjumurru ala. Valtsid, mille metalli on juhuslikult sattunud üle 0,8% Mn, murduvad sildkraanaga transportimisel oma raskuse mõjul.

Kõrgahju ferrosiliitsium mark Си 15 sisaldab 13—17% Si; kuni 3,0% Mn; kuni 0,20% P ja mitte üle 0,04% S. Mark Си 10 sisaldab 9—13% Si; kuni 3% Mn; kuni 0,20% P ja kuni 0,04% S. Kõrgahju ferrosiliitsiumi võib vähesel hulgal lisada vagranka täitesse, kuid mitte üle 5%, sest ta sulab 1100° C juures ja ennetab oma metalli panuse. Valandite ränisisalduse analüüs muutub juhuslikuks ja liiga kirjuks.

45, 75 ja 90% ränisisaldusega ferrosiliitsiumi saadakse kaarleekahjudes ja teda kasutatakse malmi sulatamisel kui koppa viidavat lisandmaterjali. Selle lisamine täitesse pole soovitav.

Ferromangaani saadakse kõrgahjudes ja kaarleekahjudes. Kõrgahju-ferromangaan sisaldab 70—75% Mn, 0,35—0,45% P ja kuni 0,03% S. Elektrometallurgiline ferromangaan sisaldab 60—80% Mn, kuid süsinikku ainult 0,5—2,0%, samal ajal kui kõrgahju-ferromangaan sisaldab 6—7% C. Väikese süsinikusisaldusega ferromangaan on kõrge süsinikusisaldusega ferromangaanist mitu korda kallim.

Silikokaltsiumi sulatatakse ferrosulamite elektriahjudes. Ta sisaldab 30—35% Ca, 40—45% Si ja ülejäänud osas rauda. Metalli viidud kaltsium oksüdeerub täielikult ja läheb suures osas üle räbusse. Tähtsusetu osa kaltsiumist jääb metalli kaltsiumi ja raua silikaatidena, s. o. sferoidaalse kujuga mittemetalsete lisanditena.

Ferrokroomi kasutatakse valutööstuses väga harva. Teda võib lisada ainult koppa ja kasutada seejuures ainult kõige kallimaid sorte, mis ei sisalda üle 0,5% C. Süsinikku sisaldav ferrokroom ei lahustu malmis oma raskestisulavuse tõttu. Ferrokroomi kroomisisaldus ulatub kuni 60%-ni.

Metalne nikkel malmis ei lahustu. Teda lisatakse ligatuurina, mis koosneb 94% Ni ja 6% Si. Molübdeeni lisatakse koppa metallis kiiresti lahustuva soolana, kaltsium-molübdaadina $CaMoO_4$. Molübdeen taandub ja läheb peaaegu täielikult üle metalli. Ferromolübdeeni, mis sisaldab 55—60% Mo, peaaegu ei tarvitata. Mõnikord kasutatakse koppa lisatava modifikaatorina ferrosilikotitaani, mis sisaldab 20—25% Ti, 50—60% Si ja 5—7% Al. Seda ferrosulamit saadakse ahjuvälisel meetodil nagu termiitraudagi, titaanimaagi taandamisel alumotermilise reaktsiooni järgi. Malm omastab titaani mitte üle 30%, ülejäänu ühineb hapnikuga, väike osa ka lämmastikuga.

Malmimurd kui täitematerjal tuleb sorteerida seinapaksuse järgi. Selline sorteerimine võimaldab valida murdu tema ränisisalduse järgi.

Suured murrutükid purustatakse rammi all väiksemateks, mille pikkus ei ületa vagranka 0,4 läbimõõtu. Vastasel korral võib panus sulatamise ajal rippuma jääda.

Terasemurdu sorteeritakse mitte ainult gabariidi, vaid ka terasemarkide järgi. Legeeritud terast vagrankas harilikult ei kasutata. Peaaegu üldse ei kasutata ka põlenud ja tugevasti roostetunud malmi- ja terasemurdu ning metallilaaste, sest rooste sisaldab äärmiselt kahjulikke raudhüdraate, mis küllastavad malmi vesinikuga ja tekitavad valandites gaasitühimikke.

Malmvalutootmise omajäägid sorteeritakse markide järgi ja sulatatakse vagrankades täielikult ümber. Koppa jääva liigse metalli äravalamiseks nähakse ette väikesed malmist kokillid. Oma tootmisjäägid tuleb liivast ja kärnidest puhastada, vastasel korral kulub kvartsi ja savi räbustamiseks ning nende räbusse üleviimiseks palju kütust ja räbustajat.

Vagrankakütusena kasutatakse kivisöekoksi, mõnikord turbakoksi, antratsiiti, naftat, looduslikku gaasi ja teisi kohalikke kütuseid. Vagranka sissekütmiseks kasutatakse puitu, kivisütt, metallurgiatehastes kõrgahjugaasi. Kõige laialdasemalt kasutatakse kütusena kivisöekoksi.

Valamisel kasutatavat kivisöekoksi ehk valukoksi lastakse välja kolmes margis: КЛ1, КЛ2 ja КЛ3. Üheski neist ei tohi niiskust olla üle 4% ning tükkide mõõted alla 40 mm. Koksis КЛ1 lubatakse kuni 12,8% tuhka, väävlit mitte üle 0,6%. Koksis КЛ2 kuni 11,5% tuhka ja kuni 1% väävlit. Koksis КЛ3 võib olla kuni 14% tuhka ja kuni 1,4% väävlit. Koksi küttevääртus on keskmiselt 7000 kcal/kg, kuid on seda madalam, mida suurem on koksi tuhasisaldus. Koksituha koostis kõigub alljärgnevates piirides: 35—55% SiO_2, 20—30% Al_2O_3, 8—32% Fe_2O_3, 0,15—2,0% MnO, 3—12% CaO, 1,0—2,5% MgO, 0,3—0,8% P_2O_5 ja 1,0—3,5% S.

Kivisöes ja antratsiidis esineb väävel mineraalina FeS_2. Koksistamisel lubjakivi $CaCO_3$ laguneb. Tekkiv süsihappegaas lendub, CaO aga sulatab tuhas leiduvad happelised oksüüdid

ning savimulla, räbustab need ja viib üle räbusse. Sulatamine ilma räbustajata võib iseenesest peatuda, kui gaaside läbipääsud täite tükkide vahel ummistuvad tuhaga.

Dolomiit on süsihappesoolade $CaCO_3$ ja $MgCO_3$ segu. Tema toime räbustajana on sarnane lubjakiviga. Mõnikord valmistatakse põletatud dolomiidist vagranka sisevooderdis.

Martäänräbu on väga hea räbustaja, mis sisaldab 50—60% CaO, 10—20% FeO, 5—10% MnO, 2—7% MgO, samuti P_2O_5. Tema tükeldamine on raske. Täitesse lisatakse teda pooleks lubjakiviga. Saadav metall on hea vedelvoolavusega. Väävel läheb koksist hästi üle räbusse. Raud- ja mangaanoksüüdi sisaldav martäänräbu väldib raua väljapõlemist sulatatavast malmist.

Mõnikord lisatakse vagrankasse sulapagu CaF_2, mis vedeldab räbu hästi, eriti dolomiidist, magnesiidist või kroommagnesiidist aluselise voodriga vagrankades. Sulapao kõrge hind takistab tema laialdast kasutamist valutsehhides.

Tulekindlaid materjale ja nendest valmistatud tooteid kasutatakse laialdaselt sulatus- jt. ahjude müüritiseks ning koppade vooderdamiseks. Vagrankade müüritiseks kasutatakse enamasti šamott-telliseid, milles summa $TiO_2+Al_2O_3$ peab olema vähemalt 30%, või poolhappelisi telliseid, milles see summa peab olema alla 30%.

Voodritellised kuluvad peamiselt kõrgeimate temperatuuride tsoonis pehmenemise ja räbuga liitumise tagajärjel. Seepärast saadakse sellise vooderdise kasutamisel hapud räbud.

Käesoleval ajal laotakse mõnedes valutehastes vooderdised aluselistest tulekindlatest materjalidest — magnesiidist ja kroommagnesiidist. Saksamaal vooderdatakse vagrankasid põletatud dolomiidiga, mis segatakse veest vabastatud kivisõetõrvaga. See võimaldab töötada väävlirikkamate koksidega. Aluselise vooderdisega vagrankad on ennast töös hästi õigustanud.

TÄITE ARVUTUS

Valu mehaanilised omadused olenevad kõigepealt valandi struktuurist, mis omakorda sõltub paljus malmi koostisest. Selleks, et valandis oleks üksikuid komponente soovitaval hulgal, tuleb valida vastavad valumaterjalid, mis pärast ümbersulatamist annavad vajaliku koostise. Valumaterjalide segu kindlas kaalulises vahekorras nimetatakse täiteks. Erineva valu saamiseks tuleb koostada erinevad täited. Arvestades iga lisandi (komponendi) poolt malmi omadustele avaldatavat mõju, tuleme järeldusele, et peamised hea valandi saamiseks vajalikud lisandid on süsinik, räni ja mangaan.

Valandile vajaliku lisandite hulga täpseks arvutamiseks tuleb arvesse võtta nende väljapõlemist vagrankas sulatamisel.

Malmi sulatamine vagrankas toimub täite elementide mõninga oksüdeerumise tingimustes. Masside seaduse kohaselt põleb oksüdeerivates tingimustes rohkem ära see element, mille kontsentratsioon on suurem. Malmis on selliseks elemendiks raud. Raudoksüüdid lähevad peaaegu täielikult üle räbusse, kuid jäävad mittemetalsete lisanditena (keerulise koostisega silikaatidena kui ka struktuurselt vabadena) osaliselt ka malmi.

Raua põlemiskadu on kuni 0,5% kogu täitemetalli kaalust.

Räni põlemiskadu on keskmiselt 10—20% täites leiduva räni kaalust.

Kui täitematerjali (näiteks kõrgahjumalmi) ränisisaldus oli 2,22%, siis jääb pärast ümbersulatamist (arvestades 10%-list väljapõlemist) metalli

$$2{,}22 - 0{,}10 \cdot 2{,}22 = 1{,}998 \approx 2{,}00\%\ \text{Si}.$$

Mangaani põlemiskadu on keskmiselt 15%.

Fosfor vagrankas ei põle ja teistest täitematerjalidest metalli üle ei lähe. Tema väljapõlemine võetakse võrdseks nulliga.

Väävel läheb täitemetallidest täielikult ja põlenud koksist osaliselt üle saadavasse metalli. Tavaliselt arvestatakse, et kui koksi keskmine väävlisisaldus on 0,5% (sepakoks), siis väävli juurdepõlemine (lisandumine) moodustab 30% metallitäites olnud väävli lähtehulgast. Kui koksi väävlisisaldus on 1%, siis lisandumine on 50%, väävlisisaldusel 1,5% (donetsi koks) aga vähemalt 70% lähtehulgast.

Oletame, et sulatamine toimub donetsi koksiga, mis sisaldab 1,5% S. Täide koosneb 100% malmimurrust, mis sisaldab 0,09% S. Väävli lisandumine on 70% 0,09-st ja vagrankametalli väävlisisalduseks saame:

$$0{,}09 + 0{,}7 \cdot 0{,}09 = 0{,}153 = 0{,}15\%.$$

Nii suur väävlihulk põhjustab gaasitühimike tekkimist ja õhukestes ristlõigetes malmi tugevat valgenemist. Seejuures muutub vedelvoolavus minimaalseks ja selline malm tuleb kopas väävlist vabastada.

Väävli valgendava toime neutraliseerimiseks tuleb sulatada suurema räni- ja mangaanisisaldusega metalli. Sellistel juhtudel täidet ainult murrust ja tootmisjääkidest koostada ei saa. Metallimurd tuleb vähemalt 50% ulatuses asendada väikese väävlisisaldusega kõrgahjumalmiga. Tekkivad malmitilgad, puutudes furmide piirkonnas kokku oksüdeerivate gaasidega, laskuvad hõõguva koksi tükkide vahelt vagranka koldesse. Koksi süsinik rikastab metalli süsinikuga lahustuvuse piirini, mis sõltub süsiniku, räni, mangaani, fosfori ja väävli lähtehulgast. Praktiliste kogemuste alusel võib kinnitada, et terase puudumisel täites süsinikuga rikastumist peaaegu ei esine. Kui täites on 10% terast, on süsinikuga rikastumine ligikaudu 5%, 20% juures 10%, 30% juures 15% ja 40% korral ligi 20%.

Kui täitemetall sisaldab palju räni ja fosforit, mis takistavad süsinikuga rikastumist, siis langeb sellega rikastumine poole võrra, olles vastavalt 2,5; 5; 7,5 ja 10%. Kõrgendatud mangaani- ja kroomisisaldus soodustab süsinikuga rikastumist.

Vaatleme üht vagranka täite arvutamise näidet.

Nõutakse arvutada täide väikesegabariidilise masinvalu jaoks, mille keskmine seinapaksus on 10—15 mm.

Valandi malm peab sisaldama 3,3—3,6% C; 1,80—2,10% Si; 0,4—0,7% Mn; kuni 0,25% P ja kuni 0,12% S.

Ühes vahetuses valmistatakse valuvorme valamiseks ette kokku 9600 kg malmi jaoks.

Täite arvutus koosneb üksikute allülesannete lahendamisest:

1. Eelmise vahetuse jooksul koguti 5300 kg tootmisjääke, mis tuleb vagrankas ümber sulatada. Arvutamisel võtame täite kaaluks 100 kg. Kogu täite kaal on 9800 kg.

Malmijäätmete (skrapi) kogus täites moodustab

$$\frac{5300}{9800} \cdot 100 = 54{,}8 \approx 55\%$$

kogu täitemetalli kaalust.

2. Malmi süsinikusisalduse vähendamiseks lisatakse täitesse 10% terasejäätmeid. Täite arvutamisel tuleb kindlaks määrata, milline kõrgahju koksimalm antud sulatiseks valida.

Alamal on toodud täite arvutus ühe elemendi, räni sisalduse järgi.

3. Omatootmise malmijäätmete ränisisaldus on selline, nagu peab olema valmis malmis, s. o. 1,80—2,10%. 100 kg malmijäätmeid sisaldab järelikult 2,1 kg räni. Kuna tingimuse kohaselt 100 kg täitemetalli kohta tuleb 55 kg malmijäätmeid, siis 55 kg jäätmeis on räni

$$\frac{55}{100} \cdot 2{,}1 = 1{,}155 \text{ kg}.$$

4. 100 kg terasejäätmeid sisaldab 0,25 kg räni, 10 kg aga 0,025 kg.

5. Ülesande kohaselt peab 10—15 mm paksuste valandite jaoks kasutatav täide sisaldama 100 kg kohta 2,0 kg räni. Et aga 10% ränist põleb välja, siis tuleb täiendavalt lisada veel $0{,}10 \cdot 2{,}0 = 0{,}2$ kg räni. Seega peab 100 kg metalli sisaldama 2,2 kg räni. Puuduv kogus, s. o. $2{,}2 - (1{,}155 + 0{,}025) = 1{,}02$ kg, tuleb vagrankasse viia 35 kg kõrgahjumalmiga. Määrame kõrgahjumalmi keskmise ränisisalduse: $\frac{1{,}02}{35} \cdot 100 = 2{,}9\%$. Seega sobib kõrgahjumalm ЛК1, mille keskmine ränisisaldus on 3%.

Edasi tuleb kontrollida, kui palju väävlit tekib malmis vagranka töötamisel koksiga КЛ3, mille väävlisisaldus on 1,4%. Väävli lisandumine sulatamise ajal moodustab selle koksi kasu-

tamisel 70% kogu metallis sialduvast summaarsest väävlihulgast.

6. Arvutame selle hulga. 55 kg malmijäätmeid toob kaasa $0{,}0012 \cdot 55 = 0{,}066$ kg väävlit. 10 kg terasejäätmeid $0{,}0004 \cdot 10 = 0{,}004$ kg ja 35 kg kõrgahjumalmi ЛК1 $0{,}0005 \cdot 35 = 0{,}0175$ kg. Kogu täitemetallis on väävlit

$$0{,}066 + 0{,}004 + 0{,}0175 = 0{,}088 \text{ kg.}$$

Koksist läheb metalli $0{,}7 \cdot 0{,}088 = 0{,}0616$ kg väävlit.

7. Väävliliig metallis on

$$0{,}088 + 0{,}0616 - 0{,}12 = 0{,}03 \text{ kg,}$$

s. o. väävlit on metallis mitte 0,12%, nagu nõutav, vaid 0,03% võrra rohkem. Siit järgneb, et mangaani peab täite 100 kg kohta olema mitte 0,55 kg, vaid 0,85 kg, s. o. 0,3% rohkem, et neutraliseerida koksist malmi mineva väävli kahjulikku toimet.

8. Kontrollime nüüd arvutuse abil, milline on tegelikult malmis saadav mangaani hulk, kui tema põlemine on 15% täitesse antud hulgast.

55 kg malmimurdu sisaldab

$$\frac{55}{100} \cdot 0{,}5 = 0{,}275 \text{ kg,}$$

10 kg terasemurdu

$$\frac{10}{100} \cdot 0{,}6 = 0{,}06 \text{ kg,}$$

ja 35 kg toormalmi

$$\frac{35}{100} \cdot 0{,}7 = 0{,}245 \text{ kg mangaani.}$$

Kokku on 100 kg täites

$$0{,}275 + 0{,}06 + 0{,}245 = 0{,}58 \text{ kg mangaani.}$$

Sulatamisel põleb 100 kg täitest mangaani välja

$$0{,}15 \cdot 0{,}58 = 0{,}087 \text{ kg.}$$

Mangaani jääk malmis on

$$0{,}58 - 0{,}087 = 0{,}493 \text{ kg ehk } 0{,}49\%,$$

s. o. $0{,}85 - 0{,}49 = 0{,}36\%$ vähem kui tarvis.

9. Puuduva mangaani viime täitesse peegelmalmiga З-3, mis sisaldab keskmiselt 12,5% mangaani. Arvestades väljapõlemist (30%) tuleb mangaani täitesse anda $\frac{0{,}36}{0{,}7} = 0{,}5$ kg 100 kg kohta. Selleks läheb peegelmalmi $\frac{100 \cdot 0{,}5}{12{,}5} = 4$ kg.

Arvutame täite vagrankale, kus sulatatakse malmi suuregabariidilistele kompressoritele, mille seinapaksus on 40—50 mm. Valandi metall peab sisaldama 3,1—3,4% C; 1,2—1,5% Si; 0,5—0,9% Mn; 0,2—0,3% Cr; 0,1—0,2% Ni; kuni 0,20% P ja kuni 0,12% S. Sulatada tuleb koksil КЛ2, mis sisaldab 1% väävlit (tabel 36).

Jagame selle küsimuse lahendamise üksikuteks osaülesanneteks. Korrigeerime kõigepealt malmi koostist valandites. Kuna malmi jääb teatud hulk kroomi, siis valgenemise ja sellest tingitud pragunemise vältimiseks, esiteks, modifitseerime malmi kopas ja, teiseks, võtame süsiniku ja räni sisalduse ülemise piiri järgi: 3,4% C; 1,50% Si; 0,5% Mn; 0,3% Cr; 0,2% Ni; 0,20% P ja 0,09% S.

Et malmi üldist süsinikusisaldust alandada 3,4%-ni, lisame 15% terasemurdu.

Omatootmise jäägid vastavad keemiliselt koostiselt valandite etteantud koostisele. Malmijääkide hulgaks võtame 35%.

Kõrvalt saadava malmimurru hulgaks võtame 20%. Murru keemiline koostis: 3,2% C; 1,5% Si; 0,7% Mn; 0,15% P ja 0,09% S.

1. Määrame malmi- ja terasemurruga kaasatoodava räni hulga. 35 kg omatootmise jääke sisaldab

$$\frac{1{,}5 \cdot 35}{100} = 0{,}525 \text{ kg},$$

15 kg terasemurdu

$$\frac{0{,}25 \cdot 15}{100} = 0{,}037 \text{ kg},$$

20 kg ostetavat malmimurdu

$$\frac{1{,}5 \cdot 20}{100} = 0{,}300 \text{ kg räni}.$$

Kokku saame täites

$$0{,}525 + 0{,}037 + 0{,}300 = 0{,}862 \text{ kg räni}.$$

2. Määrame, kui suure ränihulga peame täitesse andma kõrgahjumalmiga, mida 100 kg täite kohta tuleb 30 kg.

Metallis peab olema 1,50% Si. Modifikaatoriks kasutatav 75%-line ferrosiliitsium toob kaasa 0,23% Si. Järelikult peab malmis vagrankast väljalaskmisel olema 1,50 — 0,23 = 1,27% Si. Kuna põlemiskadu on 15% lähtehulgast, siis peab 100 kg täites olema

$$x = \frac{1{,}27}{0{,}85} = 1{,}5 \text{ kg Si, s. o. } 1{,}5\%.$$

Et lahendada küsimust, kui palju tuleb vagrankasse anda looduslikult legeeritud kroomnikkelmalmi ja kui palju harilikku koksi-valumalmi, peame arvutama, milline hulk kroomi tuleb viia malmi, kui selle põlemiskadu moodustab 15% täites olevast lähtehulgast.

3. 35 kg omatootmise jääke (kroomnikkelmalm) sisaldab

$$\frac{0{,}3 \cdot 35}{100} = 0{,}105 \text{ kg Cr.}$$

Täites peab kroomi olema

$$0{,}30 + 0{,}15x = x \text{ kg,}$$

millest

$$x = 0{,}353\%.$$

Teras ja ostetav vanametall kroomi ei sisalda, järelikult puuduv hulk 0,353 – 0,105 = 0,248 kg tuleb sisse viia 30 kg kõrgahjumalmiga.

Malmi kroomisisaldus peab olema

$$\frac{0{,}248 \cdot 100}{30} = 0{,}827\%.$$

4. Malmid ХЧ1 — ХЧ4 sisaldavad kroomi 1,4—3,8%. Oletame, et meie malmis on kroomi 2%. Kui palju kulub malmi ЛК ja kui palju ХЧ?

Malm ЛК kroomi ei sisalda, järelikult kogu kroom tuleb sisse viia x kg ХЧ marki malmiga, mis sisaldab 2% Cr. Järelikult kulub seda

$$\frac{0{,}248}{0{,}02} = 12{,}4 \text{ kg.}$$

ЛК marki malmi kulub

$$30 - 12{,}4 = 17{,}6 \text{ kg.}$$

5. Seega 100 kg täidet koosneb järgmistest komponentidest:

a)	kroomnikkelmalmi omatootmise jäägid . . .	35 kg
b)	terasejäätmed	15 kg
c)	ostetav malmimurd	20 kg
d)	malm ЛК1	17,6 kg
e)	malm ХЧ	12,4 kg

6. Nüüd saab lõpetada täite ränihulga arvutuse.

Omatootmise kroomnikkelmalmide jäägid, mis kaaluvad 35 kg, sisaldavad 1,50% Si ja annavad

$$\frac{1{,}5 \cdot 35}{100} = 0{,}525 \text{ kg Si.}$$

15 kg terasejääke sisaldab

$$\frac{0{,}25 \cdot 15}{100} = 0{,}037 \text{ kg Si.}$$

20 kg ostetud malmimurdu sisaldab

$$\frac{1{,}5 \cdot 20}{100} = 0{,}300 \text{ kg Si.}$$

17,6 kg malmi ЛК1 sisaldab

$$\frac{2{,}83 \cdot 17{,}6}{100} = 0{,}498 \text{ kg Si.}$$

Täite neli komponenti kokku sisaldavad räni:

$$0{,}525 + 0{,}037 + 0{,}300 + 0{,}498 = 1{,}360 \text{ kg.}$$

Malmi ХЧ osaks jääb (vt. ülesanne 2)

$$1{,}500 - 1{,}360 = 0{,}140 \text{ kg Si.}$$

Malmi ХЧ lisatakse 12,4 kg, seega peab selle ränisisaldus olema

$$\frac{0{,}140 \cdot 100}{12{,}4} = 1{,}13\%.$$

Järelikult tuleb valida kasutatavaks looduslikult legeeritud malmi margiks ХЧ 4.

7. Arvutame mangaanisisalduse. Oma malmijäägid annavad mangaani

$$\frac{0{,}5 \cdot 35}{100} = 0{,}175 \text{ kg.}$$

Terasejäägid

$$\frac{0{,}6 \cdot 15}{100} = 0{,}090 \text{ kg.}$$

Ostetav malmimurd

$$\frac{0{,}7 \cdot 20}{100} = 0{,}140 \text{ kg.}$$

Malm ЛК1

$$\frac{0{,}7 \cdot 17{,}6}{100} = 0{,}123 \text{ kg.}$$

Malm ХЧ4

$$\frac{0{,}7 \cdot 12{,}4}{100} = 0{,}087 \text{ kg.}$$

Kokku sisaldab 100 kg täidet 0,16 kg Mn.

Täite keskmine mangaanisisaldus on 0,615%. Mangaani põlemismääraks võtame 15%, seega jääb valandimetalli

$$0{,}615 - 0{,}15 \cdot 0{,}615 = 0{,}523\% \text{ Mn.}$$

8. Arvutame niklisisalduse.

Oma tootmisjäägid sisaldavad

$$\frac{0{,}2 \cdot 35}{100} = 0{,}070 \text{ kg Ni.}$$

Malm ХЧ 4 annab

$$\frac{1,0 \cdot 12,4}{100} = 0,124 \text{ kg Ni.}$$

Kokku on 100 kg täites 0,194 kg niklit.

Nikli põlemine vagrankas on 0%, järelikult jääb valandimetalli 0,19% niklit.

9. Kroomi arvutus.

Oma tootmisjäägid sisaldavad kroomi

$$\frac{0,3 \cdot 35}{100} = 0,105 \text{ kg.}$$

Malm ХЧ 4 sisaldab kroomi

$$\frac{2,0 \cdot 12,4}{100} = 0,248 \text{ kg.}$$

Kokku on kroomi 0,353 kg.

10. Arvutame fosforisisalduse.

Oma tootmisjääkidega viiakse sisse

$$\frac{0,20 \cdot 35}{100} = 0,070 \text{ kg,}$$

terasejääkidega

$$\frac{0,03 \cdot 15}{100} = 0,0045 \text{ kg,}$$

ostetava malmimurruga

$$\frac{0,15 \cdot 20}{100} = 0,030 \text{ kg,}$$

malmiga ЛК1

$$\frac{0,25 \cdot 17,6}{100} = 0,044 \text{ kg,}$$

malmiga ХЧ 4

$$\frac{0,20 \cdot 12,4}{100} = 0,0248 \text{ kg fosforit.}$$

Kokku on täite 100 kg kohta 0,1733 kg fosforit.

Valandimetalli fosforisisaldus (kui teda vagrankas ära ei põle) on 0,17%.

11. Väävlisisalduse arvutus.

Oma tootmisjääkidega viiakse sisse

$$\frac{0,09 \cdot 35}{100} = 0,0315 \text{ kg,}$$

Tabel 36

Täite arvutus keemiliste elementide järgi

Täitematerjali nimetus	Kaal täite 100 kg kohta	Räni		Mangaan		Nikkel		Kroom		Fosfor		Väävel	
		%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg
Legeeritud malmijäägid	35	1,50	0,525	0,5	0,175	0,20	0,070	0,30	0,105	0,20	0,070	0,09	0,0315
Terasemurd . . .	15	0,25	0,037	0,6	0,090	—	—	—	—	0,03	0,0045	0,03	0,0045
Ostetud malmimurd	20	1,50	0,300	0,7	0,140	—	—	—	—	0,15	0,030	0,09	0,0180
Kõrgahjumalm ЛК1	17,6	2,83	0,498	0,7	0,123	—	—	—	—	0,25	0,440	0,05	0,0088
Kroomnikkel-kõrgahjumalm Х Ч4 . .	12,4	1,13	0,140	0,7	0,087	1,00	0,124	2,00	0,248	0,20	0,0248	0,04	0,0049
Täites kokku . . .	100	1,50	1,500	0,615	0,615	0,194	0,194	0,353	0,353	0,173	0,1733	0,0677	0,0677
Väljapõlemine sulatamisel	0,84	—15	0,225	—15	0,092	±0	0,000	—15	0,053	±0	0,0000	+50	0,0338
Metall rennis . .	99,16	1,27	1,275	0,52	0,523	0,19	0,194	0,30	0,300	0,173	0,1733	0,10	0,1015
75%-lise ferrosiliitsiumi lisamine modifikaatorina . . .	0,6	0,23	0,225	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Valmismetall . .	—	1,50	1,500	0,52	—	0,19	—	0,30	—	0,17	—	0 10	—

terasejääkidega

$$\frac{0{,}03 \cdot 15}{100} = 0{,}0045 \text{ kg},$$

ostetava malmimurruga

$$\frac{0{,}09 \cdot 20}{100} = 0{,}0180 \text{ kg},$$

malmiga ЛК1

$$\frac{0{,}05 \cdot 17{,}6}{100} = 0{,}0088 \text{ kg},$$

malmiga ХЧ 4

$$\frac{0{,}04 \cdot 12{,}4}{100} = 0{,}0049 \text{ kg väävlit.}$$

Kokku sisaldab 100 kg täidet 0,0677 kg väävlit.

Koksi КЛ 2 kasutamisel läheb metalli üle täiendav kogus väävlit (50% täite lähtehulgast) — $0{,}5 \cdot 0{,}0677 = 0{,}0338$ kg.

Kokku saame valandimetallis

$$0{,}0677 + 0{,}0338 = 0{,}10155 \text{ kg ehk } 0{,}102\% \text{ väävlit.}$$

Seega etteantuga võrreldes väävliliiga ei teki.

Täite arvutuste hõlbustamiseks on koostatud tabel 36.

Koppa lisatakse 1 t vedela metalli kohta 6 kg 75%-list ferrosiliitsiumi, s. o. 0,45 kg Si täite 100 kg kohta. Vedela metalli poolt omandatakse sellest hulgast ainult 50% ehk 0,225 kg.

TÄITEMATERJALIDE LAOMAJANDUS

Täitematerjalide ladu tuleb paigutada sulatusagregaatide lähedusse ning teha kinnine, et kaitsta metalli korrosiooni, puistmaterjale (liiva, savi) aga märgumise ja külmumise eest. Iga materjalisort tuleb alal hoida eraldi ruumis — salves või punkris, et ta ei seguneks teiste sortidega.

Igas hoidlas peavad olema tahvlile välja pandud materjalide (malm, teras, ferrosulamid, murd, oma tootmisjäägid malmi või terase markide järgi, liiv, savi, räbustid, tellised jms.) põhilised andmed, s. o. materjali mark või koostis.

Lao ehitus ja asukoht peavad olema sobivad vedurite või veoautode manööverdamiseks ning võimaldama nii raudteevagunite tühjendamise kui ka materjalide tsehhi toimetamise mehhaniseerimist.

Lao hoidla mahutavus sõltub tehase klimaatilistest tingimustest ja määratakse antud tooraineliigi sordi, varustustingimuste ja teiste tegurite põhjal. Laos hoitavad täitematerjalide varud moodustavad tavaliselt valutsehhi 25—30-päevase tarviduse, vor-

mimaterjalide varud aga 2—6-kuise tagavara. Laos peab olema vaba pind materjalide sorteerimiseks ja ettevalmistamiseks. Laoruumid tuleb hoida täiesti puhtad ja korras. Räbu koristamine, telliste jt. materjalide purustamine peab toimuma igas vahetuses. Lao pindala ja tema hoidlate mahutavused arvutatakse sõltuvalt normeeritud materjalivarudest ja nende puistkaalust.

Valutsehhi ladu jagatakse tavaliselt kolme ossa: metalliladu, kütuse ja tulekindlate materjalide ladu ning vormimaterjalide ladu. Metalle hoitakse spetsiaalsetes salvedes, räbustajaid ja kütust kuni 4 m kõrgustes punkrites, vormimaterjale kuni 8 m kõrgustes punkrites, mille põhi on põrandapinnast 2—3 m madalamal.

Salvede mahu arvutamiseks on tabelis 37 toodud materjalide puistkaalud ja kasutatavad hoidekõrgused.

Tabel 37

Materjalide puistkaalud ja hoidekõrgused valutsehhi laos

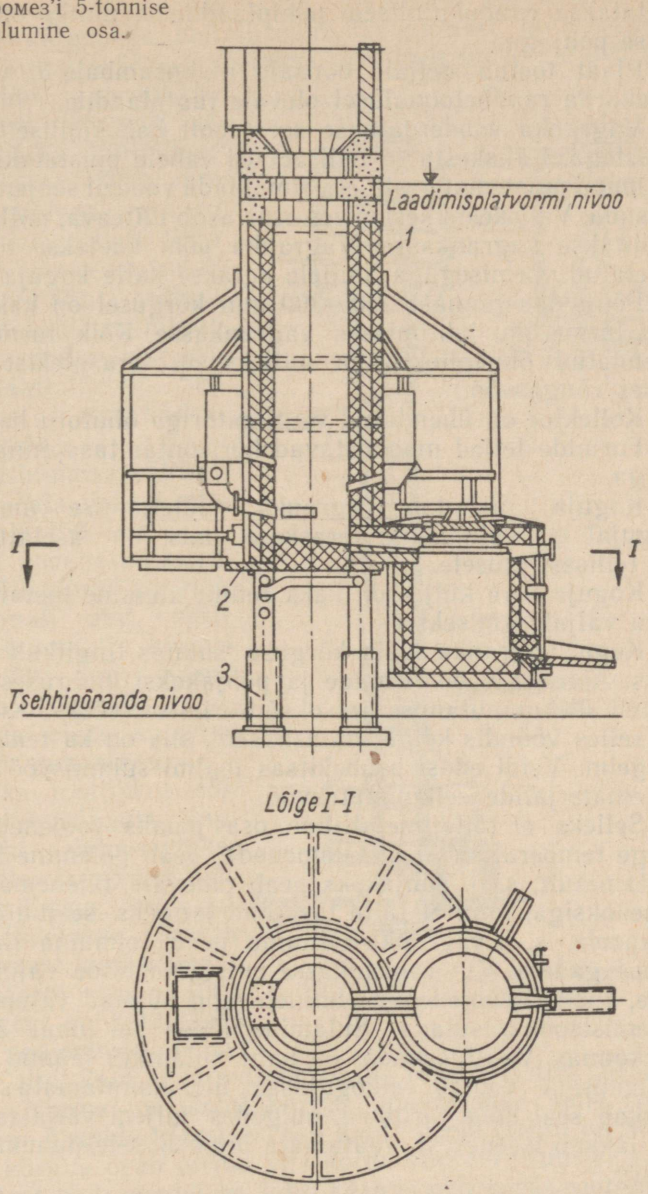
Materjal	Puistkaal t/m³	Hoidekõrgus m	
		mehhaniseerimata laos	mehhaniseeritud laos
Toormalm	3,0—3,5	1,5	3
Malmimurd	1,5—2,5	1,5	3
Terasemurd	1,5—2,5	1,5	3
Valukanalid ja valupead	1,2—2,0	1,5	1,5—2,0
Ferrosulamid	2,0—3,5	1,5	1,5—2,0
Purustatud laastud, pressimata	1,0—1,5	1,5	2,0—3,0
Pressitud teraslaastud	4,5—5,0	1,5	2,0—3,0
Koks	0,40—0,50	2,0	2,5—4,0
Antratsiit	0,7—0,9	2,0	2,5—4,0
Räbustajad (lubjakivi)	1,6—2,0	2,0	3—5
Tulekindlad materjalid	1,5—2,0	2,0	3—2
Liiv	1,5—1,8	2,0	5—8
Tükksavi	1,4—1,6	2,0	5—8
Dolomiit	1,3—1,8	2,0	3—5
Saepuru	0,3	2,0	3,0
Turvas	0,3	2,0	3,0

SULATUSAHJUD JA MALMI SULATAMINE

VAGRANKA

Vagranka on vene leiutus; esmakordselt ehitas selle Batašov Gus-Hrustalnõis (Moskva oblastis). Vagrankat kui sulatusagregaati iseloomustab lihtne konstruktsioon, suur tootlikkus ja pidev

Joon. 165. Гипромез'i 5-tonnise vagranka alumine osa.



töötamine. Seetõttu on vagranka kasutusel kõigis malmvalutsehhides.

Joonisel 165 on toodud Гипромез'i tüüpvagranka, mille tootlikkus on 5 t vedelat malmi tunnis.

Vagranka silindriline väliskest *1* valmistatakse lehterasest ja

asetatakse ruudukujulisele põhiplaadile *2*, milles olev ava suletakse põhjaga.

Plaat toetub neljale õõnsale malmsambale *3*, viimased aga omakorda raudbetoonalusel olevale tugiplaadile.

Vagranka vooderdatakse seestpoolt kahekihiliselt tulekindlate tellistega. Väliskesta ja tellisvoodri vahele puistatakse kvartsliiva või muud puistematerjali, et võimaldada voodril soojenemisel vabalt paisuda. Väliskesta keskmises osas asub täiteava, mille kaudu täide laaditakse vagrankasse. Vagranka põhi kaetakse tihedalt kuiva põletatud vormiseguga, millele antakse kalle koguja poole.

Põhja tasapinnast 250—300 mm kõrgusel on kaks kuni kolm rida furme õhu juhtimiseks vagrankasse. Kõik furmide read on ühendatud õhukollektoriga, milleks on terasplekist valmistatud õõnes rõngasvöö.

Kollektor on ühendatud ventilaatoriga õhutoru kaudu.

Furmide teljed moodustavad horisontaaltasapinnaga 10 ja 15° nurga.

Koguja mahutab vagranka pooletunnise malmitoodangu. Kogujal on silindriline teraskere, mis on asetatud betoonist või tellisest alusele.

Koguja kere küljes on kaks renni; alumine metalli ja ülemine räbu väljalaskmiseks.

Kogu vagranka võib kõrguse suunas tinglikult jagada vöödeks. Alumist vööd furmide ja põhjakoksi ümbruses nimetatakse malmi ülekuumutamise ja oksüdeerimise vööks. Kuna põlemine on selles vööndis kõige intensiivsem, siis on ka temperatuur siin kõrgeim. Veidi edasi asub kitsas malmi sulamisvöö ja selle peal täitematerjalide eelkuumutusvöö.

Selleks et täite metalliline osa jõuaks soojeneda, sulada ja kõrge temperatuurini ülekuumeneda, peab põlemine kulgema katkestamatult, s. o. põhjakoks peab pidevalt täienema ülaltantava vahekoksiga, ilma et täite tasapind langeks seejuures täiteavast allapoole, s. t. vagranka täitmine peab toimuma ilma pikemate vaheaegadeta. Kui vagrankasse puistatud täide vajub liiga sügavale, siis läbisoojenemine hilineb ning külmad valuplokid ei jõua põlemistsoonis sulada. Sulamine lõpeb sel juhul alles furmide piirkonnas. Vaatlusavades on näha sulamata jäänud metallitükke. Tulemusena voolab eelkogujasse ülekuumutamata metall, mis hakkab seal kohe tarduma, sulgedes hiljem väljalaskeava. Sulatus lakkab iseenesest, vaatamata intensiivsele puhumisele; toimub avarii.

Sulatusprotsess on häiritud ka juhul, kui põhjakoksi põlemiskiirus on suurem kui värske koksi juurdeandmine täiteava kaudu.

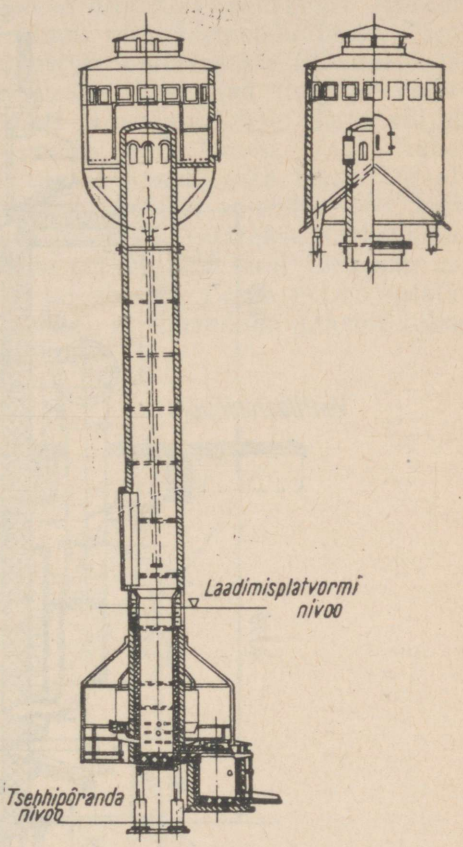
Sulatusprotsessi normaalsel kulgemisel peab koks furmide piirkonnas põlema erevalge leegiga ja furmide avadesse peavad aeg-ajalt ilmuma tardunud räbutükid. Panuste andmine toimub perioodiliselt (harilikult iga 6 min. järel), kui metallipanuse kaal moodustab ühe kümnendiku vagranka tunnitoodangust.

Kogujata vagrankas kasutatakse sulametalli varumiseks kollet. Viimase kõrguseks metallirenni tasapinnast kuni furmide esimese rea alumise ääreni võetakse tavaliselt mitte üle 300 mm. Bessemertsehhi vagrankade kolle tehakse kõrgem, et malm saavutaks küllaldase süsinikusisalduse. 300 mm madalama koldega vagrankadel on sulatusprotsess liiga pingutav. (Väikese süsinikusisaldusega malmi tootmiseks ehitatakse mõnikord vagrankasid, millel kolle täidetakse silikaattellistega. Sellises koldes malm süsinikuga ei rikastu.)

Malmi jahtumise vältimiseks peab põhja paksus olema vähemalt 150 mm.

Kolle on ühendatud kogujaga ristkülikukujulise ristlõikega kanali abil, mille laius on 60 mm ja kõrgus vähemalt 250 mm. Kanal peab olema võimalikult lühike, et teda oleks sulatuse ajal kergem puhastada.

Vagranka tootlikkus sõltub tema läbimõõdust. Vagranka šaht valmistatakse koldest täiteava ääreni rangelt silindrilisena. Šahti sügavust mõõdetakse furmide alumisest reast kuni täiteava alumise ääreni (joon. 166). Mida kõrgem on šaht, seda paremini soojenevad temas täitematerjalid, kuid seda suurem on ka täite takistus väljuvatele gaasidele. Normaalne šahti kõrgus määratakse selle siseläbimõõdu järgi furmide kõrgusel. Kui šahti siseläbimõõt on 800 mm, siis tema kõrgus peab olema viis korda suurem. Suurtel vagrankadel $H:D=4$, s. t. nendel on šahti kõrgus neli korda suurem läbimõõdust, väikestel vagrankadel aga 6—7 korda (Kuznetski tehas).

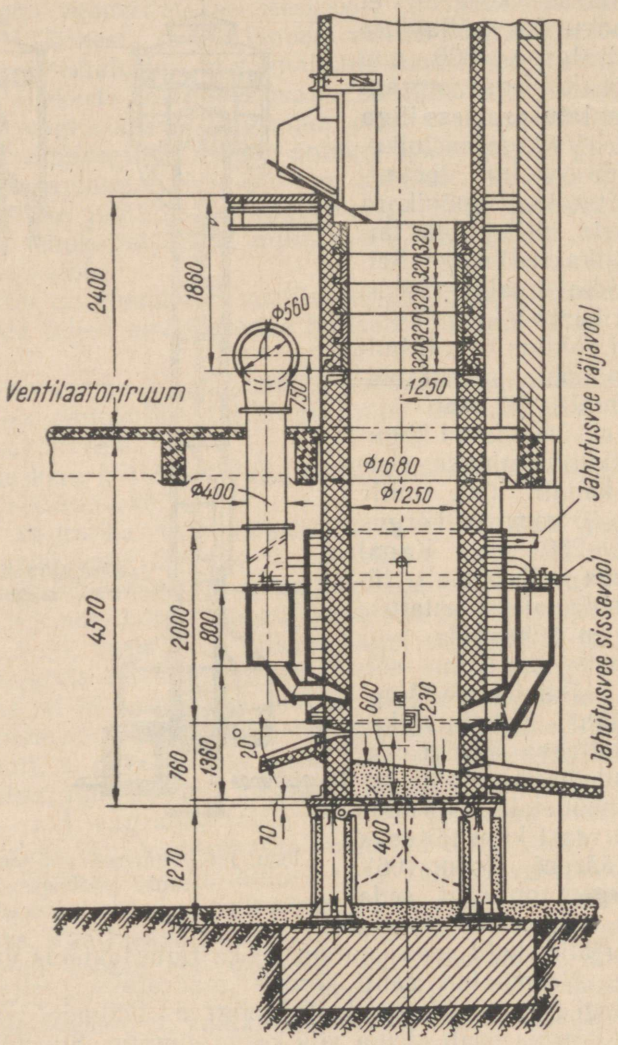


Joon. 166. Гипромез'i 5-tonnise vagranka pikilõige.

Täiteavast allpool vooderdatakse vagranka malmist kaitsetellistega. Täiteava äärt kaitseb metallitükkide löökide eest terasest kaldrenn.

Vagranka vooder eelsoojendusvöös kulub kiiresti. Selles piir-

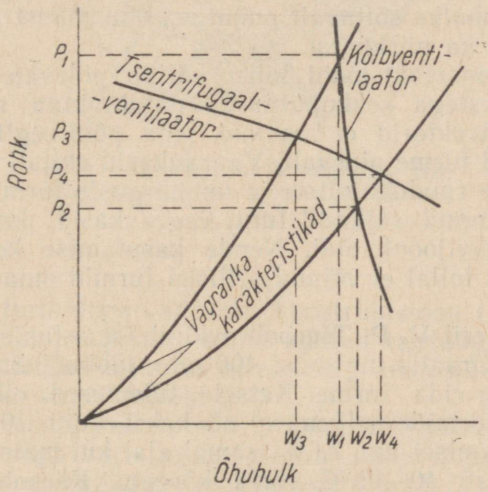
konnas (furmide ülemise rea ülemisest äärest kuni 500—700 mm kõrguseni) on väga hea kasutada vesijahutust (joon. 167, Voikovi-nimeline Moskva Malmvalutehas). Vesijahutus võimaldab



Joon 167. Vagranka voodri vesijahutus kõrgeima temperatuuri piirkonnas.

vagrankal töötada ilma voodrit remontimata terve töönädala. 10 t tootlikkusega vagranka puhul on vee kulu sulatuse algul 1 m³/h, sulatuse lõpul 7,8 m³/h.

Täiteavast kõrgemal on šaht vooderdatud poole kivi paksuselt tellistega ning moodustab suitsukorstna. Korstna müüritust uuendatakse kord aastas. Korsten lõpeb sfäärilise katusega, mille all on rida pikergusi avasid suitsugaaside väljalaskmiseks. Sädemed põrkuvad vastu katust ja langevad alla. Osa sädemeist kandub silindrikujulisse vooderdatud ruumi, nn. sädemepüüdjasse. Tänu viimase suurele ristlõikele aeglustub lendosakeste liikumiskiirus ning need langevad külgpunkritesse, kust nad luugiga väljalasketoru kaudu lastakse vagonetti ja eemaldatakse. Suits väljub ülemiste avade ja katuse all asuvate avade kaudu. Vagrankadel tootlikkusega kuni 10 t malmi tunnis kasutatakse tsentrifugaalventilaatoreid. Õhusurve kollektoris kõigub piirides 560 kuni 1050 mm vs. Suurte vagrankade juures kasutatakse turbokompressoreid, mis võimaldavad saada survet 1050 kuni 1500 mm vs. Õhusurve sõltub vagranka täite takistusest. Peene murru sulatamisel võib täite pind olla madalamal, et vähendada gaaside liikumise takistust täite kitsastes käikudes.



Joon. 168. Ventilaatorite karakteristikad.

Õhuhulk, mida annab tsentrifugaalventilaator, on seda suurem, mida väiksem on vasturõhk. Viimane omakorda sõltub täite kõrgusest, täite tükkide läbimõõdust, furmide ristlõikest jne., nagu nähtub jooniselt 168. Rõhu puhul p_4 on õhuhulk W_4, rõhu suurenemisel p_3-ni õhuhulk väheneb suuruseni W_3. Kui siiber sulgeda, siis ventilaator õhku ei anna.

Järgnevalt on toodud «Sirokko» tüüpi tsentrifugaalventilaatorite normaalne tootlikkus:

Ventilaatori number	9,5	10	10,5	11	12	12,5	13	13,5
Tootlikkus m³/min	50	82,5	100	125	165	200	230	255
Rõhk mm vs.	560	625	680	750	875	935	1000	1050
Elektrimootori võimsus kW	14,5	29	40	55	80	100	100	110
Väljumisava läbimõõt mm	300	350	400	450	450	500	550	550

Kolbventilaatorite korral suureneb õhurõhk takistuse kasvamisel tugevasti, ilma et toodetav õhuhulk seejuures märgatavalt väheneks (vt. joon. 168).

Kolbventilaatori tootlikkus on W_2, kui rõhk on p_2; rõhu kasvamisel väärtuseni p_1 õhuhulk peaaegu ei muutu, olles nüüd W_1 (veidi väiksem).

Kolbventilaatori puhul tõuseb rõhk siibri sulgemisel järsult ning võib põhjustada seadme osade purunemist. Seepärast peab õhutoru olema varustatud kaitseventiiliga. Ventilaatorist kollektorini peab õhutoru olema sirge. Õhutorule ventilaatori poolt ühe kolmandiku kaugusele asetatakse õhukulu ja -rõhku registreerivad mõõteriistad, samuti automaatsed õhukulu regulaatorid, mis muudavad õhuhulka sõltuvalt puhutava õhu rõhust ja temperatuurist, mõnikord ka niiskusest.

Koksi põlemisreaktsiooni kiirus sõltub põlevate tükkide õhuhapniku osakestega kokkupuutuva kontaktpinna suurusest. Niikaua kui konstruktorid ei tundnud seda põhireeglit, muutsid ja täiendasid nad furme pidevalt. Vagrankasid ehitati ühte ritta paigutatud suurte ruudukujuliste ja ümmarguste furmidega.

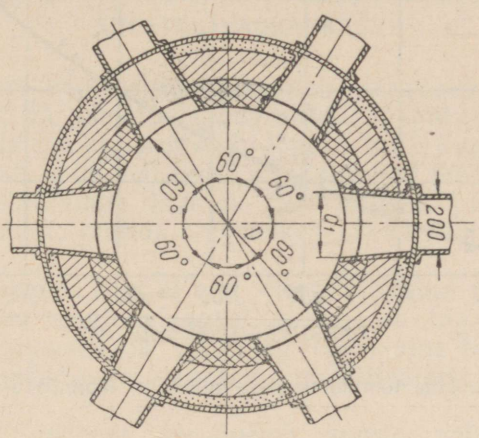
Juba möödunud sajandil tunti vagrankasid, kus furmid olid paigutatud kruvijoont pidi. Nende kasutamise kogemused aga unustati, kuna tollal ei võinud sellised furmid omada erilisi eeliseid.

Vene inseneril V. P. Tšernobrovkinil õnnestus sõjaeelseil aastail teostada Uraalis uurimusi 400 mm läbimõõduga vagrankal, millel oli kolm rida furme. Katsete tulemused olid positiivsed. Kahe lisarea furmide sulgemisel oli koksi kulu 10%, kolme rea furmide kasutamisel aga 7,6%, samal ajal kui malmi temperatuur oli normaalsest 40—65°C võrra kõrgem. Käesoleval ajal on kolme furmide reaga vagrankad üldtunnustatud. Katsetulemuste põhjal konstrueeris Гипромез 1945. a. tüüpvagrankad tootlikkusega 3, 5, 7 ja 10 t malmi tunnis (joonised 165 ja 166).

1—3-tonnistel vagrankadel peab esimeses reas olema furme 4, 4—5-tonnistel — 7 ja 10-tonnistel — 10. Esimese rea furmide ristlõige moodustab 20% šahti ristlõikest. Teine rida furme asub esimesest 200—300 mm kõrgemal. Teise rea furmide ristlõige on kõigest 2,5% alumise rea ristlõikest. Furmide kolmas rida asub teisest reast 200—300 mm kõrgemal, nende summaarne ristlõige on aga võrdne teise rea furmide summaarse ristlõikega. Furmi ristlõige on horisontaalsuunas väljavenitatud ristkülik. Esimese rea furmidel on laiuse ja kõrguse suhe 2 kuni 3,3, teise ja kolmanda rea furmidel $^4/_3$ kuni $^8/_5$. Teise ja kolmanda furmide rea

ülesanne on värske õhu juhtimine ülekuumutustsooni ja ülekuumutustsooni mahu suurendamine. Lisafurmid soodustavad malmi ülekuumenemist ja aitavad täielikumalt ära kasutada koksi.

Alumise rea furmide kaudu juhitakse vagrankasse 85% kogu õhuhulgast, teise ja kolmanda rea kaudu — ülejäänud 15%.



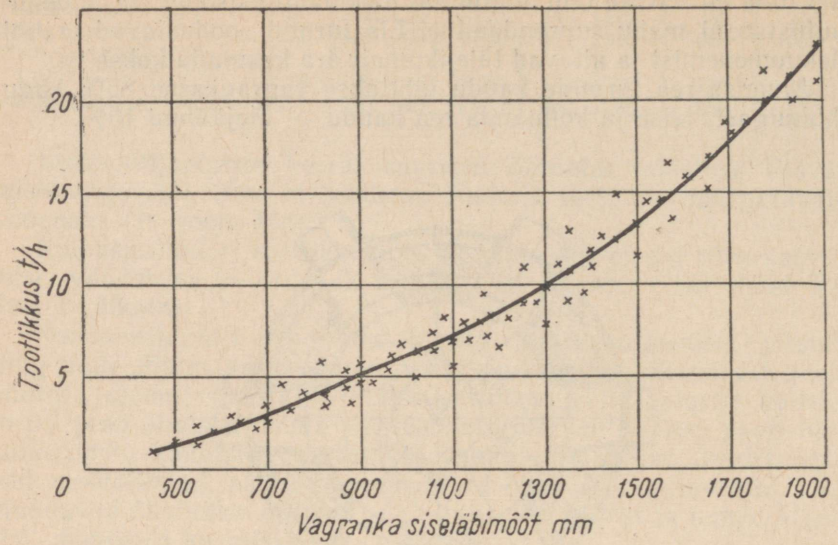
Joon. 169. Гипромез'i vagranka ristlõige furmide esimese rea tasapinnas.

Kolme rea furmidega vagranka konstruktsioon (joon. 169) võimaldab üsna lihtsalt hoida furmid puhtad tardunud räbust. Furmide räbuga kattumise korral ei saa vagranka küllaldaselt sulatamisprotsessiks vajalikku õhku.

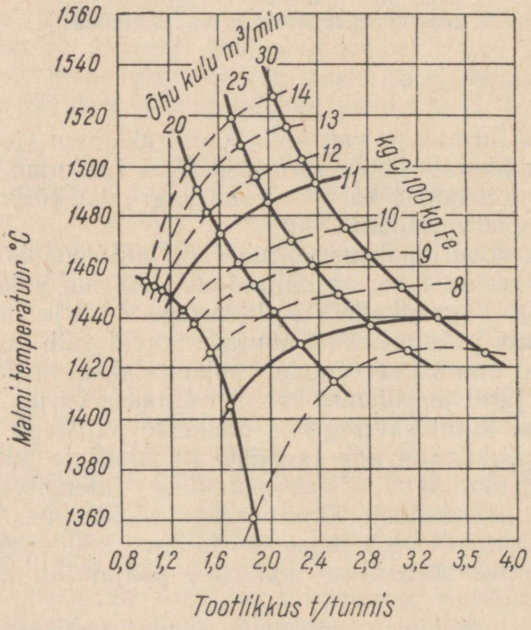
Vagranka voodri paksus sõltub šahti põhimõõdetest. Vagrankadel tootlikkusega 1 t/h on küllaldane 130 mm paksune vooder (poolkivisein), vagrankadel tootlikkusega 3 t/h ja enam tehakse vooder ühe kivi paksune. Vesijahutuse korral võib voodri paksust vähendada 60 mm võrra. Vooder puhastatakse tardunud räbust iga sulatuse järel ja põlenud kohad raiutakse välja. Väljaraiutud kohad tehakse kinni savisegu ja õhukeste tellistega, sügavamalt läbipõlenud piirkonnad aga tavaliste tulekindlate tellistega.

Vagranka tootlikkus sõltub puhumise intensiivsusest, šahti ristlõikest ja koksikulust. Nimitootlikkuse olenevus šahti ristlõikest on mustametallurgia tehastes töötava 150 vagranka kohta 1946. a. kogutud statistilise materjali põhjal kujutatud joonisel 170.

Vagranka tootlikkuse sõltuvalt õhuhulgast ja koksikulust määras saksa metallurg Jungblüt. See sõltuvus on näidatud joonisel 171. Iseloomulik on järgmine asjaolu: mida suurem on koksi-



Joon. 170. Vagrankade tootlikkus olenevalt šahti läbimõõdust (P. N. Bidulja).



Joon. 171. Vagranka tootlikkuse sõltuvus koksikulust ja puhumise intensiivsusest (Jungblüt).

kulu, seda madalam on tootlikkus, kuid kõrgem väljalastava malmi temperatuur. Võrdse koksikulu kuid intensiivsema puhumise korral tootlikkus kui ka malmi temperatuur tõusevad. See seletub asjaoluga, et intensiivsemal läbipuhumisel põlevad välja malmis leiduvad alalised lisandid ning vabaneb viimaste keemiline soojus, analoogiliselt bessemeriprotsessiga.

SULATUS VAGRANKAS

Malmisulatuse käik vagrankas sõltub peamiselt kütuse põlemistingimustest. Et saavutada vagrankas malmi ühtlane kõrge temperatuur sulatuse algusest kuni lõpuni, tuleb vagrankat pärast remonti vähemalt kolm-neli tundi enne täitmist üles kütta, pärast puhumise sisselülitamist laadida perioodiliselt panuseid, mitte katkestada sulatust, juhtida vagrankasse ettemääratud koguses õhku ja koksi.

Metallilise panuse kaal ei tohi olla liiga suur. Harilikult on see $^1/_{10}$ vagranka tunnitoodangust, millega on tagatud normaalsed põlemistingimused ja vagranka normaalne täitmine. Nii ei tohi 7 t tunnitoodanguga vagranka metallipanuse kaal ületada 700 kg.

Koksi kaal panuses moodustab suurte valandite puhul 10—12%, keskmiste valandite puhul 12—14% ja väikeste puhul 14—16% metalli kaalust. Õhu eelsoojendamisel 200° C väheneb koksikulu võrreldes eeltooduga 25% võrra.

Räbustaja hulk moodustab vahekoksi kaalust ligikaudu 25—30%, kui koks on madala tuhasisaldusega ja murd on eelnevalt puhastatud liivast ning tagist.

Kõrge väävlisisaldusega koksi puhul lisatakse räbustajat (lubjakivi) kuni 40% koksi kaalust.

Põlemisprotsess sõltub paljudest teguritest, mille määravad kütuse ja õhu omadused; koksi põlemisel tekivad kuumad gaasid — süsihappegaas CO_2 ja vingugaas CO, samuti väike hapniku ülejääk ja suur hulk lämmastikku. Gaasisegu iseloomustab suhe CO_2:CO, mis sõltub keskkonna temperatuurist ja reaktsioonide

$$C+{}^1/_2O_2=CO,$$
$$C+O_2=CO_2$$

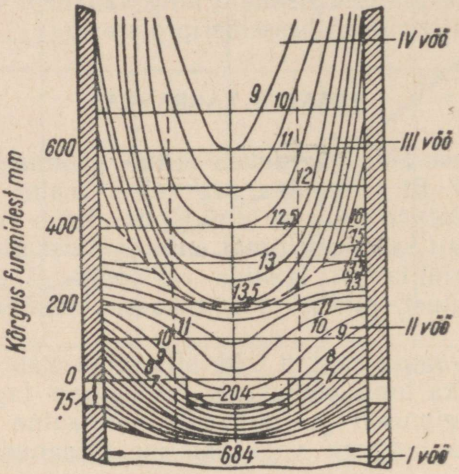
kiirusest.

Vähese CO_2 sisaldusega gaasisegu reageerib koksi süsinikuga reaktsiooni järgi

$$CO_2+C_{koks}=2\,CO-39\,890\ kcal,$$

millega kaasneb soojuse neeldumine ja temperatuuri langus. Temperatuuri mõõtmine näitab, et furmidest 300—400 mm kõrgemal olevas piirkonnas (joon. 172) jahtuvad gaasid, kui on saavuta-

nud temperatuuri 1700° C, võrdlemisi kiiresti 900° C, seejärel temperatuur langeb veelgi ning on täiteava juures kõigest 400° C. Ühtlasi väheneb järk-järgult ka CO_2 hulk.



Joon. 172. CO_2 sisaldus vagrankagaasides šahti erinevates ristlõigetes (Beldon).

Metallilise täite keemiline aktiivsus vastab gaaside koostisele ja temperatuurile ning oleneb suhtest CO_2:CO.

400° C juures keemilisi reaktsioone peaaegu ei toimu. Soojendustsoonis toimub koksi ja teiste materjalide niiskusejäägi aurustumine. Koos täite laskumisega algab 650—700° C juures lubja dissotsiatsioon

$$CaCO_3 = CaO + CO_2 - 42\,520 \text{ kcal}$$

ja hüdraatvee eraldumine roostest, mis katab laastude ja peene roostetanud murru pinda.

$$Fe(OH)_2 = FeO + H_2O.$$

Liiga kõrge aurusisalduse puhul hõõguv metall oksüdeerub:

$$Fe + H_2O = FeO + H_2 + 6620 \text{ kcal}.$$

Vabanenud vesinik lahustub tahkes ja tilk-vedelas malmis. Teatud tingimuste juures küllastub metall vesinikuga.

Vagranka keskosas furmide piirkonnas, kus temperatuur tõuseb kuni 1000° C ja suhe CO_2:CO on väiksem kui 0,33, toimub oksüüdide taandamine, näiteks raua puhul

$$FeO + CO = Fe + CO_2 - 3250 \text{ kcal}.$$

See reaktsioon kulgeb soojuse eraldamisega.

Voodrile lähemates tsoonides ületab suhte CO_2 : CO väär-

tus 0,33 ja neis toimub malmi põlevate elementide oksüdeerumine:

$$Fe + CO_2 = FeO + CO + 3250 \text{ kcal},$$

$$Si + 2CO_2 = SiO_2 + 2CO + 32\,560 \text{ kcal},$$

$$Mn + CO_2 = MnO + CO + 28\,750 \text{ kcal}.$$

Tekkinud oksüüdid lahustuvad osaliselt malmis, osaliselt aga moodustavad räbu. Räbustamisprotsessile aitavad kaasa räbustajad.

$$2CaO + SiO_2 = 2CaO \cdot SiO_2 + 23\,040 \text{ kcal},$$

$$FeO + SiO_2 = FeO \cdot SiO_2 + 11\,300 \text{ kcal},$$

$$MnO + SiO_2 = MnO \cdot SiO_2 + 7700 \text{ kcal}.$$

Kaltsiumi, raua ja mangaani ränihapud ühendid sulavad kokku mitmesugusteks keerulisteks silikaatideks ning moodustavad iseseisvaid räbutilku ja -kilesid, mis voolavad koldesse koos malmiga.

Siit tuleneb järeldus, et vagranka pole kaugeltki «toru, millest saad kätte seda, mida lased sisse». See vaade on ammu ümber lükatud otseste katsetega. Et saada regulaarselt suurtes partiides kõrgekvaliteedilisi malmvalandeid, tuleb põlemisprotsessi juhtida.

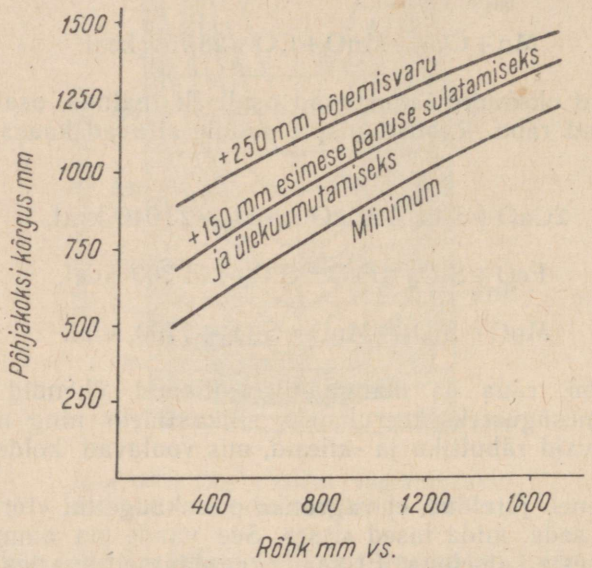
Malmi sulatamisel vagrankas on suure tähtsusega kütuse ja metallipanuste õige doseerimine, et tagada sulatusprotsessi normaalne kulgemine ning selle tulemusena vajaliku temperatuuri ja kvaliteediga malm.

Põhjakoksi pind peab enne metalltäite laadimist olema furmide telgtsoonist 900—1000 mm kõrgemal. Kui alandada põhjakoksi tasapinda näiteks kuni 500 mm, väheneb ülekuumutusvöö ruumala niivõrd, et malmiplokid võivad jääda sulamata ja langeda kuni furmideni. See pole soovitav, kuna koldes olev vedel metall hakkab andma soojust sulamata metallitükkidele. Temperatuur võib alaneda niivõrd, et metall koldes «külmub».

Selle põhjustajaks võib olla põletatava koksi hulgale mittevastav õhukogus või koksi vähesus. Üldu põhjal on kehtestatud järgmine reegel: mida suurem on puhumisrõhk, seda kõrgemal peab asuma põhjakoksi pind. Joonisel 173 on toodud põhjakoksi kõrgus furmide tasapinnast olenevalt puhumisrõhust. Põhjakoks täieneb pidevalt vahekoksi arvel. Kui panuste suurus ei vasta sulatuse käigus õhu andmise intensiivsusele, siis vahekoksi puudujääk kaetakse põhjakoksi arvel ja ülalmainitud avarii on möödapääsematu. Seetõttu on oluline õigesti määrata täitepanused ja

jälgida suudmeplatvormil kõigi eelnevalt kaalutud täitematerjalide õiget laadimist vagrankasse.

Täitepanuste liiga suur kaal suurendab metalli sulamisaega. Metalli vajaliku ülekuumenduse saamiseks on soovitav, et metalli ja koksi panused oleksid väikesed.



Joon. 173. Õhurõhu olenevus põhjakoksi kõrgusest (N. G. Giršovitš).

Koksi kaal panuses arvutatakse olenevalt optimaalsest kütusekihi paksusest (nagu kolderestil), milleks on 160—180 mm. Teades koksi mahukaalu (500 kg/m³) ja vagranka šahti siseläbimõõtu D m, saame koksi kaalu täitepanuses (koksikihi kõrgus on 160 mm):

$$W_k = 500 \cdot 0{,}16 \frac{\pi D^2}{4} = 63D^2.$$

Metallipanuse kaal määratakse koksikulu K kaudu:

$$W_m = \frac{W_k}{K} = \frac{63\,D^2}{K} \text{ kg}.$$

Vagranka metallilise panuse kaal on tavaliselt mitte üle $^1/_{10}$ vagranka tunnitoodangust; kui näiteks vagranka peab andma 5 t malmi tunnis, siis ei tohi metallilise panuse kaal ületada

$$\frac{5000}{10} = 500 \text{ kg}.$$

Juhul, kui vagranka töötab täie koormusega ja pidevalt, laaditakse panused vagrankasse täiteakna kaudu umbes iga 6 min. tagant.

Aeglane sulatus põhjustab metalli temperatuuri langemist ja muid äärmiselt ebasoovitavaid tagajärgi: vajakvalu, gaasitühimikke, metalli kõrget väävlisisaldust jne. Selline sulatus on täiesti lubamatu. Kui valujaoskonna tootlikkus (vormide kokkupanemine ning valamine) ei vasta vagranka tootlikkusele (on sellest madalam), tuleb 40 min. enne vagranka seiskamist puistata uus koks, peatada vagranka ja lasta käiku alles siis, kui on kogunenud küllaldane hulk vorme, selle asemel et vähendada vagranka tootlikkust puhumisrõhu alandamise teel.

Koksi põlemiseks vajalik õhuhulk sõltub põlemise täiuslikkusest, ülekuumutustemperatuurist jne.

Ühe kilo malmi sulatamiseks kulub keskmiselt 1 m^3 õhku. Kui vagranka sulatab näiteks 5 t malmi tunnis, siis kulub selleks 5000 m^3 õhku ehk $5000 : 60 = 83$ m^3 õhku minutis, millele vastab «Sirokko» tüüpi kõrgrõhuventilaatori nr. 10 jõudlus. See ventilaator arendab rõhku 650 mm vs.

Vagranka gaaside koostis muutub olenevalt kütuse hulgast ja kvaliteedist, samuti sissepuhutava õhu koostisest ja temperatuurist. Nii näiteks pole võimalik saada hea koostisega gaasi ja malmi, kasutades kütusena puitu, turvast ja turbakoksi.

Kütuse kvaliteedi määrab tema põlevus (hapnikuga reageerimise kiirus) või reaktsioonivõime (CO_2-ga reageerimise kiirus).

Kütuse reaktsioonivõime määratakse süsihappegaasi laskmisega läbi kütuse kihi 1000° C juures ning see väljendub valemiga:

$$\eta_v = \frac{CO}{CO+2CO_2}\ 100.$$

Reaktsioonivõime on seda suurem, mida väiksemad ja poorsemad on kütuse tükid ja mida suurem on kütuse tõrvainetesisaldus. Koksi ja antratsiidi reaktsioonivõime on väiksem kui puidusöel või turbal. Mida väiksem on reaktsioonivõime, seda väiksem on põlemiskiirus ning seda kõrgem põhjakoks ja põlemisvöö. Õhuhulga suurendamisega ülekuumutus- ja põlemisvöö laienevad.

Õhu liig (üle 150 m^3/min) jahutab tugevalt furmide läheduses olevat piirkonda ja põlemine võib lakata.

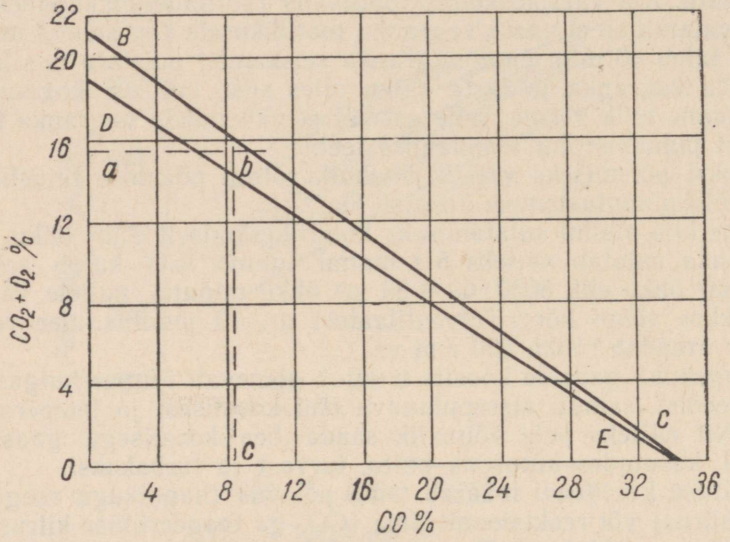
Kuna kogu õhuhapnik ($O_2 = \frac{21}{79}\ N_2$) jaguneb gaaside ja räbu vahel, siis võib kirjutada:

$$CO_2 + \frac{CO}{2} + O_2 + O_{räbu} = \frac{21}{79}\ N_2.$$

Asendades selles valemis $N_2 = 100 - CO_2 - CO - O_2$, saame

$$CO + 1{,}65(CO_2 + O_2) = 34{,}7 - 1{,}310 \text{ ml}.$$

Kui põlemisel kogu õhuhapnik ühineb gaaside ja räbuga, kujutab saadud valemit sirge *BC* (joon. 174). Täieliku põlemise korral on CO hulk 0, summa $CO_2+O_2=21\%$, kui telgedel on CO ja CO_2+O_2. Kui aga $CO_2+O_2=0$, siis CO hulk peab olema võrdne 34,7%.



Joon. 174. Diagramm vagrankast väljuvate gaaside koostise analüüsi õigsuse kontrollimiseks.

Hapnik kulub vagrankas mitte üksi koksi, vaid ka raua, räni, mangaani ja fosfori põlemiseks.

Vagranka gaaside koostis peab asetsema kolmnurgas *BCD*. Maksimaalselt võimaliku malmi põlemisprotsendi puhul gaaside koostis asub nelinurgas *DBCE*.

Konstrueeritud nelinurk võimaldab kontrollida vagrankagaaside koostise määramise õigsust. Oletame, et gaaside koostis on 8,2% CO; 15,3% CO_2 ja 0,3% O_2. Seega CO_2+O_2 on 15,6%. Tõmbame horisontaalsirge punktist *a* punktini *b*, mis vastab 8,2% CO sisaldusele (*ab* ja *bc* lõikepunkt). Punkt *b* asub nelinurgas *DBCE*, tähendab gaasides sisalduv hapnikuhulk on võrdne koos õhuga antud hapniku hulgaga ja gaaside koostis on õigesti määratud. Kui gaaside koostis ei lange nelinurka *DBCE*, on gaasianalüüs tehtud vigaselt ning seda tuleb korrata.

Vajaliku õhuhulga arvutus

Eeltoodud järelduste alusel arvutame vagrankasse antava vajaliku õhuhulga. Selleks anname ette põlemisgaaside CO_2 ja CO

sisalduse (%), koksi süsinikusisalduse C% ja koksikulu 100 kg malmi sulatamiseks K%.

Süsinikuhulk 100 m³ gaasis võrdub

$$\frac{CO+CO_2}{22,4} \cdot 12 \text{ kg}.$$

Kuna kogu gaasides sisalduv süsinik saadakse koksist, siis 100 kg malmi sulatamiseks vajalik gaasihulk võrdub:

$$V_{100 \text{ kg } malmi} = \frac{K \cdot C \cdot 22,4 \cdot 100}{100 \cdot (CO+CO_2) \cdot 12} = \frac{1,87 \cdot K \cdot C}{CO+CO_2} \text{ m}^3.$$

Oletades, et 100 kg malmi lisandite oksüdeerimiseks kulub 0,3 m³ hapnikku, leiame summaarse põlemisprotsendi:

$$Y = \frac{1,87 \cdot K \cdot C \cdot O_{räbu}}{(CO+CO_2) \cdot 100 \cdot 0,3} = \frac{0,062 \cdot K \cdot C \cdot O_{räbu}}{(CO+CO_2)} \text{ \%}.$$

100 m³ gaasi kohta vagrankasse antav õhuhulk võrdub:

$$B_{100 \text{ m}^3 \text{ gaasi}} = \frac{100}{79} N_2 = \frac{100}{79}(100 - CO_2 - CO - O_2),$$

ja õhuhulk 1 kg süsiniku kohta

$$B_{1 \text{ kg süsinikku}} = \frac{100(100 - CO_2 - CO - O_2) \cdot 22,4}{79(CO+CO_2) \cdot 12} = 2,37\left(\frac{100 - O_2}{CO+CO_2} - 1\right) \text{m}^3.$$

100 kg malmi sulatamiseks vajalik õhuhulk võrdub

$$B_{100 \text{ kg } malmi} = \frac{2,37\,KC}{100}\left(\frac{100 - O_2}{CO+CO_2} - 1\right) \text{m}^3.$$

Siit nähtub, et õhuhulk on seda suurem, mida suurem on koksikulu ja mida täielikum on põlemine, s. t. mida rohkem on gaasides CO_2.

Kuna koksi põlemisteguri saame avaldada

$$\eta_v = \frac{386,5 \cdot 100}{K \cdot C} + 15 \text{ \%},$$

siis

$$\frac{K \cdot C}{100} = \frac{386,5}{\eta_v - 15}.$$

Asendades $B_{100 \text{ kg } malmi}$ valemis suhte $\frac{KC}{100}$ eelmise valemi parema poolega, koostame eeltoodud võrrandeid kasutades tabeli 38, millest saame vajalikud õhuhulgad olenevalt koksikulust.

Tabel 38

Õhuhulga ja kütusekulu mõju vagranka eritootlikkusele

Koksikulu *K*%	Õhuhulk m^3/m^2 min.			
	80	100	120	140
8	8,9	11,2	13,6	—
10	7,7	9,8	11,9	13,6
12	6,7	8,5	10,1	11,8
14	6,0	7,6	9,0	10,4
16	5,4	6,8	8,1	9,3

Vagrankasse juhitavat õhuhulka mõjutavad veel teised tegurid, mis on loetletud tabelis 39.

Tabel 39

Mitmesuguste tegurite mõju õhu erikulule

Sulatustingimused	Õhuhulk $m^3/m^2/min$
Peen koks; suuretükiline murd; koksikulu 8—10%; kõrge süsinikusisaldusega malm	80—100
Normaalne koks; keskmine murd; koksikulu 10—12%	100—140
Normaalne koks; koksikulu 16%; peen murd; madala süsinikusisaldusega kuum malm modifitseerimiseks	140—180

Tabelis 40 on näidatud malmi temperatuuri tõstmise viisid sulatamisel vagrankas.

Tabel 40

Malmi temperatuuri tõstmise viisid sulatamisel vagrankas

Temperatuuri tõstmise viis	Temperatuuri tõstmise põhjus
Antava õhuhulga suurendamine	Sulatusprotsessi forsseerimine ja soojusvahetustingimuste parandamine
Kütusekulu suurendamine kindla piirini	Ülekuumutus- ja sulamisvöö laiendamine
Suuretükilise ja tiheda koksi kasutamine	Ülekuumutus- ja sulamisvöö laiendamine, põlemise muutmine täielikumaks (CO_2 hulga suurendamine gaasides), soojushulga suurendamine metalli kaaluühiku kohta
Kolmerealiste furmide kasutamine	Vingugaasi täielik põletamine, ülekuumendus- ja sulamisvöö laiendamine
Metalltäite peenestamine ja väikeste metallipanuste kasutamine	Ülekuumutus- ja sulamisvöö laiendamine; väljuvate gaaside soojuse parem ärakasutamine
Eeskujulik vagranka ettevalmistamine sulatuseks ja põhjakoksi õige kõrgus	Vagranka müürituse ülessoojendamine, ülekuumutus- ja sulamisvöö laiendamine
Täitepanuste õigeaegne pealeandmine	Metalli hea eelsoojendamine, kusjuures täite nivoo ei lasku allapoole
Õhu eelsoojendamine	Soojushulga suurendamine metalli kaaluühiku kohta, põlenud kütuse soojuse parem ärakasutamine
Õhu asemel hapniku või hapnikuga rikastatud õhu kasutamine	Lämmastiku soojendamiseks kuluvate soojuskadude vähendamine, soojushulga suurendamine metalli kaaluühiku kohta, põlenud kütuse soojuse parem ärakasutamine.

Räbustajate arvutus

Nagu öeldud, põlevad raud ja teised malmi lisandid, puutudes vagranka šahtis kokku kuumade gaaside hapniku ja süsihappegaasiga, osaliselt ära ning muutuvad oksüüdideks. Vagrankasse laaditud metalli kaal on järelikult saadud vedela metalli kaalust ärapõlenud lisandite võrra suurem. Viimased lähevad osaliselt räbusse, osaliselt jäävad aga metalli.

Metalli küllastumine süsiniku ja väävliga toimub peamiselt vagranka gaaside kaudu. Selleks et metall oleks puhas, tuleb metalli põlemisel tekkivad oksüüdid ja põlenud koksi tuha jäänused räbustada. Tuhk koosneb räni, alumiiniumi, raua ja teiste elementide oksüüdidest, samuti rauasulfiidist, mis esineb söes püriidina FeS_2. Söe koksistamisel püriit muutub sulfiidiks

$$FeS_2 = FeS + S.$$

Püriidi väävel ühineb osaliselt süsiniku või vesinikuga ja lendub juba koksiahjudes, sulfiidi väävel aga läheb malmi nii sulatamisel kõrgahjudes kui ka ümbersulatamisel vagrankas.

Katkestused panuste pealeandmises halvendavad gaaside ja räbu koostist ja häirivad sulatuse käiku. Samuti mõjutab oluliselt sulatusprotsessi ka räbustajate andmine ja räbu õigeaegne eemaldamine.

Vagranka räbu loetakse siis heaks, kui tal vaatamata keemilise koostise ja temperatuuri kõikumisele küllaltki laiades piirides on normaalne viskoossus ja voolavus. Tabelis 41 on antud mõnede tehaste räbu tüüpkoostised ja väljalastava malmi temperatuurid.

Räbu tekib räbustajast, mis ümberarvutatuna CaO-le moodustab 30—50% kaalust, 20—30% ulatuses vagranka sulanud tellismüüritusest, 15—25% koksituhast; 5—10% liivast, mis satub vagrankasse puhastamata valutükkidega tehase enda toodangujäätmete murru näol ja 4—10% malmi (raua, räni, mangaani, kroomi jne.) oksüüdidest. Lubjakivi hulka saab täpselt määrata, kui täpselt kaaluda kõik vagrankasse antavad materjalid (juhul kui õhuhulk gaaside koostise järgi, müürituse kulumine, samuti malmi ja räbu hulk on täpselt arvestatud).

Mida hoolikamalt on materjalid kaalutud, seda täpsem on nende bilanss ja seda täpsemalt on võimalik teha vajalikke järeldusi.

Puhas lubjakivi koosneb süsihapust kaltsiumist, mille puhta kaltsiumoksüüdi sisaldus ei ületa 56% (kaaluliselt). Täitesse antava lubjakivi hulk sõltub mitmesugustest sulatustingimustest. Kui eeldada, et ärapõlenud voodrimaterjalide ja malmilisandite kaal on muutumatu, siis võib oletada, et lubjakivi kulu sõltub põlenud koksi tuhahulgast, mille suurus on muutuv. Seega on lubjakivi kulu võrdeline koksikuluga. Peale selle, kui koksi väävlisisaldus on suurem tavalisest, tuleb väävli kõrvaldamiseks metal-

Tehas	Valandi liik	Täide	Koks
Klimovi	Tekstiilmasinate valandid	Lipetski malm ja oma murd	Donetsi
„	Tempermalm	Serovi malm, teras ja murd	„
«Punane Profintern» Bežitses	Vedurisilindrid	Lipetski ümbertöödeldav malm, teras ja malmimurd	„
„	Tempermalm	Serovi malm, teras ja malmimurd	„
„	Valtsid	Tašino ümbertöödeldav malm, teras ja malmimurd	„
„	Väikesed malmist detailid	Tašino ümbertöödeldav malm ja malmimurd	„
Kuznetski metallurgiatehas	Kokillid	Kuznetski malm, kokillimurd	Kuznetski
«Svobodnõi sokol» Lipetskis	Torud	Lipetski malm ja omatoodangu murd	Donetsi

list muuta räbu rohkem aluseliseks, lisades suuremal hulgal lubjakivi. Normaalse tuha- ja väävlisisaldusega koksi puhul moodustab lubjakivi kaal 25—35% koksi kaalust. Kõrgema tuha- ja väävlisisalduse korral peab lubjakivi olema 35—45%.

Malmisulatuse materjalide bilanss vagrankas

Toome näitena malmisulatuse materjalide bilansi 4 t tootlikkusega õhu eelsoojenduseta vagrankas. Väljalastava malmi temperatuur oli 1420° C, koksikulu üle 20% metalli kaalust. Voolava metalli saamiseks lisati räbusse lubjakivi, nefeliinmaaki ja sulapagu.

Kaalud ja muud mõõteriistad kontrolliti hoolikalt. Viidi läbi sulatuse toormaterjalide igakülgne analüüs (tabel 42).

Vagranka keskmine tootlikkus võrdus 3812 kg malmi tunnis; põhjakoksi pind oli 700 mm kõrgemal furmide ülemisest äärest (kahe furmide reaga vagranka); põhjakoksi kaal 100 kg; metallilise panuse kaal 200 kg; koksikulu metallilisele panusele 23,75% metalli kaalust; räbustaja kaal 19,9% koksi kaalust; keskmine õhuhulk 34,78 m^3/min ehk 0,55 m^3/kg malmi.

Väljalastava malmi koostis: 3,41—3,57% C; 0,62—0,82% C; 2,22—2,78% Si; 0,44—0,52% Mn; 0,50—0,59% P; 0,045—0,064% S. Malmi temperatuur rennis 1420—1430° C. Ärapõlenud raua hulk moodustas 0,34—0,65% vagrankasse antud malmist.

Tabel 41

tüüpkoostised *(P. Bidulja)*

Räbustaja	Telliskivi-vooder	Räbu koostis %							
		SiO_2	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	CaO	MgO	MnO	Malmi temperatuur °C
Podolski lubjakivi	Borovitši šamott	45,17	14,25	2,43	1,12	28,39	0,81	2,49	1370
Sama	—	48,85	17,20	5,63	1,75	23,15	0,21	1,37	1420
Lubjakivi 50% ja martäänräbu 50%	Omatoodetud dinastellis	44,35	12,21	9,37	0,94	18,89	3,18	7,45	1360
Lubjakivi	Dinastellis	50,45	9,18	5,21	1,54	28,08	0,18	0,75	1410
„	„	52,41	7,84	3,49	1,21	28,49	0,23	1,19	1350
„	„	54,03	6,49	3,87	0,93	26,78	2,26	0,84	1380
Gurjevi lubjakivi	Kuznetski šamott	48,37	13,24	3,41	1,26	22,53	4,79	0,95	1380
Lubjakivi	Borovitši šamott	51,30	15,10	2,49	—	27,99	1,15	1,03	1370

Tabel 42

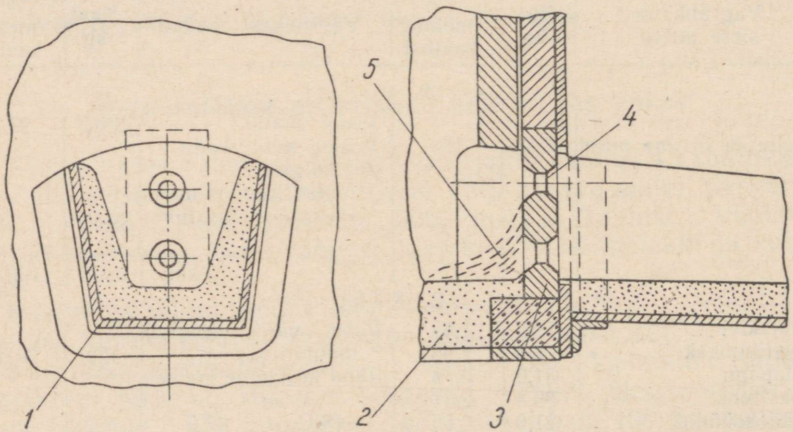
Vagranka materjalide bilanss

Tulu			Kulu		
Vagrankasse sisse antud	Kaal kg	%% metalli kaalust	Vagrankast saadud	Kaal kg	%% metalli kaalust
			A. Metall		
			Vedel malm	3812	97,8
Malm ja liivane murd	3998	100	Kokku metallikadu, sealhulgas:		
			malmitilgad räbus	6,2	
			täites sisalduv liiv	32,0	
			Kokku	3898	100,0
			B. Räbu		
Lubjakivi	59,2	1,52	Räbu, välja arvatud		
Nefeliinmaak	76,4	1,96	malmitilgad	422	10,8
Sulapagu	31,0	0,79	Räbu keskmine koostis %:		
Koksituhk	89,8	2,31	SiO_2 — 47,5		
Raudoksüüdid	21,6	0,55	Al_2O_3 — 10,5		
Voodri materjalid	112	2,85	CaO — 27,0		
Liiv metalltäite küljes	32	0,82	FeO — 4,48		
			Fe_2O_3 — 2,92		
Kokku	422	10,8	MnO — 1,26		
			MgO — 1,27		
			P_2O_5 — 5,32		
			S — 0,09		

Tulu			Kulu		
Vangrankasse sisse antud	Kaal kg	% % metalli kaalust	Vangrankast saadud	Kaal kg	% % metalli kaalust
C. Koks, õhk ja gaasid					
Koks	1227	31,5	Gaas	10522	271,0
Õhk	9328	239,0	Gaasi keskmine koostis %:		
Süsiniku anhüdriid lubjakivis	47	1,2	CO_2 — 13,25		
Niiskus räbustajates ja voodris	22	1,3	CO — 15,08		
Muud lenduvad ained	31		O_2 — 1,00		
			SO_2 — 0,29		
			H_2O — 1,53		
			N ja muud lenduvad ained		
Kokku	10655	272	Kokku	10655	272
Kokku tulu	14975		Kokku kulu	14975	

Vagranka töötamine

Pärast vagranka tellisvoodri jooksvat remonti paigaldatakse põhi ja tehakse avad metalli ja räbu väljalaskmiseks. Nende operatsioonide teostamine usaldatakse kogenud malmisulatajaile.



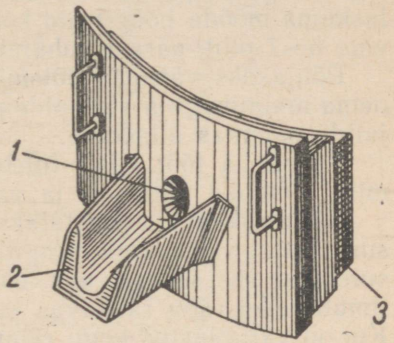
Joon. 175. Uraalis kasutusele võetud ava malmi väljalaskmiseks vagrankast:

1 — renn; *2* — põhi; *3* — šamott-tellis; *4* — tagavaraava; *5* — tardunud metall.

Metalli väljalaskmiseks on tellismüürituses erilise kujuga täpselt valmistatud ava (joon. 175). Ettepanek kasutada tellistes kahte ava tehti esmakordselt Uraalis. Tagavaraava on juhuks,

kui metall alumises avas tardub. Siis avatakse ülemine ava ja metall, voolates selle kaudu välja, soojendab üles tardunud metalli alumise ava ümber.

Savikorgi pikkus, millega suletakse ülemine ava, ei tohi olla üle 3 cm. Kahe avaga tellis asetatakse savisegule ja kinnitatakse vagranka seest savi ja liiva seguga. Seejärel tõstetakse ja kinnitatakse avatava põhja mõlemad pooled ja vagranka põhi täidetakse kergelt niisutatud lahja liivaga tööakna kaudu. Tihendatud liiv on küllalt vastupidav sulatuse ajal ja puruneb kergesti vagranka tühjendamisel. Põhja paksus peab olema vähemalt 150—200 mm. Metalli paremaks äravoolamiseks on põhjal ava suunas 5—6°-ne kalle.



Joon. 176. Raamiga räbuava:
1 — ava; *2* — räburenn; *3* — tellisvooderdis.

Kogujata vagrankal tehakse pärast põhja täitmist räbuava. Vormimise hõlbustamiseks tehakse räbuava hiljem kohalepaigutatava metallukse sisse. Pärast räbuava vormimist asetatakse uks (joon. 176) savi abil kohale ja kinnitatakse kiiludega.

Täpselt samuti valmistatakse sulatuseks ette malmikoguja.

Vagranka töö algab üleskütmisega. Üleskütmisprotsessis soojeneb kolde, koguja ja šahti müüritus; see on vajalik kuuma malmi saamiseks juba esimesel väljalaskmisel. Üleskütmiseks kasutatakse mitmesuguseid kohalikke kütuseid — puitu, turvast vms. Metallurgiatehastes kasutatakse üleskütmiseks kõrgahjugaase, mis juhitakse kogujasse ja furmidesse painduvate voolikutega; see annab puidu ja puidujäätmete mõningat kokkuhoidu. Kui puit või turvas on hakanud hästi põlema, puistatakse sellele esimene kiht valikkoksi, mis koosneb suurtest 80—200 mm läbimõõduga tükkidest.

Koks puistatakse sisse täiteava kaudu väikeste annustena (4—5 labidatäit); kui leek tungib läbi viimase panuse, võib anda järgmise jne., kuni kogu põhjakoks on puistatud vagrankasse.

Seejärel lastakse täiteava kaudu vagrankasse mõõtekett või 7—8 mm läbimõõduga ümarterasest mõõtevarras ja määratakse põhjakoksi kõrgus. Edasi puistatakse põhjakoksile räbustaja ja laaditakse esimene metallipanus, rangelt silmas pidades järjekorda: esimeses järjekorras laaditakse malmiplokid, seejärel terasemurd, malmimurd, siis vahekoks ja räbustajad jne., kuni täidis jõuab täiteavani.

Koksi põlemise ühtlustamiseks lülitatakse iga poole tunni järel üheks-kaheks minutiks sisse õhupuhumine. Ventilaatori käivita-

misel tuleb silmas pidada ohutustehnika nõudeid. Algul käivitatakse ventilaator ja alles siis suletakse furmid, kuid mitte vastupidi. Vastasel juhul võib kollektorisse koguneda vingugaasi, mis võib moodustada plahvatusohtliku segu.

Vagranka üleskütmise ajal on väljalaskeavad ja furmid avatud. Kui läbipuhumine on lõpetatud, avatakse kõik furmid ja lülitatakse välja ventilaatori elektrimootor.

Kui vagranka täide ulatub täiteakna alumise ääreni, avatakse õhu juurdepääs, furmid suletakse, kuna metalli ja räbu väljalaskeavad jäetakse kuivamiseks lahti. Avade soojendamine toimub väljuvate gaasidega. Seejärel algab metalli sulamine. Põhjakoksi õige kõrguse puhul hakkavad esimesed vedela metalli tilgad laskuma mööda hõõguvaid koksitükke ja ilmuvad furmides nähtavale 6—7 min. pärast puhumise alustamist.[1]

Põhjakoks väheneb põlemisel, vedel metall aga hakkab kogunema malmikoguja või kolde põhja. Samal ajal langeb täitematerjalide sammas allapoole.

Vagranka töötamisel tuleb jälgida, et uute panuste pealeandmine toimuks ühtlaselt ja vagranka oleks pidevalt täidetud.

Väljalaskeava puhastatakse raudvardaga, valmistatakse paksust savist väike kork, kinnitatakse vardale ja kuivatatakse ning suletakse siis sellega ava. 20—30 min. pärast puhumise algust ilmub vedel räbu räbuavas ja hakkab ära voolama mööda renni. Kui on välja lastud kogu räbu ja räbuavas ilmuvad vedela metalli tilgad, algab esimene metalli väljalaskmine koppa.

Sulatustööline purustab metallvarda kergete löökidega väljalaskeava ees oleva savikorgi, puhastab renni prahist ja laseb metalli välja.

Malmi sulatamisel vagrankas on vaja jälgida täitematerjalide õiget pealeandmist, kindlaksmääratud õhu andmise režiimi, furmide puhtust ja lõpuks õigeaegset metalli ning räbu väljalaskmist.

Tabelis 43 on toodud ligikaudsed näitajad, mida tuleb arvestada malmi sulatamisel. Sulatuse ajal tuleb furmidelt eemaldada sinna sattunud tardunud aineid, kuna ummistunud ava kaudu pääseb vagrankasse tunduvalt vähem õhku kui puhta furmi kaudu ja sulatusprotsess võib halveneda.

Kui räbu on tõusnud furmideni, tuleb malm viivitamatult välja lasta.

Sulatuse lõpetamisel katkestatakse täite andmine ja umbes 20 minuti pärast vähendatakse järk-järgult ka õhu andmist. Lõpuks avatakse furmid ja lõpetatakse puhumine. Vagranka valmistatakse ette väljalöömiseks, lastes välja kogu allesjäänud metalli ja räbu. Märjad kohad vagranka all kaetakse kuiva lii-

[1] Peale esimeste tilkade ilmumist avatakse furmid, suletakse õhusiiber ja tehakse vormiseguga kinni metalli- ning räbuavad. Viimased tuleb täita vormiseguga kogu pikkuselt, et sulametall nendes ei tarduks. Peale esimest metalli väljalaskmist suletakse metalliava erilisest segust korgiga. — *Toim.*

Vagrankade režiimide põhiandmed

Täide, õhuhulk ja rõhk	Vagranka šahti läbimõõt mm									
	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Kütusepanus kg:										
koks	14—20	20—25	27—35	35—45	45—55	55—70	65—85	75—100	90—120	110—140
antratsiit (25%) ja koks (75%)	17—25	25—30	32—42	42—47	57—70	70—87	82—110	92—125	112—150	135—170
antratsiit (50%) ja koks (50%)	20—30	30—38	40—50	50—70	70—85	85—105	100—130	110—150	135—180	165—210
antratsiit (100%) . .	28—40	40—50	54—70	70—90	90—110	110—140	130—170	150—200	180—240	220—280
Koksitükkide läbimõõt mm:										
põhjakoksil	80—120	80—120	80—150	80—150	80—150	100—200	100—200	120—200	120—200	120—200
vahekoksil	40—80	40—90	40—100	40—110	50—120	50—130	50—140	60—150	60—150	60—150
Malmitükkide maks. suurus mm	150	200	200	250	300	300	350	350	400	400
Lubjakivi tükkide suurus mm	20—40	20—40	25—40	25—50	25—50	30—60	30—60	30—60	30—60	30—60
Õhuhulk, m³/min . . .	24—35	32—45	40—60	50—75	65—100	80—120	95—140	115—170	135—180	155—200
Õhurõhk mm vs. . . .	300—400	350—500	450—600	500—650	550—700	600—800	700—900	800—1000	900—1100	1000—1200

Märkused: 1. Metallipanuse kaal määratakse koksipanuse kaalu ja kütusekulu põhjal. Näiteks kui koksipanuse kaal on 80 kg, siis metallipanuse kaal on $\frac{80}{12} \cdot 100 = 672$ kg.
2. Räbustajad moodustavad 25—40% koksipanuse kaalust, sõltuvalt räbu soovitud voolavusest.

Peamised häired vagrankas sulatamisel, nende põhjused ning vältimise ja kõrvaldamise viisid.

Häired ja nende tunnused	Põhjused	Abinõud ärahoidmiseks	Abinõud kõrvaldamiseks
Furmide ummistumine	Must täide. Mittekvaliteetne räbustaja ja selle vähesus. Furmide halb hooldamine. Madal temperatuur vagrankas	Täite puhastamine liivast jm. Õige räbustaja kasutamine, kahe või kolme furmide rea kasutamine. Temperatuuri tõstmine vagrankas	Puhastada furmid. Temperatuuri tõstmiseks lisada koksi. Räbu vedeldamiseks kasutada martäänräbu või sulapagu
Täite ülemine rippumine (täitepind ei alane, gaaside temperatuur tõuseb, õhusurve väheneb)	Täite halb ettevalmistamine (suuretükiline murd ja pikad plokid). Augud ja väljaulatuvad osad voodris	Täite hoolikas ettevalmistamine. Voodri kvaliteetne remont. Silindrilise ristlõike tagamine ülalpool sulamisvööd	Lõpetada puhumine. Lüüa kangiga täide läbi. Puistata uus koks
Alumine rippumine (furmis on näha sulamata metall, surve suureneb)	Täite halb ettevalmistamine (suuretükiline murd, palju liiva ja mustust), kütuse kõrge tuhasisaldus ja mittekvaliteetne räbustaja. Koksi vähesus ja õhu liig	Täite hea ettevalmistamine (peenestamine ja puhastamine). Kvaliteetse kütuse ja räbustaja kasutamine Täitepanuse koksi kaalu ja õhuhulga õige vahekord	Puistata uus koks, puhastada furmid räbust. Kui rippumine ei lakka, tuleb sulatus peatada ja lüüa vagranka põhi lahti, et vältida «kitse» (metalli tardumine koldes) tekkimist
Metalli madal temperatuur	Täite halb ettevalmistamine ja vagranka hiline üleskütmine. Mitteküllaldane õhuhulk või katkestused selle andmises. Kütuse vähesus või madal kvaliteet	Vagranka korralik üleskütmine ja täite hea ettevalmistus. Kõrvaldada katkestused õhu andmisel. Seada õige vahekord õhu ja kütuse hulga vahel	Puistata uus koks Halva kütuse korral vähendada õhu andmist
Metalli väljatungimine a) põhja kaudu b) koguja ja vagranka vahelt.	Põhja vale täitmine (kuiv segu, ebatihe täide, täitekihi mitteküllaldane paksus). Põhjapiirkonna voodri halb remont või mitteküllaldane vooder	Põhja ja kaevu alumise osa voodri täitmise nõuetest kinnipidamine	Lõpetada õhu andmine, läbimurtud koht sulgeda algul liivaga, siis saviga, laduda kinni tellistega ja tugevalt kinnitada

Tabel 44 (järg)

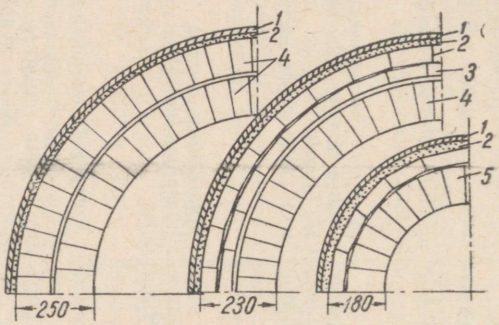
Häired ja nende tunnused	Põhjused	Abinõud ärahoidmiseks	Abinõud kõrvaldamiseks
Põhi ei lange alla	Põhja täitmine liiga märja või liiga savise seguga	Põhja täitmise nõuetest kinnipidamine	Põhja jäänused purustada ettevaatlikult sammaste tagant pika kangiga
Põhjakoks ei lange alla.	Metallikihi külmumine põhjal liiga kõrge läve või metalliava ette tekkinud sügava süvendi tõttu	Põhja pind ei tohi olla avast või ühenduskanalist madalam. Metall peab olema küllalt kuum	Visata täiteakna kaudu vagrankasse kolm-neli rasket malmplokki või malmimurru tükki. Puhastada põhja ääred alt pika kangiga
Voodri läbipõlemine.	Mittekvaliteetne vooder. Kergeltsulavate räbustajate liigne kasutamine. Õhu ebaühtlane jaotamine furmide vahel	Kvaliteetne remont. Normide silmaspidamine räbustajate andmisel.	Valada kestale vett, jälgides, et seda ei koguneks vagranka ette ega selle alla
Metalli külmumine avas: sulatuse algul pärast peatamist.	Vagranka madal temperatuur halva üleskütmise tõttu või madala põhjakoksi tõttu. Liiga pikk väljalaskeava	Korralikult soojendada voodrit ja kogujat enne õhu andmist. Täita sulatuse nõudeid. Kinnitada õieti avaplokk ja õieti sulgeda tema ava. Teha ülemine tagavaraava	Ettevaatlikult avada alumine ava, et mitte purustada tellist, või lasta metall välja ülemise ava kaudu. Puistata uus koks. Põletada hapnikuga ava läbi. Kui see ei õnnestu, tuleb purustada põhi ja sulatusprotsess peatada

vaga, varutakse vajalikud tööriistad ja veevoolikud. Kogujaga vagrankal avatakse uksed, seejärel põhi ning koks ja räbu valatakse veega üle.

Tabelis 44 on antud vagrankas sulatamisel esinevad häired, nende tekkimise põhjused, samuti abinõud nende ärahoidmiseks ja kõrvaldamiseks. (Справочник мастера по чугунному литью, Машгиз, 1953, lk. 374—376.)

VAGRANKA REMONT

Vagranka šahti ja koguja voodrit remonditakse kiilukujuliste šamott-tellistega. Et saada minimaalset vuuki, peavad kiilukujulise tellise mõõted vastama šahti läbimõõdule, eriti voodri sisemise kihi puhul. Väline kiht võib olla laotud vaheldumisi sirgetest ja kiilukujulistest tellistest.



Joon. 177. Vagranka šahti voodri ladumisskeem:

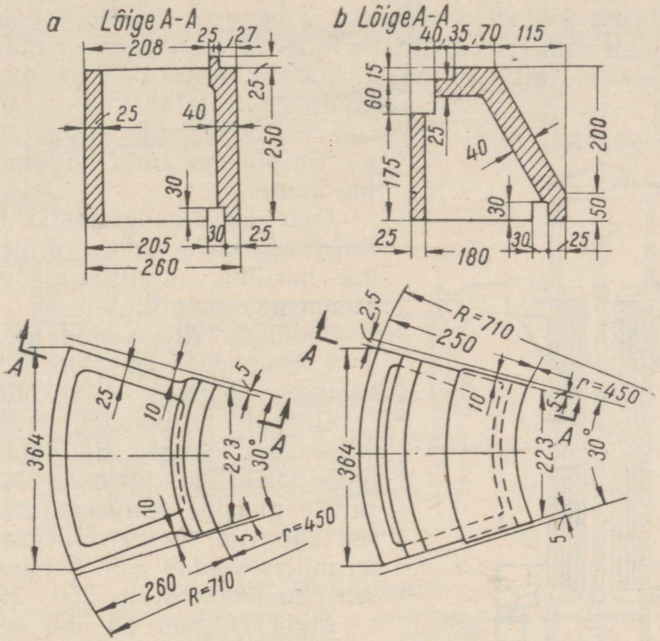
1 — kest; *2* — puiste või võõp (25—30 mm); *3* — lapiti laotud tellised; *4* — harilikest ja kiilukujulistest tellistest serviti laotud kiht; *5* — suure kaldega kiilukujulistest tellistest serviti laotud kiht (45/65 ХП3).

Sulamisvöös, furmidest kuni 1 m kõrguseni kasutatakse kõrgeima tulekindlusega šamott-telliseid (klass А), kromiitkivi või täidisvoodrit. Kolle võib olla vooderdatud Б klassi šamott-tellistega. Väline kiht valmistatakse poolhappelistest tellistest, mis on odavamad kui šamottkivid. Sulamisvööst kõrgemal asuva voodri sisemine kiht, samuti sädemepüüdja korsten, kamber ja võlvid vooderdatakse В klassi poolhappeliste tellistega.

Koguja ja kolde soojusisolatsiooniks kasutatakse kergeid diatomiittelliseid ja asbestplaate. Šahti voodri skeem on näidatud joonisel 177. Täiteaknast allpool vagranka vooderdatakse malmtellistega (joon. 178).

Vagranka kestas on voodri toetamiseks ja jäigistamiseks 30×30 mm või 50×50 mm nurkterasest rõngad. Mõnikord kasutatakse tellisvoodri asemel täidisvoodrit, mis on esimesest odavam ja peab vastu 3—4 vahetust. Kolde ja šahti seina täitmiseks

furmidest 1000 mm kõrgemal olevas osas valmistatakse mört, mis koosneb 3 osast jahvatatud šamotist ja 1 osast savist, millele lisatakse 5—6% vett. Kuivad ained segatakse kollerveskis, lisatakse seejärel järk-järgult vesi ja segatakse, kuni saadakse ühtlane mass. Segu tugevuse tõstmiseks lisatakse veele vesiklaasi (1 l 10 l vee kohta). Kest laotakse seestpoolt üle lapiti tellistega, seatakse üles terasplekist 300—350 mm laiune vöö, tekkinud vahe



Joon. 178. Vagranka malmtellised:
a — keskmiste ridade jaoks; *b* — ülemise rea jaoks täiteava kõrgusel.

täidetakse seguga 60 mm paksuste kihtide kaupa ja lüüakse tambitsatega kinni. Täitmist jätkatakse, tõstes vööd järk-järgult kõrgemale. Pärast täitmist tehakse voodrisse ventilatsioonikanalid ja kuivatatakse üks ööpäev.

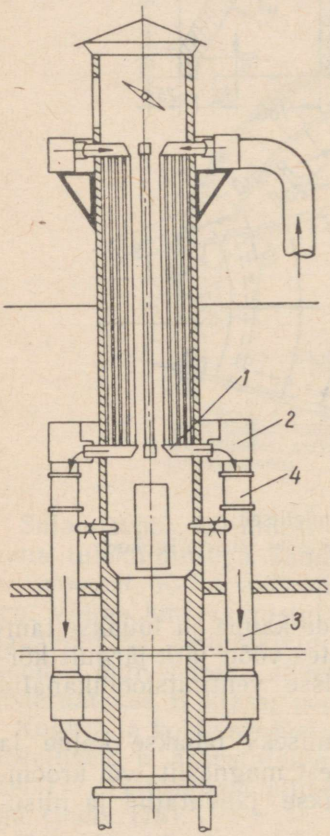
Väävli- ja fosforisisalduse vähendamiseks tehakse kolde ja šahti vooder sulamispiirkonnas aluselistest magnesiit- või kroommagnesiittellistest. Sideainena kasutatakse jahvatatud ja niisutatud kroomrauakivi.

Aluseliseks müürituseks ei kasutata liiv-savi- või šamottmörti, kuna magnesiittellis laguneb poolhappelise mördiga kokkupuutumisel kergesti, mille tagajärjel metall võib tungida läbi kolde voodri. Aluseline täidisvooder tehakse jahvatatud ja stabiliseeri-

tud dolomiidist (dolomiit segatakse 2—3% kvartsliivaga ja põletatakse). Sideaineks on kuum tõrv või vesiklaasi lahus (1% vesiklaasi, 6% vett segu kaalu kohta).

Vagrankade erikonstruktsioonid

Malmi temperatuuri tõstmine omab suurt tähtsust. Külma metalli tõttu võib tekkida valandite praak (gaasitühimikud, lubatavast kõrgem väävlisisaldus, valandite õhukeste seinte valgenemine). Selle ärahoidmiseks on rida abinõusid. Majanduslikult ja tehniliselt üks efektiivsemaid vahendeid on õhu eelsoojendamine. Õhku võib eelsoojendada toru- või plaateelsoojendites, mida kuumutatakse väljuvate gaasidega või kütuse põletamisega eraldi koldes. Kasutatakse ka kombineeritud eelsoojendeid, milles väljuvad gaasid põledes annavad oma soojuse üle õhule.



Joon. 179. Õhueelsoojendi (J. Homudes):
1 — terastorud; *2* — külma õhu juurdevool; *3* — kuuma õhu torud kollektorisse; *4* — kollektor.

Õhu eelsoojendus tõstab temperatuuri vagranka šahtis, millega saame hariliku sulatusega võrreldes kuumemat metalli.

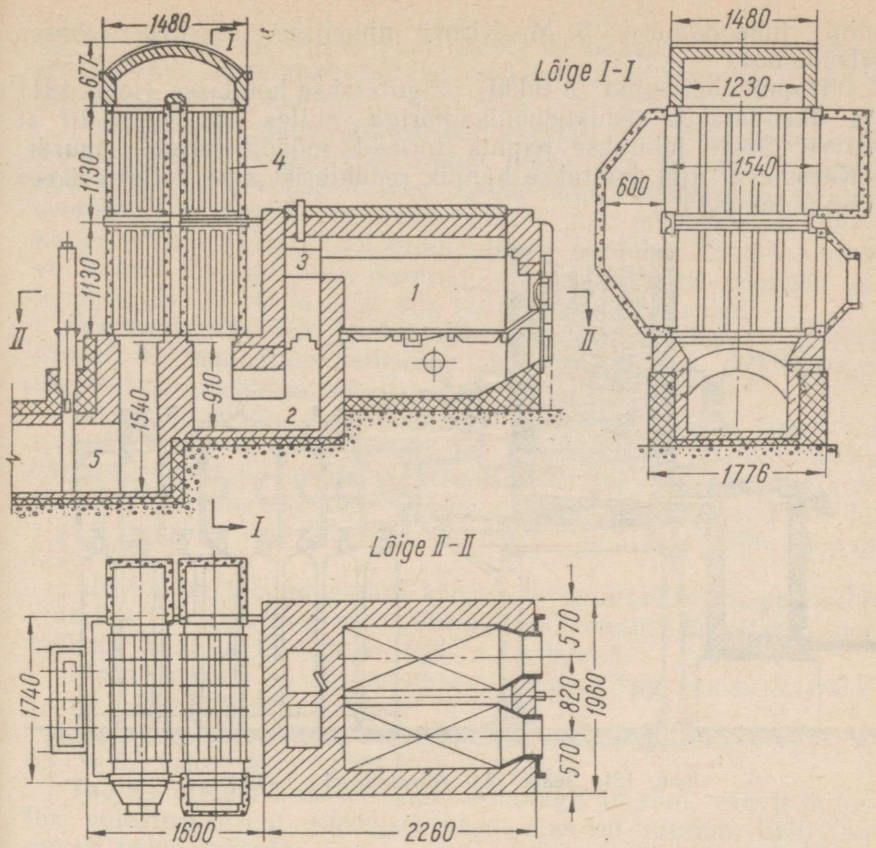
Joonisel 179 on näidatud insener J. S. Homudes'i eelsoojendi, mis on kasutusel tehases «Stankolit».

Gaasid segunevad vagrankast väljumisel õhuga. Säilinud vingugaas põleb lõplikult ning tõstab väljuvate gaaside temperatuuri. Viimased annavad soojuse üle terastorudele, milles voolab õhk. Seejuures tõuseb õhu temperatuur 250—350° C-ni.

Mida kõrgem on õhu eelsoojendus, seda vähem kulub sulatuseks kütust. Ülalkirjeldatud seadme kasutamisel on kütuse kokkuhoid 20%. Malmi temperatuur tõuseb seejuures 20—40° C võrra, mis tagab valandite normaalse kvaliteedi.

Õhu eelsoojendiga vagranka kasutegur tõuseb võrreldes tavalise sulatusega 0,327-lt 0,370-ni. Üldine kasutatud soojushulk suureneb ettesoojendatud õhu füüsikalise soojuse arvel 8,2% võrra.

Mida kõrgem on antava õhu temperatuur, seda väiksem on koksikulu ja seda suurem vagranka tootlikkus.



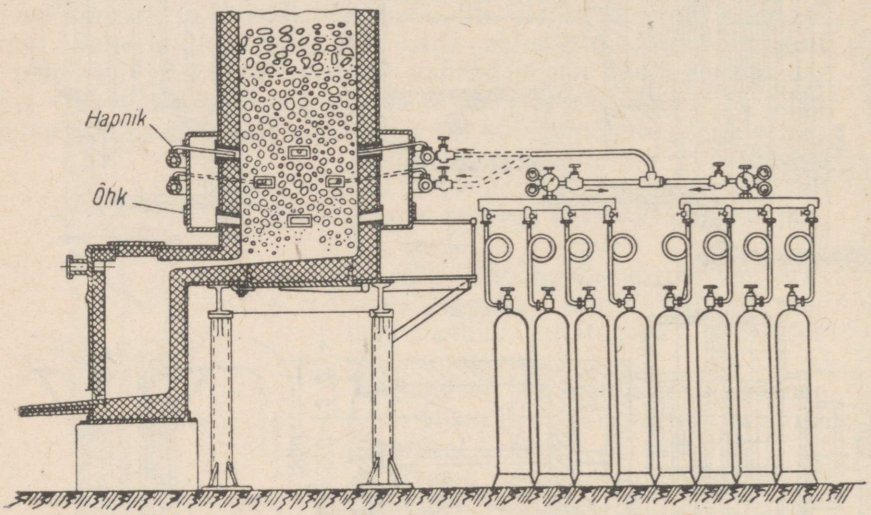
Joon. 180. Õhueelsoojendi:
1 — kolle kohalike kütuste põletamiseks; *2* — suitsukäik; *3* — sekundaarõhu ava; *4* — soojusvahendaja; *5* — suitsulõõr.

Joonisel 180 on toodud teine õhueelsoojendi tüüp (ВИСХОМ), mille pani ette insener J. J. Hrapkovski. Odavad kohalikud kütused — turvas, lahja või pruunsüsi, tõrv, saepuru jne. põletatakse eraldi koldes *1*. Põlemissaaduste lõplikuks põletamiseks väljumisel suitsukäiku antakse avade *3* kaudu lisaõhku. Kuumad gaasid annavad soojuse üle soojusvahendajale *4*, mis koosneb torudest või valatud malmsektsioonidest. Viimased on konventsioonipinna suurendamiseks nii seest- kui ka väljastpoolt kaetud lamedate teravikkudega. Sellises seadmes soojeneb õhk 400—500° C ning suundub siis furmidesse, kuna jahtunud põlemisgaasid lahkuvad suitsukäigu *5* kaudu korstnasse.

Uus lihtne ja efektiivne viis vagrankast väljalastava malmi temperatuuri tõstmiseks on vagrankasse antavale õhule hapniku lisamine; selle töötas välja insener L. I. Levi akadeemik I. P. Bar-

dini juhendamisel S. M. Kirovi nimelises Moskva tehases «Dünamo».

Hapnikuballoonid (8 tükki) paigutatakse hoidlasse (joon. 181) ja ühendatakse reduktsioonikambriga, milles on umbes 10 at surve. Sealt juhitakse hapnik torusid mööda furmide juurde. (Käesoleval ajal juhitakse hapnik reduktorist otse kollektori ees õhujuhtmesse.)



Joon. 181. Seade õhu rikastamiseks hapnikuga.

Õhu rikastamise puhul hapnikuga väheneb soojuskulu inertse õhulämmastiku soojendamiseks. Koksi süsiniku põlemine on täielikum, kuna suhe $CO_2 : CO$ väljuvates gaasides suureneb 80-ni. Kütuse põlemissoojus vabaneb täielikumalt. Malmi temperatuur tõuseb olenevalt lisatud hapniku hulgast. Koksikulu väheneb, vagranka tootlikkus suureneb, termiline kasutegur suureneb 50—60%-ni.

ALUSELISE VOODRIGA VAGRANKA

On kindlaks tehtud, et osa koksiga toodud väävlihulgast lendub koos väljuvate gaasidega, teine osa jaguneb metalli ja räbu vahel. Mida rohkem on räbu, mida suurem on tema aluselisus (suhe $\frac{CaO+MnO+FeO}{SiO_2}$) ning mida kõrgem on ülekuumutustsooni temperatuur, seda rohkem järelejäänud väävlit läheb räbusse ja seda vähem on teda malmis. Aluseline räbu (suhe $\frac{CaO + MnO + FeO}{SiO_2} > 1$) saadakse dolomiidist või kroommagnesiidist aluselise vood-

riga vagrankades. Dolomiidist vooder on odavam, kuid ka vähem vastupidav; kroommagnesiidist vooder on küll kallim, kuid ta vastupidavus on suurem.

Toordolomiit jahvatatakse kollerveskis ja põletatakse segus 3—4% kvartsliivaga. Põletamine hoiab ära dolomiidi hügroskoopsuse ja pudeduse niiskes keskkonnas. Põletamise (stabiliseerimise) tagajärjel saadakse tükid, mis jahvatatakse uuesti kollerveskis. Saadud dolomiidipulber segatakse 2—3% veega või kuuma tõrvaga. Selle meetodi kasutamisel tuleb dolomiiti soojendada 80—90° C ja alles siis täita vagranka vooder.

Vagrankasid võib vooderdada magnesiittellistega, või veel parem kroommagnesiittellistega. Sideaineks võib olla tõrvaga segatud magnesiidipulber.

Aluselise voodri pragunemise vältimiseks ei lööda vagrankat sulatuse lõpul tühjaks. Metall ja räbu lastakse täielikult välja, väljalaskeavad ja furmid määritakse saviga kokku ja vagranka jäetakse ööks seisma koos hõõguvate koksijäänustega. Enne töö algust antakse vagrankasse põhjakoks, laaditakse täide ja avatakse õhk.

Allpool on toodud malmi koostised sulatamisel happelise ja aluselise voodriga vagrankas ühesuguse keemilise koostisega toormalmist Uus-Tagili tehase 1944. a. andmetel.

Malmi koostis pärast sulatust happelises vagrankas: 3,12% C; 1,73% Si; 0,74% Mn; 0,18% P ja 0,12% S.

Malmi koostis pärast sulatust aluselises vagrankas: 3,84% C; 0,71% Si; 0,98% Mn; 0,07% P ja 0,047% S.

Taoline erinevus on seletatav asjaoluga, et räni, väävli ja fosfori põlemisprotsent aluselises vagrankas on suurem. Eriti tunduvalt põleb ära räni.

Mangaanisisalduse vähenemine ei ületa 5%, võrreldes algkoostisega.

Esialgsest väävlihulgast põleb ära 40—50%, fosforist 60—80%. Aluselise voodriga vagrankas malm rikastub süsinikuga, kuna väheneb väävlihulk, mis rauas tõrjus süsiniku lahust välja.

Aluselise voodriga vagranka ekspluatatsioonis kasutatakse räbustajana dolomiiti või sulatuse oksüdeerimisperioodi jahvatatud martäänräbu. Räbustaja hulk moodustab koksi kaalust 15—20%.

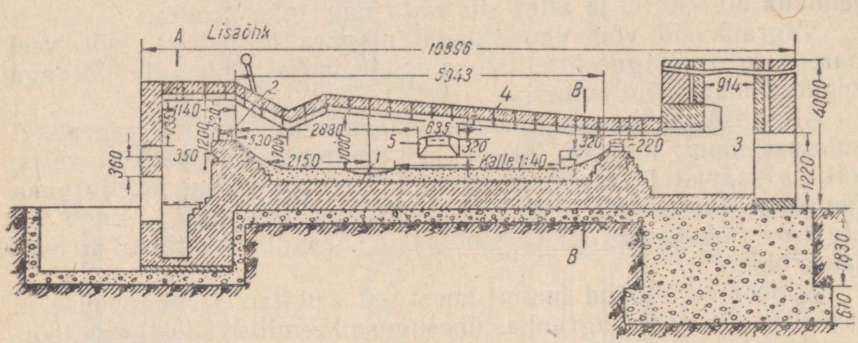
Temperatuuri tõstmisel vagrankas suureneb veelgi aluselise räbu kasulik toime. Fosfori eemaldamiseks malmist lisatakse täitesse 1—2% raua- või mangaanimaaki (pürolüsiiti MnO_2).

MALMI SULATAMINE LEEK- JA ELEKTRIAHJUDES

Madala süsinikusisaldusega malmi saamiseks kulub suur hulk terasemurdu. Vagrankas rikastub terasemurd tugevasti süsinikuga ja tema lisamine on vähem efektiivne. Leekahjudes ja

elektriahjudes on malmivanni temperatuur kõrgem kui vagrankas. Seetõttu võib neis sulatada suure terasehulgaga täidet ning saada metalli, mille süsinikusisaldus on 2,2 kuni 2,8%. Vagrankast on sellise koostisega malmi saamine võrdlemisi raske.

Musta murdega tempermalmist (2,5 kuni 2,7% C) valandite saamiseks kasutatakse väikesemahulisi kivisöel ja masuudil töötavaid leekahje. Joonisel 182 on toodud Brjanski tehases autori projekti järgi valmistatud 5 t mahtuvusega ahi. Ahju köetakse kivisöe või masuudiga.



Joon. 182. 5 t leekahi:
1 — väljalaskeava; *2* — künnis; *3* — korsten; *4* — võlv; *5* — täiteava.

Ahju põhi täidetakse jahvatatud kvartsiidiga, mis on segatud kuuma veevaba tõrvaga; kvartsiiditerade läbimõõt on alla 5 mm. Täitmine toimub pneumaatiliste tambitsatega, mille otsad soojendatakse eelnevalt koksitulel. Põhjale antakse väljalaskeava *1* suunas kalle 1 : 40.

Ahju sulatusruum on kaetud valatud malmkaartest võlviga, mis vooderdatakse tellistega. Üksikud kaared paigutatakse ümber sildkraana abil. Äravõetav võlv lihtsustab remonttöid ning võimaldab täitematerjale lasta ahju kraana abil, millega väheneb tunduvalt tööde maht, kiireneb täite laadimine ja lüheneb ahju seisuaeg. Täiteava kaudu, mis asub väljalaskeava vastasseinas, antakse ahju lisamaterjale ja segatakse roobiga sulametalli.

Täidetud ahju puhul peab metalli ja räbu pind olema veidi madalamal täiteavade läve pinnast.

Vanni mahutatavust mõõdetakse malmi ja räbu kaaluga. Väikestel ahjudel on vanni sügavus 300 mm, suurtel ahjudel (täitekaal umbes 40 t) mitte üle 450 mm. Kui vann on liiga sügav, ei jõua võlvist peegelduv ja vanni kohal liikuv gaasivoolavus soojendada metalli ja täidet küllalt kiiresti. Üle 2 m laiusi vanne on sulatuse ajal ebamugav teenindada. Sulatusruumi pikkus on 5—11 m.

Tempermalmi valutsehhides leekahjude täite kaal ei ületa 5—7 t, valtsimis- ja valutsehhides aga 20—40 t. Leekahjude põhimõõted on antud tabelis 45.

Tabel 45

Leekahjude mõõted
(*L. I. Fantalov*)

Mõõted	Täite kaal t		
	5—7	15—18	25—30
Vanni pikkus m	4,5	6,0	7,0
Vanni laius m	1,25	1,6	2,0
Põhjapind m^2	5,6	9,6	14,0
Sulatusaeg, tundi	4—5	5—7	4—7

Vannahjude seinad, põhi ja võlv vooderdatakse 1. sordi šamott-tellistega.

Ühe tonni malmi sulatamiseks kulub 15—20% masuuti, 35—40% kivisütt, 30—35% kivisöetolmu või 400—600 m^3 koksigaasi (kaloorsusega 4000 $\frac{kcal}{m^3}$).

Uue voodri puhul või pärast remonti kuivatatakse ahju puiduga ja kuumendatakse pikkamööda helekollase hõõgumiseni; seejärel osa võlvist eemaldatakse, lastakse algul põhjale lehtmurd, siis täite suuremad tükid ja lõpuks kõrgahju malmplokid. Täide peab olema kohev; on oluline, et täites oleksid küllalt laiad kanalid gaaside liikumiseks. Võlv asetatakse oma kohale tagasi ning kaetakse praod mördiga.

Mida kuumem on ahi, seda kiiremini metall sulab ja kuumeneb, seda väiksem hulk metalli ja tema lisandeid põleb ära.

Räbu oksüdeerimiseks ja vedela metalli ärapõlemise vältimiseks puistatakse sulametalli vanni pinnale jahvatatud koksi või sütt ja kõrgahju ferrosiliitsiumi. Rauamaagi lisamine halvendab metalli kvaliteeti. Esialgsest räni- ja mangaanihulgast põleb sulatuse ajal ära 15—20%; fosforisisaldus jääb muutumatuks. Metalli küllastumisaste väävliga sõltub masuudi või kivisöe väävlisisaldusest.

Väikestes ahjudes aeglasel sulatusel malmi väävlisisaldus suureneb võrreldes esialgsega 20—30% võrra, s. t. vähem kui vagrankas. See on leekahjudes sulatamise üheks oluliseks eeliseks.

Et kiirendada sulatust, on kasulik vannahjudesse juhtida eelsoojendatud õhku ja hapnikku. Leekahjude räbud on järgmise koostisega: 50—60% SiO_2, 5—15% Al_2O_3, 5—25% FeO, 3—15% MnO ja 8—20% CaO.

Mida kõrgem on sulatuse temperatuur, seda väiksem on räni põlemiskadu, kuna räni kõrge temperatuuri tõttu taandub ja võib osaliselt üle minna räbust metalli. Raua, räni ja mangaani põlemiskadu oksüdeerimisel ulatub kokku 1 kuni 3%-ni, kuna metalltäite summaarne (koos liiva ja roostega) põlemiskadu moodustab 4—7% esialgsest kaalust.

Kuni täite sulamiseni peab leek olema lühike ja tugev; kui

täitemetall on juba sulanud, tehakse leek pikaks ja katvaks, et metalli läbi soojendada terve vanni pikkuses. Selleks et leek puutuks vahetult kokku metalli pinnaga, eemaldatakse sealt esimene räbu.

Olenevalt ekspressanalüüsi tulemustest segatakse sulanud massi korrigeerivaid lisandeid. Vahel lisatakse süsinikusisalduse tõstmiseks ahju vagrankast saadud vedelat malmi. Enne metalli väljalaskmist tehakse kiilproov malmi murdepinna valgenemise määramiseks ja mõõdetakse metalli temperatuuri.

Käsitsivalamise puhul kestab valamisprotsess 1—1,5 tundi. Süsiniku väljapõlemise vältimiseks jäetakse ahju räbukiht.

SULATAMINE KAHES AHJUS
(Kahekordne protsess)

Sulatamist kahes sulatusagregaadis nimetatakse kahekordseks protsessiks (dupleks-protsess).

Dupleks-protsessi puhul (vagranka—elektriahi) kasutatakse vagrankat kui odavat sulatusagregaati metalli sulatamiseks, kallist agregaati — elektriahju — aga ainult metalli ülekuumutamiseks (kuni 1500° C).

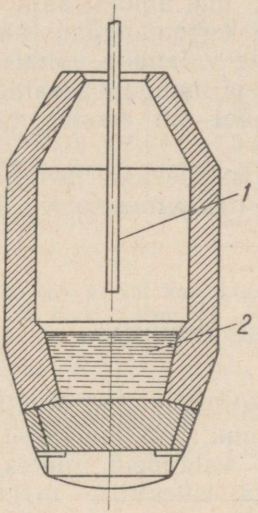
Kahekordses protsessis töötavas vagrankas on koksikulu sama mis hariliku sulatuse juures. Ülekuumutamiseks elektriahjus kulub kõigest 80—200 kWh/t, kuna vedelat metalli hoitakse seal ainult 30—40 min. Elektriahju mahutatavus on võrdne ligikaudu vagranka pooletunnilise toodanguga. Süsielektroode kulub 3—5 kg tonni metalli kohta. Põhja vooder peab vastu 1000—1200, lae vooder 100—140 sulatust. Põhi ja seinad on täidetud kvartsliivaga, millesse on segatud 6—10% šamottsavi või 5—8% vesiklaasi.

Enne vooderdamist ahju soojendatakse, küttes teda puiduga 6—8 tundi, eemaldatakse siis tuhk, võõbatakse põhi üle vesiklaasiga ja tambitakse segu 20—30 mm paksuste kihtide kaupa kinni. Seejärel kaetakse põhi veel kord vesiklaasiga ja täidetakse järgmine kiht.

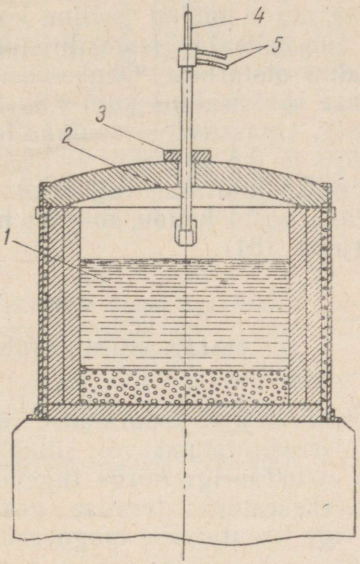
Pärast põhja vooderdamist täidetakse ahju nõlvad. Põhja pind ja seinad looditakse ja kontrollitakse ahju joonise järgi. Edasi ahju kate suletakse ja algab kuivatamine, algul 3—5 tunni jooksul puiduga, hiljem koksiga, millest puhutakse läbi suruõhku. Seejärel põhi ja seinad kuivatatakse elektrivooluga. Algul antakse 10—15 min. jooksul nõrka voolu, tehakse siis 15—20 min. vaheaeg, antakse uuesti 10—15 min. jooksul nüüd juba tugevamat voolu, tehakse jälle vaheaeg 15—20 min. jne. Elekterkuivatuse ajaks peavad seintele ja põhjale olema asetatud vanad elektroodid või koksitükid. Sulatuse ajal puistatakse ahju kvartsliiva ja veidi lupja räbu vedeldamiseks. Metalli pinnale tekitatakse õhuke räbukiht, et kaitsta teda põlemise ja süsinikuga küllastumise eest. Räbu koostis: 60—70% SiO_2, 2—7% Al_2O_3, 10—20% FeO ja Fe_2O_3, 5—7% MnO, 8—10% CaO ja 1% MgO.

Koos malmiga elektriahju sattunud räbu tuleb eemaldada ja asendada uue räbu õhukese kihiga.

Sulatus aluselises kaarleekahjus erineb selle poolest, et pärast malmiga ahju sattunud vagrankaräbu eemaldamist tekitatakse lubjast, jahvatatud koksist ja sulapaost (karbiidräbust) aluseline räbu, et kergendada väävli eemaldamist metallist. Mida kauem metalli hoitakse karbiidräbu all, seda vähem jääb temasse väävlit.



Joon. 183. Hapniku juhtimine konverterisse:
1 — toru; *2* — vedel metall.



Joon. 184. Hapniku juhtimine vagrankasse (A. N. Voronova):
1 — vedel metall; *2* — hapnikudüüs; *3* — ökonomaiser; *4* — hapnikutoru; *5* — veetoru.

A. I. Smirnov jt. Odessa Polütehnilisest Instituudist ja A. N. Voronova Kiievist töötasid välja kahekordse protsessi madala süsinikusisaldusega malmi saamiseks, kusjuures sulatamine toimub vagrankas ja vedel metall puhutakse hapnikuga läbi happelises konverteris. Selle protsessi jooksul väheneb malmi süsinikusisaldus 3,5%-lt 2,0—2,6%-ni.

Hapnik juhitakse balloonidest või tehase hapnikujuhtmest veega jahutatava toru *1* kaudu rõhul 3—5 atü konverterisse, kusjuures toru ots ei ulata vedela metalli *2* pinnani (joon. 183). Eelnevalt on konverteri temperatuur tõstetud 800—1000° C.

Malm viiakse vagrankast 1270—1300° C juures koppadega konverterisse. Mida kõrgem on konverteri ja malmi temperatuur läbipuhumise alguses, seda rohkem räni jääb metalli. Kui hapnikku on kulunud 10—15 m³ tonni malmi kohta, pööratakse konverter malmi väljalaskmiseks ümber ja lõpetatakse puhumine.

Malmis on enne läbipuhumist 3,5—4,0% C; 0,9—2,0% Si; 0,9—1,5% Mn; kuni 0,20% P ja kuni 0,12% S.

Pärast läbipuhumist säilib malmis 1,8—2,5% C; 0,40—0,60% Si; 0,15—0,30% Mn; kuni 0,20% P ja kuni 0,10% S.

Osa väävlist aurustub ja põleb ära isegi happelise voodri puhul.

Malmi temperatuur on koppa valamisel 1400—1470° C, mis võimaldab sulatada kõrgeprotsendilist ferrosiliitsiumi ja kõrgahju ferromangaani, et asendada väljapõlenud mangaani ja räni ning saavutada malmi selline koostis, mis annab halli murdepinna. Juurdelisatav ferrosiliitsiumi ja ferromangaani hulk oleneb malmi otstarbest. Õhukeseseinaliste valandite valmistamisel tõstetakse ränisisaldus kuni 1,8—2,0% ja mangaanisisaldus kuni 0,4—0,5%, massiivsete valandite puhul on vastavad arvud 1,3—1,5% ja 0,5—0,6%.

Hapnikku juhitakse vagranka kogujas olevasse metalli veega jahutatava furmi kaudu, mis on horisontaalpinna suhtes 60—70° kaldu (joon. 184).

MALMI MODIFITSEERIMISE TEHNIKA

Käesoleval ajal kasutatakse eeleutektilise malmi modifitseerimiseks ferrosiliitsiumi või silikokaltsiumi, kui tahetakse saada ühtlase struktuuriga kõrge tugevusega valandeid, milles grafiit esineb lehekestena; teralise grafiidiga eutektilise malmi saamiseks aga kasutatakse magneesiumi või magneesiumi ja ferrosiliitsiumi.

Eeleutektilise malmi modifitseerimise käigus tuleb 75%-line ferrosiliitsium jahvatada ja sõeluda kollerveskis, et eemaldada tolm (osakesed alla 0,7 mm) ja suured tükid, millega luuakse paremad tingimused lisandite lahustamiseks.

Modifitseerimise eel kuumutatakse kopad kollase hõõgumiseni (kuivatatakse, soojendatakse puidutulega ja valatakse eelnevalt vedela metalliga üle).

Ettevalmistatud rauasulam kaalutakse ja tõstetakse pika varrega raudkulbi abil koppa. Pärast ferrosiliitsiumi lisamist segatakse kõik ettesoojendatud raudroobi abil suures kraanakopas läbi. Lisandit pole soovitav puistata kopa põhjale, kuna osa tükke võib kleepuda pehmenenud tulekindla voodri külge, kus nad ei sula ja moodustavad räbukihi all «mütsi». Lisandid on soovitav puistata koppa viimase täitmise ajal metalliga, kui metalli pind on tõusnud juba üle $^1/_3$ kopa kõrgusest.

Põhilised tingimused hallmalmi modifitseerimiseks 75%-lise ferrosiliitsiumiga on toodud tabelis 46.

Modifikaatori tükisuurus ja koppa puistamise viisid sõltuvad kopa mõõdetest ja on näidatud tabelis 47.

Tabel 46

Hallmalmi modifitseerimise põhilised tingimused
(A. I. Haberzettel)

Malmi mark	Süsiniku %	Ränisisaldus malmis %		75%-lise ferrosiliitsiumi hulk protsentides malmi kaalust	Malmi temperatuur rennis pürometri järgi, mitte vähem kui °C	Proovikiilu valgenemise sügavus mm	
		Lähtemalm	Peale modifitseerimist			Lähtemalm	Peale modifitseerimist
СЧ24—44	3,2—3,4	1,4—1,6	1,6—2,0	0,4—0,6	1400	10	8—10
СЧ28—48	3,1—3,3	1,2—1,4	1,5—1,8	0,5—0,7	1410	15	10—15
СЧ32—52	3,0—3,2	1,0—1,2	1,3—1,7	0,5—0,7	1420	25	10—20
СЧ35—56	2,0—3,1	0,8—1,0	1,2—1,6	0,6—1,0	1430	Üleni valgenenud	15—25
СЧ38—60	2,8—3,0	0,6—0,9	1,2—1,6	0,8—1,2	1440	Sama	20—30

Märkused: 1. Kui kasutatakse teistsuguse koostisega lisandit, siis määratakse selle hulk järgmiste markidega ferrosiliitsiumi kohta: Si75—1,0%; Si90—0,8%; Si45—1,8%; KaSi — 0,8%; silikokaltsiumi — 0,8%.

2. Enne puistamist metalli tuleb lisandid soojendada 500—600° C.

3. Temperatuuril 1380° C lahustub malmis lisandit kõigest 50—70%, kõrgema temperatuuri juures rohkem.

4. Temperatuuri juures 1330° C antakse lisandid valukaussi vormi valamise ajal.

Tabel 47

Modifikaatori lisamise viisid ja tingimused
(A. I. Haberzettel)

Modifikaatori lisamise viis	Modifikaatori tükisuurus mm	Kopa iseloomustus
Vahepealse lahustaja-kopa kaudu, millel on põhjas väljalaskeavast 1,5 korda suurema läbimõõduga ava	10—15	Väikesed ja keskmised
Vahetult koppa, kui 1/3 sellest on täitunud metalliga	2—3	
Viimase väljalaske ajal koppa. Pärast modifikaatori lisamist on nõutav metalli segamine	5—8	Suured
Valukella all vedela metalliga koppa	20—30	
Vaheseinaga valukaussi vormi valamise ajal	10—15	

Pärast lisandi andmist tuleb metalli kopas hoida olenevalt kopa suurusest järgmiselt:

Kopa maht kg	50—100	100—500	500—3000	3000—6000	üle 6000
Hoidmise aeg min., mitte rohkem kui	3	5	10	15	20

Vastasel juhul kaovad lisandi modifitseerivad omadused täielikult, kuna metall oksüdeerub õhus teistkordselt.

Malmi modifitseerimine magneesiumiga

Magneesium sulab 651° C ja keeb 1170° C juures, erikaal tahkes olekus 1,737 g/cm³ ja vedelas olekus 1,586 g/cm³. Õhu käes süttib magneesium juba 400° C juures ja põleb valge leegiga järgmise reaktsiooni kohaselt:

$$Mg+{}^{1}/_{2}O_2=MgO+145\,760 \text{ kcal},$$

eraldades suure hulga soojust.

Ühinedes lämmastikuga, annab ta järgmise ühendi: $3Mg+N_2=Mg_3N_2+115\,200$ kcal; väävliga — sulfiidi $Mg+S=MgS+84\,930$ kcal; fosforiga — fosfiidi Mg_3P_2.

Magneesium tõrjub malmist välja vesiniku ja degaseerib metalli. Süsinikuga moodustab ta ebapüsiva karbiidi, mis laguneb veeauru mõjul:

$$2Mg_3C_2+6H_2O=6MgO+2C_2H_2+4H_2.$$

Magneesiumiga töödeldud malmi tihedus suureneb prof. K. I. Vaštšenko andmetel[1] 6,801 g/cm³-lt enne töötlemist 7,201—7,392 g/cm³-ni pärast töötlemist. Puhta magneesiumi või magneesiumi ja alumiiniumi sulami andmisel vedelasse malmi tekib suur kogus magneesiumiaure, mille mõjul malmitilgad lendavad kuni 10 m kaugusele. Seetõttu tuleb nimetatud töö juures kasutada ettevaatusabinõusid.

Magneesiumiühendite jagunemist malmis on vähe uuritud. Seetõttu tuleb magneesiumi ja tema sulamite hulka malmis arvutada kas või ligilähedaseltki prof. N. G. Giršovitši valemiga

$$Mg=0{,}008\ (C+Si)+0{,}00015R,$$

kus C ja Si on nende elementide protsentuaalne sisaldus malmis;
R — valandi paksus mm.

[1] П. В. Березин. Высокопрочные чугуны. Укрмашгиз, 1954, lk 67.

Enamus uurijatest peab keskmise kaaluga valandite puhul küllaldaseks 0,3—0,4%-list, massiivsete valandite puhul aga 0,6—1,0%-list Mg lisandit.

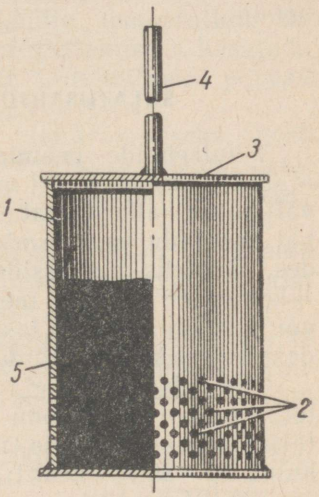
Lisatava magneesiumi hulk sõltub malmi keemilisest koostisest ja temperatuurist, valandi seinapaksusest, magneesiumi lisamise viisist ja lisatava magneesiumisulami koostisest.

Magneesiumi võib lisada mitmel kujul: puhtal kujul, elektroni ja 4—6% Al sulamis, räni ja raua, vase või nikli sulamites, samuti segudena ja brikettidena.

N. G. Giršovitši järgi ühineb malmiga puhtalt lisatud magneesiumist 17%. Sulamist, mis koosneb 50% magneesiumist ja 50% ferrosiliitsiumist, ühineb malmiga 20% lisatud magneesiumihulgast, sulamist 20% magneesiumi pluss 80% ferrosiliitsiumi — 25% ja sulamist 10% magneesiumi pluss 90% ferrosiliitsiumi — 33%.

Sulamite ja segude lisamine, milles on alla 15% Mg, ei põhjusta metalli pritsimist.

Külma magneesiumi ja ferrosiliitsiumi segu soojendamiseks ja sulatamiseks kulub suur hulk soojust. Malmi temperatuur alaneb modifitseerimisel 100° C võrra. Külmas metallis kulgeb modifitseerimine aeglaselt ja võib hoopis lakata, kui metall on liiga külm. Järelikult tuleb modifitseerimiseks ette nähtud malmi ülekuumutada temperatuurini kuni 1450—1500° C. Tugevamal ülekuumutamisel magneesiumi ühinemine malmiga veidi väheneb.



Joon. 185. Vedelale malmile magneesiumi lisamiseks kasutatav valukell:
1 — kell; *2* — avad; *3* — kaas; *4* — vars; *5* — magneesium.

Keskmistesse ja suurtesse koppadesse lisatakse magneesiumi «valukella» abil. Viimane valmistatakse terastoru tükist läbimõõduga 120—150 mm, seinapaksusega 4—7 mm ja pikkusega 300—350 mm. Toru alumisse kolmandikku puuritakse või põletatakse 36 ava *2* läbimõõduga 15—18 mm. Toru ülemine ots suletakse kaanega *3*, mis kinnitatakse gaasikeevitusega (joon. 185). Kaane külge keevitatakse vars *4*. Enne täitmist vooderdatakse valukell seest paksu paberiga. Magneesiumisegu *5* kaalub 1,75 kg ja ta maht on 1 l. Pärast sissepuistamist segu tambitakse tihedaks, kaetakse plaatasbestist kaanega ja seotakse 3—4 mm traadiga kinni. Pealt määritakse kell saviga, et teda hoida kasutamiskõlblikuna mitmeks korraks. Pakitud magneesium soojendatakse koos kellaga 100° C.

Modifitseerimiseks on sobiv kasutada trummelkoppe mahuta-

vusega kuni 1 t, samuti ka lahtist tüüpi koppe. Et vältida malmi pritsimist, täidetakse lahtine kopp ainult $^4/_5$ ulatuses ja suletakse kaanega. Metallipoolne kaane külg kaetakse saviga.

Suuremahulistesse koppadesse (10—20 t) lisatakse magneesiumi kaks-kolm korda. Magneesium ühineb paremini, kui teda lisatakse vedelas või gaasilises olekus. Kuid sellised seadmed on võrdlemisi keerukad. Kui malmi pärast modifitseerimist 20—25 min. jooksul ei valata vormidesse, siis magneesiumi toime lakkab.

Enne vormidesse valamist kontrollitakse metalli kvaliteeti kiilproovi murde järgi. Kui see ei vasta vajalikele nõuetele, võib malmile lisada täiendava hulga ferrosiliitsiumi (tugeva valgenemise puhul) või magneesiumi (kiilu õhukese osa mitteküllaldane valgenemine).

SULATUSAHJUDE VALIK MALMVALUTOOTMISES

Valutsehhide peamine malmihulk sulatatakse vagrankades. Malmisulatusprotsessi on vagrankas lihtne juhtida. Vedela malmi väljalaske katkestamatus ja sulatuse odavus võimaldavad vagrankat kasutada valuvormide pideva täitmisega konveiervalutsehhides. Dupleks-protsessides vagranka+elektriahi või vagranka+konverter lastakse metalli välja iga 30 min. järel. Leekahjudest või martäänahjudest lastakse malm välja 5—8 tunni tagant. Nendest ahjudest pole võimalik metalli saada pidevalt.

Õhu eelsoojenduseta vagrankade soojuskulu on $8—15.10^4$ kcal tonni malmi kohta, õhu eelsoojendusel aga $6—7.10^4$ kcal/t. Tahke täite sulatamiseks ja malmi ülekuumutamiseks kaarleekahjus kulub $25—35.10^4$ kcal/t; väikestes martäänahjudes (10—25 t) — $17—22.10^4$ kcal/t.

Hapnikupuhumisega konverteris madala süsinikusisaldusega malmi saamisel põleb ära 8—10% rauda ja tema lisandeid; leekahjus 5—80%, martäänahjus 3—6%; vagrankas 1,5—2,5% ja kaarleekahjus 0,3—1,0%.

5-tonnise tootlikkusega vagranka käsitsilaadimisel kulub ühe tonni malmi kohta 3 kuni 5 inimtundi, 5—10-tonnise tootlikkusega vagrankal täite mehhaniseeritud laadimisel 1,3—1,8 inimtundi. 5-tonnise leekahju teenindamiseks kulub 4,5—6,0 inimtundi, 30-tonnisel ahjul — 1,3—1,5 inimtundi ühe tonni metalli kohta.

Need võrdlusandmed näitavad vagranka eeliseid, võrreldes teiste sulatusahjudega.

Kõrgeltlegeeritud malmi tootmiseks on kõige otstarbekam kasutada kaarleekahje. Viimastes on kallite rauasulamite põlemisprotsent minimaalne.

Töölisi ei tohi lasta töö juurde, kui nad ei tunne ohutustehnikat. Isikud, kes rikuvad ohutustehnika eeskirju, võetakse nõukogude seaduste põhjal vastutusele.

Sulatusjaoskondades ei tohi temperatuur külmal aastaajal olla alla 12° C, teistes valutsehhi ruumides alla 15° C.

Vahekäigud, rööbasteed ja pöörderingid hoitagu puhtad. Et malmikuhjad ei laguneks ega vajuks, peab täitematerjalide lao põrand olema hästi kinni tambitud. Vasarad ja muud tööriistad peavad olema korralikult kinnitatud varrele. Täite ettevalmistuskohad peavad olema kindlalt kaitstud, et malmi purustamise juures tekkivad killud ei lendaks laiali.

On keelatud remontida sulatusahje, mille temperatuur on üle 50° C. Remondi ajal lubatakse ahju valgustamiseks kasutada elektrilampe pingega kuni 12 V. Lampide toitejuhtmed peavad olema broneeritud.

Vagrankas kinnisulanud materjalide lahtiraiumiseks peab kasutama korras tööriistu. Sel ajal peab vagranka olema pealt kaetud võrgu, kilbi või koonusega, mis on kinnitatud täiteakna läve tasapinnas.

Remonditud ja räbust puhastatud renni peab hästi kuivatama ja läbi soojendama. Tööline peab väljalaskeava avamise ajal seisma sellest teatud kaugusel küljesuunas.

On keelatud seista täiteakna juures vagranka läbipuhumise ja käivitamise ajal. Ventilaatori käivitamisel peavad furmid olema avatud. Pärast õhu avamist tuleb süüdata eelkoguja põhja ja uste juurde kogunenud gaasid.

Furmide puhastamisel räbust peab tööline kandma kaitseprille ja seisma puhastatava furmi kõrval.

Seadmed hapniku andmiseks vagrankasse peavad olema eelnevalt proovitud hüdraulilise survega 20 atü. Pärast katsetamist seade kuivatatakse, puhudes temast algul läbi õhku, hiljem 1,5 atü all hapnikku. Ruum, kus seatakse üles hapnikuseade, peab olema isoleeritud, puhas, üleliigsete esemeteta ja tasase põrandaga. Aknad ja uksed peavad avanema väljapoole. Selles ruumis ei tohi temperatuur tõusta üle +35° C. Hapnikuseadme ruumis ei tohi hoida määrde- ja kütteaineid ning suitsetada. Tulega ruumi sisenemine on rangelt keelatud.

Hapnikuballoonid peavad olema varustatud passiandmetega (ballooni number, läbiviidud ja järgneva järelevaatuse kuupäev, proovi- ja töösurve, valmistaja-tehase märk jne.) ja järelevaatuse märgiga katlajärelevalve inspektsioonilt.

Balloonide ventiilidel ei tohi olla õlitatud detaile ja tihendeid. Nad peavad olema varustatud kaitsekattega, väljalaskestutserid aga umbkorkidega. Katted ja stutserid peavad olema avatavad käega, kasutamata tööriista. Peale selle peavad balloonid olema värvitud siniseks ja varustatud pealkirjaga «Hapnik». Tsehhis

võib balloone transportida ainult vedrustusega kärudel, kusjuures tuleb vältida lööke.

Magneesiumi tuleb säilitada eemal kõrgetest temperatuuridest. Süttinud magneesiumi kustutada kuiva liivaga. Kohad, kus malmi töödeldakse magneesiumiga, peavad olema hoolikalt kuivatatud.

Magneesiumiga tegelevatel töölistel peavad olema kaitseprillid ja vastav tööriietus.

SULATUSJAOSKONNA PLANEERIMINE JA TÖÖDE ORGANISEERIMINE

Tööde organiseerimine ja sulatusjaoskonna planeerimine peab olema kooskõlas vormimisjaoskonna planeerimise ja tööde organiseerimisega. Kui sulatusjaoskonnas on kasutusel astmeline või kahe vahetusega paralleelne režiim, siis organiseeritakse samuti ka valujaoskonna töö. Astmelises režiimis sulatusjaoskond töötab ühes vahetuses, harilikult õhtuses. Öises vahetuses vagrankad jahtuvad, neid remonditakse päeval ja seejärel süüdatakse. Kahe vahetusega paralleelses režiimis üks vagranka töötab, teine seisab remondis, mõlemad vagrankad töötavad vaheldumisi. Üks vagranka töötab päevases ja õhtuses vahetuses, kuna öösel jahtub. Järgmisel päeval süüdatakse teine vagranka, esimest aga remonditakse. Kolmandal päeval lastakse käiku remondist tulnud esimene vagranka, kuna teist remonditakse jne.

Vagrankade arv suurtes tsehhides sõltub vormimisjaoskondade arvust, s. t. suurte valandite jaoks on olemas üks või kaks vagrankat, keskmiste valandite jaoks samuti üks või kaks vagrankat, kuna väikeste valandite saamiseks on kolmas vagranka või vagrankade paar. Eriti suurte valandite valmistamiseks kogutakse metalli mitmest üheaegselt töötavast vagrankast ühte või kahte koppa.

Sulatusjaoskond paigutatakse valamisjaoskonna vahetusse lähedusse, kuhu antakse vedelat malmi vormidesse valamiseks; sulatusjaoskonna teisel küljel on täitematerjalide ladu. Sulatusjaoskonna läheduses asub osakond, kus kuivatatakse ja soojendatakse koppasid. Samas on ka ekspresslaboratoorium, kus tehakse sissetulnud täite, metallosade, koksi ja räbustajate analüüse, samuti väljalastava metalli, räbu ja väljuvate gaaside jooksvaid analüüse.

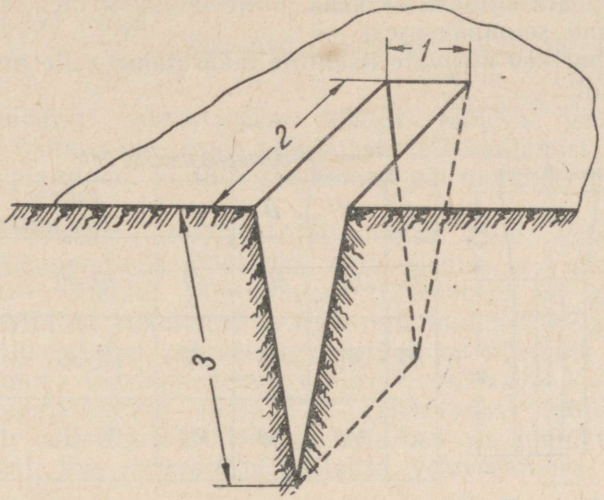
Sulatusprotsessi kontroll

Sulatusprotsessi kontroll peab kindlustama ettenähtud koostise ja temperatuuriga metalli saamist minimaalse kütuse- ja elektrienergia kuluga ning selle katkestamatut andmist vormimisjaoskonda vormidesse valamiseks.

Kontrollimisele kuuluvad järgmised objektid: 1) metalli tehnoloogilised proovid õhukeste ristlõigete valgenemise, mehaaniliste omaduste ja voolavuse määramiseks, 2) proovid metalli ja räbu

keemilise koostise määramiseks, 3) vedela metalli temperatuur, 4) vagrankasse antava õhu hulk ja rõhk, 5) väljuvate gaaside koostis.

Vagranka õigeks täitmiseks on oluline teada lähtematerjalide, s. o. kõrgahjumalmi, murru, kütuse ja räbustajate keemilist koostist. Malmi keemilist koostist saab kõige kiiremini kontrollida kiilproovi murde järgi. Kiilproov (joon. 186) vormitakse lahtises



Joon. 186. Kiilproovi skeem malmi murdepinna valgenemise määramiseks:
1 — kiilu laius pealt; *2* — kiilu pikkus; *3* — kiilu kõrgus.

vormis vagranka lähedal pinnases. Kiilu laiema osa mõõted sõltuvad valandi seinapaksusest, mille valamiseks ettenähtud metall võetakse antud kopast.

Järgnevalt on toodud kiilu laiuse olenevus valandi seinapaksusest.

Valandi seinapaksus mm	Kiilu paksus mm
Kuni 25	20
25—50	30
50—75	40
75	50

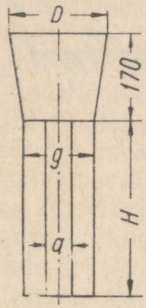
K i i l p r o o v valatakse lusikaga märga vormi. Kui proovi pind on muutunud jahtudes tumepunaseks, võetakse ta pihtidega välja, kastetakse vette ja murtakse katki. Murdepinna välimus võimaldab valgenemise tugevuse järgi otsustada malmi koostise

üle. Kui valgenenud kiht on ettenähtust paksem, lisatakse koppa kas ferrosiliitsiumi või kasutatakse metalli massiivsema detaili valamiseks.

Kiilu murdepind peab magneesiummalmi tootmisel enne magneesiumi lisamist olema hall, pärast lisamist aga valge, peeneteralise struktuuriga. Kui seejuures valgenemine on liiga märgatav, lisatakse koppa täiendav kogus 75%-list ferrosiliitsiumi.

Malmi keemilise koostise määramiseks valatakse 150 mm kõrgune valupeata silindriline keha, mille läbimõõt oleneb kontrollitava valandi seinapaksusest.

Peale harilike püsivate lisandite määratakse selle prooviga ka grafiidi hulk.



Proovikeha mõõted mm

a	H	D	g	Valandi seinapaksus
20	370	80	60	10-20
30	370	110	60	20-30
45	380	160	140	30-75

Joon. 187. Ristikujuline proov sferoidaalse grafiidiga malmi mehaaniliste omaduste määramiseks.

Vedelvoolavuse kontroll toimub spiraalse proovi abil.

Mehaaniliste omaduste kontrollimiseks valmistatakse vastavad proovid.

Magneesiummalmi tugevuse määramiseks valmistatakse ristikujuline proov, mille mõõted ja kuju olenevad valandi seinapaksusest ning on antud joonisel 187.

Vedela malmi temperatuuri kontrollitakse optilise püromeetriga või sisselastava termopaariga. Optiline püromeeter näitab tegelikust madalamat temperatuuri. Vahe mõõdetud ja tegeliku temperatuuri vahel on seda suurem, mida väiksem on metalli või räbu pinna kiirgustegur. Parandused püromeetri näidule on toodud tabelis 48.

Vaatamata parandusele erineb tegelik temperatuur ikkagi mõõdetust, kuna iga mõõtja teeb helendava niidi ja metalli pinna heleduste võrdlemisel vea $\pm 50^{\circ}$ C, olenevalt mõõdetava koha heledusest.

Täpsemalt mõõdetakse metalli ja räbu temperatuuri sisselastava termopaari abil (joon. 188).

Tabel 48

Optilise püromeetri näitude parandused

Vedela malmi pinna iseloom	Kiirgustegur (heledustegur)	Püromeetri näidud °C		
		1200—1300	1400	1600
		Parandused °C		
Oküüdidest vabad, tumedad kohad	0,40÷0,45	+(85÷100)	+(110÷125)	+(130÷160)
Heledad kohad (oksüüdid)	0,90÷0,95	+(5÷10)	+(5÷15)	+(10÷17)

Termopaarid valmistatakse kahest erineva termopingega metallist, näiteks üks traat plaatinast, teine sulamist, mis koosneb 90% plaatinast ja 10% roodiumist või molübdeenist ja volframist.

V. G. Gruzin (ЦНИИТМАШ) töötas välja vedela metalli (terase) temperatuuri mõõtmise molübdeenist ja volframist termopaariga [1]. Metalli paigutatavad traadiotsad on gaasipõletil kokku keevitatud ja kaitstud kvartsist või alundist kestaga. Vabad otsad on ühendatud voltmeetriga, millelt on võimalik täpsusega ± 5° C lugeda tegelikku temperatuuri. Kogu seadet koos ЭПД-17 tüüpi iseregistreeriva aparaadiga (elektroonse potentsiomeetriga) võib valmistada statsionaarsena, sellisel juhul ta monteeritakse seal, kus pidevalt mõõdetakse temperatuure (vagranka juures).

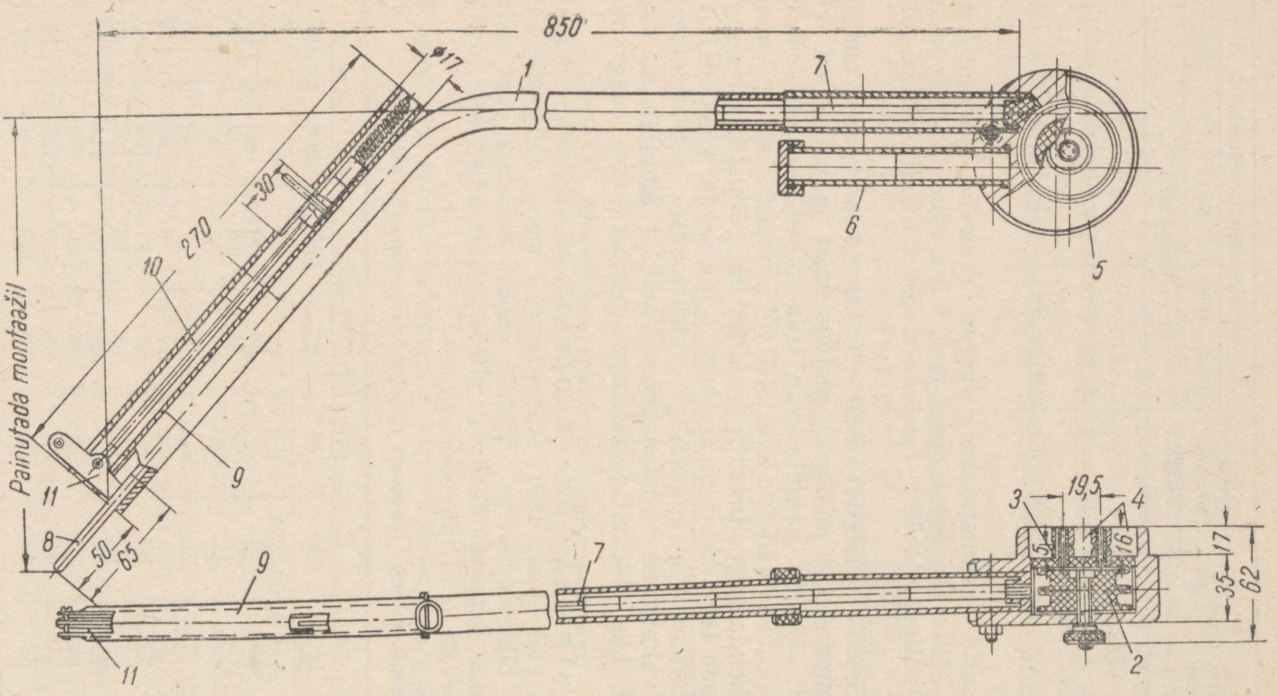
Õhu hulga ja rõhu kontroll toimub diferentsiaalmanomeetri abil (joon. 189). Manomeetri *1* (joon. 189) näit sõltub seibi *2* läbimõõdust ja rõhkude vahest mõlemal pool seibi. Tabeli 49 abil leitakse õhuhulk diferentsiaalmanomeetri näidu kaudu, olenevalt seibi läbimõõdust.

Tabel 49

Õhuhulk m³/min. olenevalt diferentsiaalmanomeetri näidust

Manomeetri näit mm v.s.	Seibi läbimõõt mm						
	160	200	240	280	320	360	400
15	13	19	28	38	50	63	82
20	15	22	33	43	58	72	94
25	16	24	36	48	64	80	105
30	18	27	40	53	71	89	115
35	19	29	43	57	76	95	123
40	20	30	46	61	81	102	132
45	22	32	48	65	86	108	140
50	23	34	51	68	91	114	149
60	25	37	56	74	99	124	161
70	27	41	61	81	108	135	176
100	32	48	72	96	129	—	—

[1] В. Г. Грузин. Контроль температуры жидких железных сплавов. Металлургиздат, 1955.

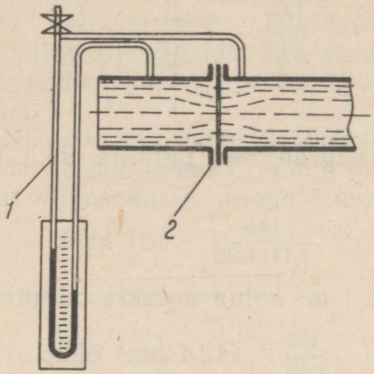


Joon. 188. Sisselastava termopaari ehitus:

1 — terastoru; *2* — tekstoliitkarp tagavara-elektroodide hoidmiseks; *3* — tekstoliitpaneel; *4* — pistikupesa; *5* — kere; *6* — elavhõbeda-termomeetri kast; *7* — kahe kanaliga isolaatorid; *8* — kvartsteravik; *9* — varda kest; *10* — varras; *11* — vastusurutav lamp.

Seibi ees oleva sirge toruosa pikkus peab võrduma vähemalt viie, seibi taga aga vähemalt kahe toruläbimõõduga.

Kuna õhu maht soojendamisel 1° C võrra suureneb $^1/_{273}$ oma esialgsest suurusest, rõhu tõusmisel aga väheneb, siis tuleb manomeetri järgi saadud õhuhulk (tabel 49) taandada normaaltingimustele 0° C ja 760 mm vs., arvestades tabelis 50 toodud parandustegureid.



Joon. 189. Diferentsiaalmanomeeter vagrankasse antava õhu hulga ja rõhu määramiseks.

Õhurõhku ja õhu temperatuuri mõõdetakse selles ruumis, kust ventilaator seda imeb.

Arvutusnäide:

Õhutoru läbimõõt $D = 500$ mm
Seibi augu läbimõõt $d = 400$ mm
Suhe $d : D = 0{,}8$
Diferentsiaalmanomeetri näit 50 mm vs.
Õhu temperatuur + 30° C
Baromeetriline õhurõhk 720 mm Hg.

Kasutades tabelit 49, leiame antud temperatuuri ja baromeetrilise rõhu juures antava õhuhulga, mis on 149 m³/min.

Oletame, et vagranka šahti läbimõõt on 1200 mm. Siis on šahti ristlõikepind

$$\frac{\pi \cdot 1{,}2^2}{4} = 1{,}13 \text{ m}^3.$$

Taandame leitud õhuhulga normaaltingimustele, kasutades parandustegureid tabelist 50.

Antud juhul õhu temperatuuri erinevusest tingitud parandustegur on 1,11, õhurõhu erinevusest tingitud parandustegur 1,06;

Tabel 50

Parandustegurid õhu temperatuuri ja rõhu muutumisel

Õhu temperatuur °C	Parandustegur	Baromeetriline rõhk	Parandustegur
+30	1,11	775	0,98
+20	1,07	760	1,00
+10	1,04	720	1,06
0	1,00	710	1,08
—10	0,96	700	1,09
—20	0,93	675	1,13
—30	0,89	640	1,19

järelikult antakse vagrankasse minutis õhku (normaalkuupmeetrites)

$$\frac{149}{1{,}11 \cdot 1{,}06} = 127 \text{ nm}^3.$$

Vagranka šahti 1 m² kohta antakse minutis

$$\frac{127}{1{,}13} = 112{,}4 \text{ nm}^3 \text{ õhku.}$$

Nüüd oletame, et vagranka töötab talvel —30° C õhutemperatuuri ja 775 mm Hg õhurõhu juures. Siis sama manomeetri näidu puhul 50 mm vs. on õhukulu muutumatu 149 m³/min.

Temperatuuri- ja rõhuparanduse arvessevõtmisega saame õhu normaalhulga

$$\frac{149}{0{,}89 \cdot 0{,}98} = 170 \text{ nm}^3.$$

Vagranka šahti 1 m² kohta antakse õhku

$$\frac{170}{1{,}13} = 150 \text{ nm}^3/\text{m}^2 \text{ min.}$$

Teisiti öeldes antakse suvel 127, talvel aga 170 nm³ õhku minutis, s. t. talvel 33% rohkem kui suvel. Siit järeldub, et suvel peab ventilaatori pöörlemiskiirust 20% võrra suurendama, talvel aga samavõrra vähendama.

Kui ventilaatori pöörlemiskiirust ei saa reguleerida, siis soovitatakse suveks vähendada täitematerjalide samba õhutakistust, näiteks hoida täite pinda rangelt 1 m võrra allpool täiteakna läve, talvel aga normaalsel tasemel.

Gaaside koostise määramine

Väljuvate gaaside koostis määratakse gaasianalüsaatoriga. Gaasianalüsaatoris asuvad kolvid sööbenaatriumi lahuga süsihappegaasi (CO_2) neelamiseks, pürogallooli leeliselise lahuga

napniku neelamiseks ja kloorvase ammooniumlahuga vingugaasi neelamiseks.

Ahjust imetakse gaas analüsaatorisse kummiballooniga, kusjuures imitoru ots peab olema lastud vähemalt 1 m täiteakna lävest allapoole. Gaas kogutakse mõõtepüretti, kust ta järgemööda lastakse läbi kõigi neelduskolbide. Igas kolvis neeldub gaasi mingi kindel komponent (O, CO_2, CO), ja järgmistesse läheb juba väiksem gaasihulk. Iga neeldunud komponendi sisaldus määratakse mõõtepüretis protsentuaalselt.

Gaasianalüsaatorina kasutatakse laialdaselt automaati ГЗУК-И, mis määrab väljuvate gaaside CO_2 sisalduse gaasi soojusjuhtivuse mõõtmise teel. Pärast gaasianalüüsi saamist tuleb kontrollida selle õigsust.

Teades täpselt gaasi koostist, koksikulu, koksi süsinikusisaldust ja ajaühikus saadavat malmihulka, võib vastavate valemite abil arvutada ajaühikus vagrankasse antava õhuhulga (m^3/min).

VALANDITE VALAMINE, VORMIST VÄLJALÖÖMINE JA PUHASTAMINE

VORMIDESSE VALAMINE JA KOPPADE EHITUS

Sulametalli transporditakse ja valatakse vormidesse koppade abil. Kopp kujutab endast metallist (tavaliselt terasest) kesta, mille siseseinad ja põhi on kaetud tulekindla materjaliga. Konstruktsioonilt jagunevad kopad nelja põhiliiki: tilakopad, kannkopad, stopperkopad ja trummelkopad. Peale selle jaotatakse neid metalli valamisviisi järgi käsikoppadeks ja tõstemehhanismide abil transporditavateks koppadeks.

Väikesi käsikoppi-lusikaid (joon. 190, *a*), mahuga kuni 25 kg, kannab üks tööline. Need valmistatakse 2—3 mm lehtterasest ning vooderdatakse 10—15 mm paksuselt saviseguga, milles on 20% liiva. Keskmise suurusega käsikoppi, mahuga kuni 60 kg (joon. 190, *b*), kannavad kaks või kolm töölist kanderaami abil. Üks töölistest valab metalli, teine aga hoiab kanderaami pikka käepidet. Kuni 100—120 kg mahuga suuri käsikoppi kannavad kolm või neli töölist; metalli valamine käsitsi sellisest kopast on raske. Et kaitsta töölisi metalli soojuskiirguse eest, kaetakse kopad kaanega.

Raskemaid koppi transporditakse monorelsil liikuva tõstukiga või kraanaga.

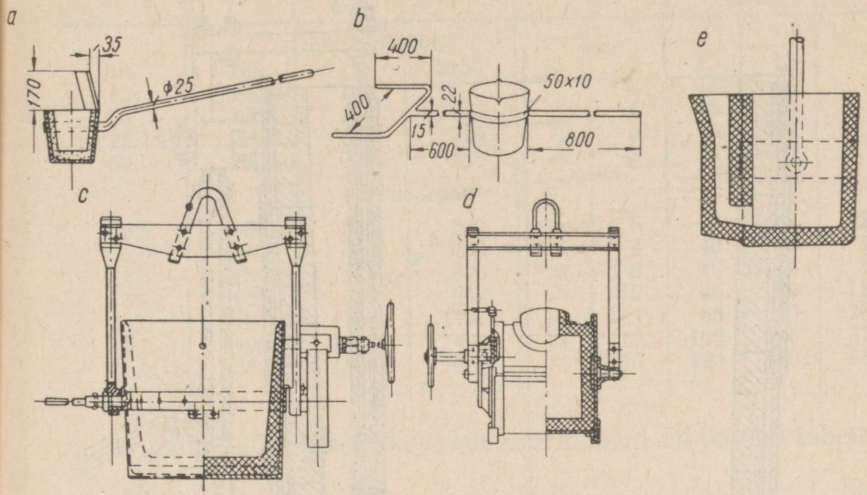
Rippkopad tehakse mahuga 100 kg kuni 2 t. Seda tüüpi koppi võib vormi kohal kallutada, tõsta või alla lasta.

Kallutatavad kraanakopad ehitatakse mahuga 100 kg kuni 10 t. Mida suurem on kopa maht, seda raskem on määrata kopa enda, tema vooderduse ja sulametalli raskuskeset ning tasakaalustada koppa. Väikesemahuliste (kuni 1 tonniste) koppade kallutusseade koosneb käsitsi pööratavast tõstekangist, mis on ühendatud kopa vööga. 1 kuni 10 t mahuga kopad varustatakse pöördemehhanismiga, mis viiakse liikvele käsirattaga (joon. 190, *c*) tiguülekande abil. Metallipritsmete eest kaitsmiseks on pöördemehhanism varustatud kattega (joonisel näitamata).

Teekannutaolistele tilakoppadele tehakse räbu kinnihoidmiseks metalli valamisel vahesein (joon. 190, *c*). Metall tuleb tila juurde alt, kusjuures räbu jääb vaheseina taha. Teekannutaolisi koppi valmistatakse mahuga kuni 10 t. Nende koppade puuduseks on vajadus neid tugevasti ettekuumutada. Mitteküllaldase ettekuu-

mutuse korral neelab šamott-vahesein esimese täitmise ajal palju soojust ja metall kaotab vedelvoolavuse.

Teekannutaoliste koppade puhastamine räbust on võrdlemisi keeruline. Enne metalli valamist eemaldatakse roobi abil kallutatavast kopast kogu räbu.



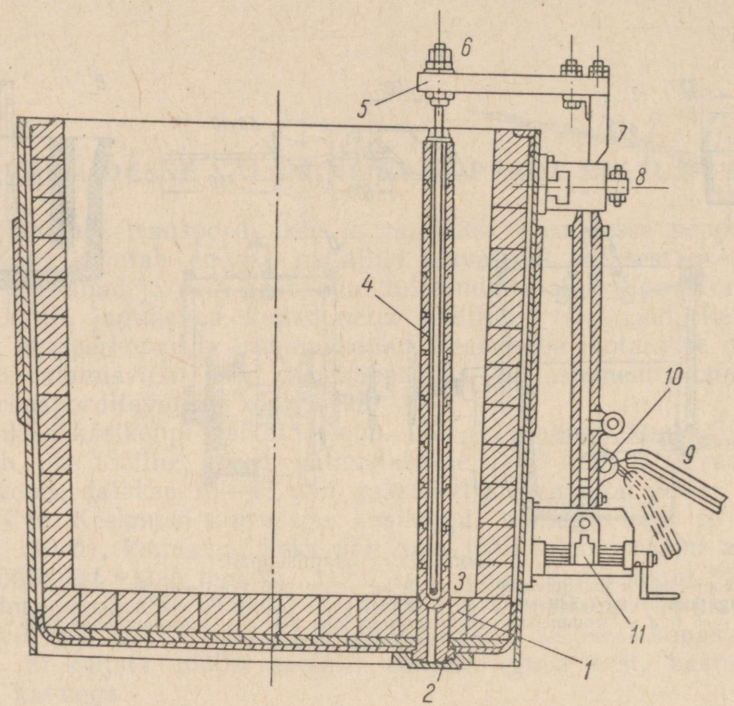
Joon. 190. Valamiskopad:
a — kopp-lusikas mahutavusega kuni 25 kg sulametalli (käsitseb üks tööline); *b* — kopp mahuga kuni 60 kg (käsitseb 2 või 3 töölist); *c* — lahtine kraanakopp mahutavusega kuni 5 t; *d* — trummelkopp mahutavusega kuni 3 t; *e* — teekannutaoline kopp mahutavusega kuni 3 t.

Trummelkopad (joon. 190, *e*) on tavaliselt kuni 3 t mahuga. Voodri lihtsamaks remontimiseks tehakse kopa üks ots lahtivõetavana. Trummelkoppades, võrreldes lahtiste koppadega, jahtub malm aeglasemalt, kuna soojuse kiirgamispind on väiksem. Kopp on hästi tasakaalustatud ja laseb end valamise algul ja lõpul käsirattast kergesti pöörata. Ka peab sellise kopa vooderdus kauem vastu, sest temperatuuri kõikumised on väiksemad. Seeeest on trummelkoppade vooderduse uuendamine ja remontimine ning kopa räbust puhastamine raskem.

Kallutatavaid koppi mahuga üle 10 t kasutatakse harva, kuna elektrilise pöördemehhanismi ehitamise keerukuse tõttu on otstarbekam teostada valamist läbi põhjaava (joon. 191). Kopa põhjaavasse asetatakse pesakivi *1*, millesse lihvitakse auguga šamott- või grafiitotsik *2*. Otsiku auk suletakse šamottkorgi poolsfäärilise peaga *3*. Sulguri *4* terasvardale asetatakse kaitseks šamottrõngad, mis ühendatakse saviga. Sulguri varda ülemine osa kinnitatakse kahvli *5* külge mutritega *6*. Kahvel on ühendatud kiilu abil linguriga *7*, mis liigub juhtpinnal *8*. Lingur *7* on ühen-

datud šarniirselt kaheõlgse kangiga *9*. Kangi tugi *10* on kinnitatud jäigalt kopa kesta külge.

Sulgur seatakse rangelt vertikaalseks mutrite *6* ja suporditega *11* mutrite abil.



Joon. 191. Stopperkopp.

Enne metalliga täitmist kõik kopad kuivatatakse. Kvaliteetsete valandite saamiseks on eriti oluline koppade hea kuivatamine peale vooderdamist. Mitteküllaldane koppade kuivatamine, kui voodrisse jääb veel niiskust, kutsub esile: 1) metalli kiire jahtumise, sest osa soojust kulub voodri järelkuivatamiseks; taolisel juhul tekivad kopa põhjal ja külgedel purikad; 2) metalli «keemise» kopas, mis põhjustab metalli pritsimist, vahel aga ka väljapaiskumist kopast. Väikesi koppi kuivatatakse kamberahjudes, suuri aga gaasipõletitega.

Malmivalamise koppade vooderdus valmistatakse sama koostisega šamottkividest, mis vagranka vooderduski. Väikesi koppi ei vooderdata, vaid need kaetakse 15—20 mm paksuselt 40—50% tulekindlast savist ja 50—60% kvartsliivast koosneva seguga.

Tabelis 51 on toodud lahtiste käsi- ja kraanakoppade põhimõõted.

Tabel 51

Lahtiste käsi- ja kraanakoppade põhimõõted

Kopa maht kg, t	Läbimõõt mm		Kõrgus mm	Kesta paksus mm		Vooderduse paksus mm		Kopa kaal vooderdusega kg
	ülemine	alumine		seinal	põhjal	seinal	põhjal	
		Käsikopad						
10	160	125	150	2	2	15	15	3,6
15	180	145	190	3	3	15	15	6,5
20	200	155	205	3	3	15	20	9,0
25	220	175	220	3	3	15	20	12,0
50	260	235	265	3	3	15	20	15,0
		Kraanakopad						
0,5	550	500	500	5	6	25	40	260
1,0	670	650	700	6	8	40	65	400
1,5	750	720	800	6	8	40	65	550
3,0	930	910	900	8	12	65	80	1100
5,0	1130	1100	1150	10	14	65	80	2050
10,0	1400	1300	1400	12	15	105	130	3100
15,0	1650	1500	1650	14	16	130	170	6100

Trummeltüüpi kraanakoppade põhimõõted on toodud tabelis 52.

Tabel 52

Trummeltüüpi kraanakoppade põhimõõted

Kopa maht t	Trumli mõõted mm		Kesta paksus mm	Vooderduse paksus mm	Kopa kaal vooderdusega kg
	läbimõõt	pikkus			
0,5	650	550	8	60	430
0,75	650	650	8	60	520
1,0	750	700	8	80	815
2,0	900	800	10	80	1130
3,0	1000	900	10	80	1500
5,0	1150	1100	12	100	2520

Suurtes koppades on soovitav metall katta puusöe- või kuiva kvartsliiva õhukese kihiga. Enne metalli valamist koppa tuleb viimane puhastada purikatest ja metallijäätmetest. Kopa tila peab olema õige kujuga ning andma kitsa ja sügava, mitte aga laia ja lameda joa, kuna viimase korral metall pritsib laiali.

Vormide täitmine sulametalliga on valandite valmistamise tehnoloogilise protsessi üks tähtsamaid operatsioone. Valada võib kuuma ja külma metalliga, suure või väikese kiirusega; metalli ehitus ja tihedus saadakse seejuures erinev.

Vaadeldes metalli sulatamise küsimusi, võib teha põhilise järelduse, et metall tuleb ahjus ülekuumutada ja lasta koppa või-

malikult kõrgemal temperatuuril, vormidesse valamisel aga lähtuda valandi seinapaksusest ja sulami liigist.

Kui valuvormi valada liiga kõrge temperatuuriga metall, põhjustab see

1) valutühimiku suurenemist ja likvatsiooninähte tugevnemist;

2) valu- ja termiliste pingete suurenemist ja selle järeldusena — kuum- ja külmpragusid;

3) külgepõlemise suurenemist.

Liiga madala valamistemperatuuri puhul võib metalli mitteküllaldase vedelvoolavuse tõttu tekkida vajakvalu, valandis aga moodustuda kiled ja gaasipoorid.

Valamistemperatuur peab olema seda kõrgem, mida õhemate seintega on valand. Massiivsed detailid valatakse võimalikult madalatemperatuurilise metalliga. Peale selle peab valamistemperatuur olema seda kõrgem, mida rohkem kaldub sulam kilede moodustamisele. Malmi kõrge temperatuuri puhul raud oksüdeerub pikkamööda ning selle järeldusena tuhmub metalli pind aeglasemalt.

Metalli valamisel on paljudel juhtudel tarvis eelnevalt mõõta selle temperatuuri ja vedelvoolavust.

Tabelis 53 on toodud malmvalu soovitatavad valamistemperatuurid (A. I. Haberzettel'i andmetel).

Modifitseeritud ja sferoidaalse grafiidiga malmist valandite valmistamisel peab valamistemperatuur olema võimalikult kõrge.

Tempermalmist valandid tuleb kõrgendatud mehaaniliste omaduste saamiseks valada võimalikult madalal temperatuuril (K. P. Bunini andmetel).

Malmi ahjust väljalaskmise temperatuur peab olema valamistemperatuurist kadude võrra kõrgem, mis paratamatult esinevad metalli valamisel koppa, seismisel seal ja kopast väljavalamisel. Metalli temperatuuri langemine ümbervalamisel ja kopas hoidmisel on toodud alljärgnevas tabelis:

Operatsiooni nimetus	Temperatuuri langemine °C
Malmi väljalaskmine ahjust või ümbervalamine kopast koppa	20—50
Malmi seismine 1 min:	
kopas mahuga 50 kg	15—40
„ „ 300 kg	10—20
„ „ 1—2 t	4—10
„ „ 3—4 t	Kuni 6

Valamiskiirus sõltub valandi seinapaksusest ja teistest tingimustest, mida vaadeldi valukanalite süsteemi läbivõtmisel. Vormi täitumiskiiruse määrab valukanalite kitsaim ristlõige; suurte valandite vormid valatakse suurima kiirusega.

Malmi soovitatavad valamistemperatuurid

Sulami liik	Valandi seinapaksus mm	Valamistemperatuur °C
Hallmalm	Kuni 4	1450—1370
	4—10	1430—1360
	10—20	1400—1330
	20—50	1380—1310
	50—100	1340—1250
	100—150	1300—1230
	üle 150	1280—1220
Valgemalm:		
a) valtspingi valtsid	—	1280—1240
b) valgendatud pöiaga rattad	—	1320—1300
Tempermalm (valgemalm)	Kuni 4	1480—1400
	4—10	1460—1380
	10—20	1430—1370
	Üle 20	1400—1300
Kõrgeltlegeeritud malm:		
a) ferrosiliid	—	1300—1270
b) kromeks	—	1450—1400
c) mangaanmalm (mittemagnetiline malm)	—	1350—1280
Teras:		
a) süsinik- ja vähelegeeritud teras	—	1430—1480
b) suure süsinikusisaldusega ja mangaanteras	—	1360—1400
c) kõrgeltlegeeritud teras	—	1450—1500
Alumiiniumisulamid:		
a) АЛ-1	—	720—770
b) АЛ-4	—	730—750
c) АЛ-10	—	690—730
d) teised	—	640—750
Magneesiumisulamid	—	720—780
Pronksid	—	1050—1150

Valamiseks ettevalmistatud vormid asetatakse järjekorras, mis sõltub kohalikest tootmistingimustest.

Valutsehhides, mis töötavad astmelise töörežiimiga, asetatakse kõige kuumema metalliga valatavad vormid sulatusahjudele kõige lähemale, et metall kopas transportimisel ei kaotaks vajalikku kõrget vedelvoolavust.

Valutsehhides, kus ühe vahetuse jooksul lastakse välja erineva kvaliteediga sulametalli, liigitatakse koostatud vormid sulami markide järgi. Suurte stopperkoppade kasutamisel valatakse esimeses järjekorras kõige suuremad valandid (kaalu järgi), kuna vastasel korral võib viimasele vormile mitte jatkuda metalli.

Vormidesse valamisel tuleb silmas pidada järgmisi põhireegleid:

1. Mitte katkestada metallijuga, sest muidu satub räbu valukausist või räbupüüdjast valandi õõnde ja rikub valandi.
2. Valamisel hoida valukauss metalli täis.
3. Viia kopa tila või otsise ava võimalikult valukausi või valukoonuse juurde. Vastasel korral uhub metall valukaussi või valukanaleid ning risustub.

VORMIDE JA KÄRNIDE VÄLJALÖÖMINE

Enamikus valutsehhides kulub valu väljalöömiseks, puhastamiseks ja raiumiseks üle poole kogu tööjõutarvidusest. Seetõttu nõuavad esimeses järjekorrast just need kui valutootmise kõige töömahukamad ning tervistkahjustavamad operatsioonid maksimaalset mehhaniseerimist ning tootmise tehnoloogia ja organiseerimise parandamist. Valu väljalöömine seisab vormkastide vabastamises valanditest ja vormisegust. Töö selles valutsehhi osas on suure hulga tolmu tõttu eriti raske.

Liiv-savivormides lastakse valandeid kuni väljalöömiseni jahtuda proportsionaalselt nende seinapaksusele.

Mitmesuguste malm- ja terasvalandite hulgaliste temperatuurimõõtmiste alusel Novo-Kramatorski tehases Donbassis leidis P. G. Novikov [1], et valandid võib eemaldada vormist 600° C juures, sõltumata nende kaalust ja kujust. Seejuures pani ta tähele, et mõnede valandite kõverdumist ning külmpragude tekkimist ei õnnestunud vältida isegi siis, kui neid lasti vormis jahtuda kuni toatemperatuurini. Selle põhjal tõsteti tavalisest süsinikterasest valandite jahtumiskiirus 4,4 t/ööpäevas kuni 9,0 t/ööpäevas. Valandite jahtumiskiiruse suurendamine võimaldas 1 m² kasuliku vormimispinna tootlikkust tõsta 15—25% võrra.

Valandite kahanemistakistuse kaotamiseks on soovitav valatud vormid peale valamist kohe kobestada. Seejuures valandite massiivsemad osad paljastatakse, õhemad aga jäetakse kaetuks vormiseguga.

[1] «Литейное производство», 1953, № 9.

Tabelis 54 on toodud keskmiste ja suurte malmvalandite vormis väljahoidmise ajad (V. M. Andrejevi andmetel).

Tabel 54

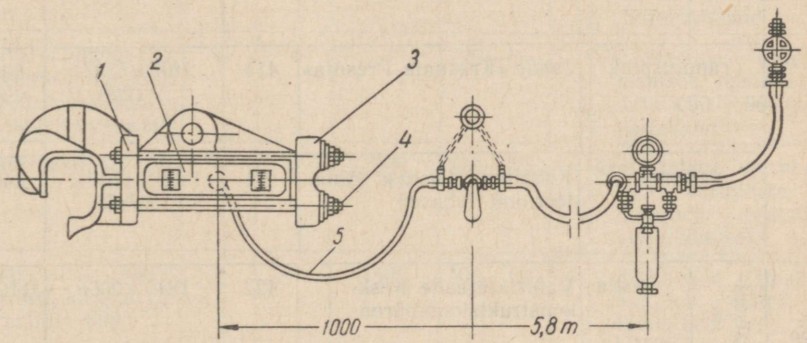
Keskmiste ja suurte malmvalandite vormis väljahoidmise ajad

Detaili nimetus	Valandi gabariitmõõted mm	Valandi toorkaal kg	Väljahoidmise aeg tundides	
			kastis	tsehhis
Mootori plokk-karter	1700 × 1100 × 850	1980	24	12
	2200 × 1700 × 850	3935	24	12
	3320 × 1150 × 920	2440	48	12
	1650 × 1450 × 1050	2470	24	12
Hoorattad (poolikud)	1950 × 975 × 320	840	24	12
Hoorattad	1550 × 320	2250	48	12

VORMIDE JA KÄRNIDE VÄLJALÖÖMISE SEADMED

Tabelis 55 on toodud vormide väljalöömise mehhaniseerimise põhiseadmete karakteristikad ning kasutamisalad. Need seadmed kergendavad tunduvalt tööd ja suurendavad tootlikkust. Käitamisviisilt jagunevad vormide väljalöömise mehhaniseerimisseadmed pneumaatilisteks ja mehaanilisteks.

Joonisel 192 on toodud raputusklambri üldvaade.



Joon. 192. Raputusklamber mark 452:
1 ja *3* — pimeäärikud; *2* — silinder kolviga; *4* — spetsiaalsed tikkpoldid; *5* — kummivoolik.

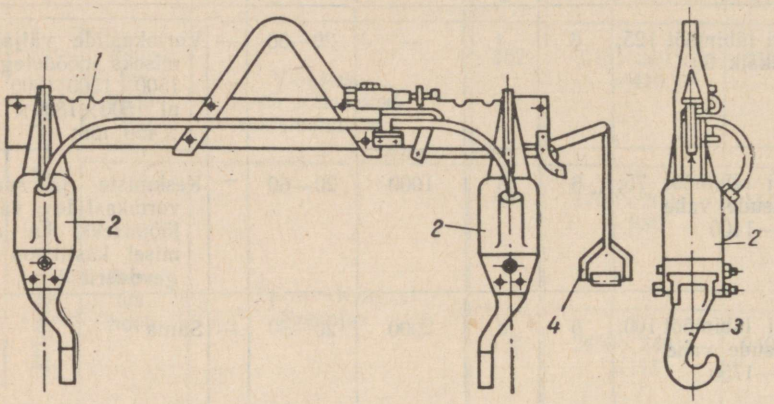
Tehase «Kompressor» raputusklamber 452 kujutab endast kantavat kolbmehhanismi, mis on ühendatud põhitoitemagistraaliga kummivooliku abil. Mehhanismi käitamiseks kasutatakse suruõhku rõhuga 6 atü. Raputusklamber riputatakse kraana või monorelsil sõitva tali külge ning ta teenindab töö-

Sisseseade tüüp	Sisseseade nimetus		Projekteeriv organisatsioon või valmistaja tehas	Mark	Gabariitmõõted mm	Kaal kg
Pneumaatilise ajamiga	külgeriputatavad vibraatorid	Raputusklamber	Valusisseseade Keskkonstruktsioonibüroo	452	940×280××410	210
		Raputushoob	Tehas «Krasnaja Presnja»	434	1700×200××880	150
				435	2450×240××115	240
				436	3180×275××1325	260
	raputuspink		Tehas «Krasnaja Presnja»	411	2400×570××1200	840
	restid		Kohaliku Tööstuse Ministeeriumi tehased	421	1400×1200××745	840
Mehaanilise ajamiga	ekstsentrik-	restid	Valusisseseade Keskkonstruktsioonibüroo	422	1840×2065	1100
	inertsioon-	restid	Sama	425	3030×3360	6650
		seadmed	Sama	732	5200—6600	31500

karakteristikad ja kasutamisalad

Sisseseade põhiandmed						Sisseseade kasutamisala
Põhimõõted mm	Rõhk at	Õhukulu m^3/min	Tõstejõud kg	Tootlikkus tk/tunnis	Võims. kW	
Kolvi läbimõõt 125; kolvikäik 60	6	4	—	20—30	—	Vormkastide väljalöömiseks mõõdetega 1500×1500×300 kuni 1500×1800××460 mm
Kolvi läbimõõt 75; konksude vahe 1000—1400	6	8	1000	20—60	—	Keskmiste ja suurte vormkastide väljalöömiseks, kui alumisel kastil on tugevdusribid
Kolvi läbimõõt 100; konksude vahe 1300—1750	6	8	2000	20—60	—	Sama
Kolvi läbimõõt 125, konksude vahe 1850—2450	6	8	3000	20—60	—	Keskmiste ja suurte vormkastide väljalöömiseks, kui alumistel kastidel on tugevdusribid
Kolvi läbimõõt 125; tagumise toe käik 800; maksimaalne tsentrite vahe 500	6	4	—	120—150	—	Vormkastide (maksimaalsed mõõted 1100×900×900 mm) väljalöömiseks
Kolvi läbimõõt 125	6	6	1500	120—300	—	Äratõstetava vormkastiga vormidele ja märgade vormide väljalöömiseks
Resti pind 1650×××950, kõrgus põrandast 690	—	—	1500	100—120	4	Vormkastide (maksimaalsed mõõted 1400×800 mm) väljalöömiseks
Resti pind 1500×××1800, kõrgus põrandast 400	—	—	8000	100—150	11	Vormkastide (maksimaalsed mõõted 1400×1600 mm) väljalöömiseks
Resti pind 3100×××5560, kõrgus põrandast 400	—	—	30000	100—150	66	Vormkastide (maksimaalsed mõõted 3000×5000 mm) väljalöömiseks

piirkonda raadiusega kuni 10 m (arvates magistraalist). Vormi väljalöömiseks kinnitatakse vibraator klambri abil vormkasti külge, mis on kraanaga üles tõstetud. Vibraatori kolvi löögid vastu silindri kaasi antakse klambri kaudu edasi vormkastile, mille tulemusena selles olev segu välja pudeneb ning põrandas oleva liikumatu resti kaudu töötanud segu ruumi või resti alla spetsiaalselt monteeritud transportöörile langeb.



Joon. 193. Raputushoob vormide väljalöömiseks.

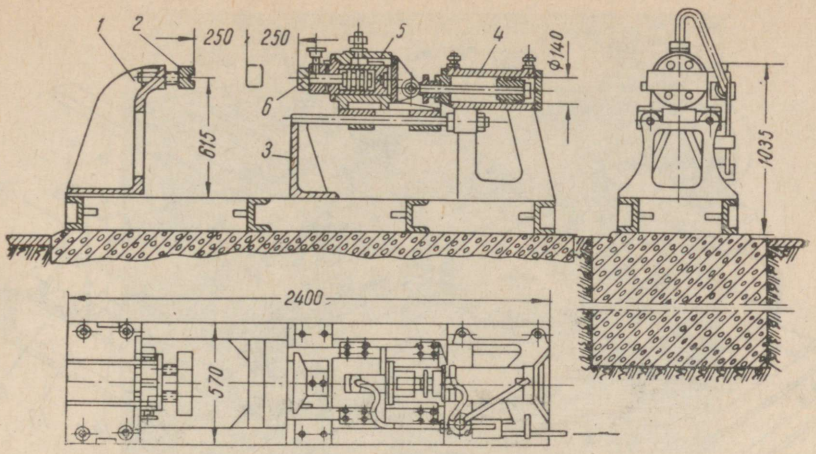
Tehase «Krasnaja Presnja» raputushoob 436 (joon. 193) kujutab endast kraana või tõstuki konksule riputatavat horisontaalset tala *1*, mille otstes on pneumaatilised vibraatorid *2* konksudega *3*. Vormkast haaratakse konksude abil tappidest ja tõstetakse kraanaga üles. Vibraatoreid käitatakse 6 atü sururõhuga ning nad lülitatakse töösse hoova *4* abil.

Raputushooba on eriti sobiv kasutada juhtudel, kui alumisel vormkastil on tugevdusribid. Sellisel juhul tõstetakse ülemine kast vormilt raputushoova abil ja lüüakse välja ilma seda konksude küljest vabastamata.

Tehase «Krasnaja Presnja» raputuspingil 411 lüüakse välja nelinurkseid vormkaste mõõdetega kuni 1100×900 mm ja ümmargusi vormkaste läbimõõduga kuni 900 mm (joon. 194).

Masin seatakse üles tsehhi põrandasse tehtud restiga kaetud süvendi kohale, millesse paigutatakse spetsiaalne kast väljalöödud segu jaoks.

Vormkast transporditakse sildkraana abil masina juurde ning surutakse vetruva toe *2* ja väljalööja *6* vahele. Vibraatori töötades antakse pneumaatilise tõukuri *4* löögid väljalööja kaudu edasi vormkastile, ning vormisegu langeb sellest resti alla paigutatud kasti.



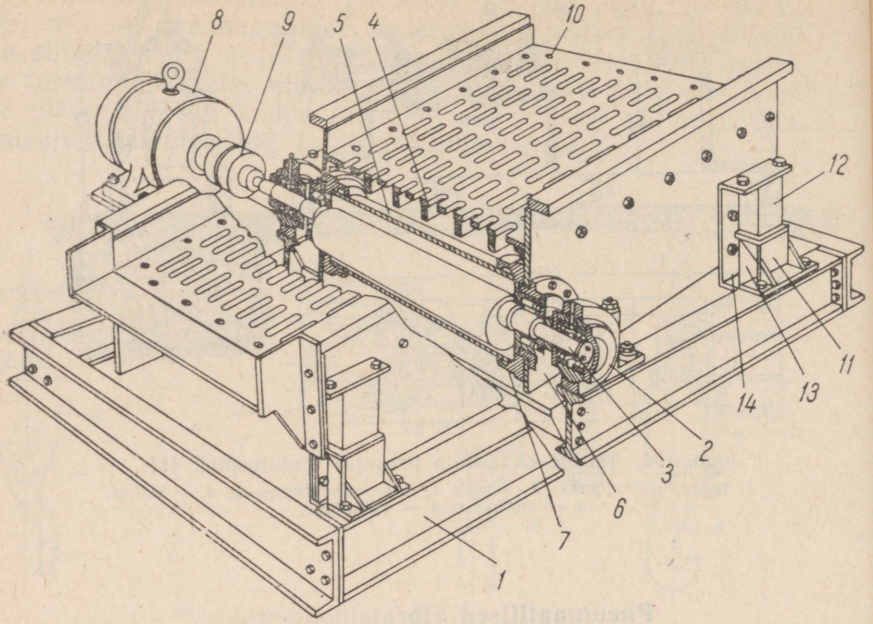
Joon. 194. Tehase «Krasnaja Presnja» raputuspink 411:
1 — tagumine tugipukk; *2* — tugi; *3* — eesmine tugipukk; *4* — tõukur; *5* — vibraator; *6* — väljalööja.

Pneumaatilised vibratsioonrestid

Pneumaatiliste vibratsioonrestide peamiseks puuduseks on nende suur energiatarvidus, mis on 10 korda suurem kui elektrimootoriga käitatavatel väikese võimsusega mehaanilistel restidel. Viimastel aastatel on hakanud pneumaatilisi vibratsioon- ja raputusreste välja tõrjuma Valusisseseade Keskkonstruktsioonibüroo (ЦКБ) poolt loodud mehaanilise ajamiga restid. Tabelis 55 on toodud kõige levinuma resti (mudel 421) põhiandmed.

Joonisel 195 on kujutatud Valusisseseade Keskkonstruktsioonibüroos konstrueeritud ekstsentrikresti 422 üldvaade.

Resti kandejõud on 1,5 t. Restile saab anda neli kaldasendit 0 kuni 6°-ni. Resti vibreerimissagedus on 725 võnget minutis. Mehaaniline raputamine saavutatakse ekstsentrikvõlli pöörlemisega. Resti raam *1* kujutab endast jäika, poltide abil koostatud konstruktsiooni. Raamile kinnitatud laagritele *2* asetatakse ekstsentrikvõll *3*, mis kannab endal resti raamistikku *4*. Võlli ekstsentrilisus on 3 mm. Seega resti üldine tõus on 6 mm. Võll on varustatud kattega *5*. Laagrite *6* ülekuumenemise vältimiseks on võlli kattes õõs *7*, kus ringleb vesi. Vesi võetakse veevärgi-magistraalist ja juhitakse kanalisatsiooni kummivoolikutega. Võll pannakse pöörlema elektrimootoriga *8*, mille võimsus on 4 kW ja pöörlemiskiirus 725 pööret minutis, elastse siduri *9* kaudu. Resti raamistiku külge kinnitatakse klambrid *10*, mis toetuvad kummiamortisaatoritele. Resti igas neljas nurgas oleval amortisaatoril on konsool *11*, mis asetseb ülemise ja alumise puhvri vahel. Üle-



Joon. 195. Tehase «Krasnaja Presnja» mehaaniline ekstsentrikrest 422 valandite väljalöömiseks.

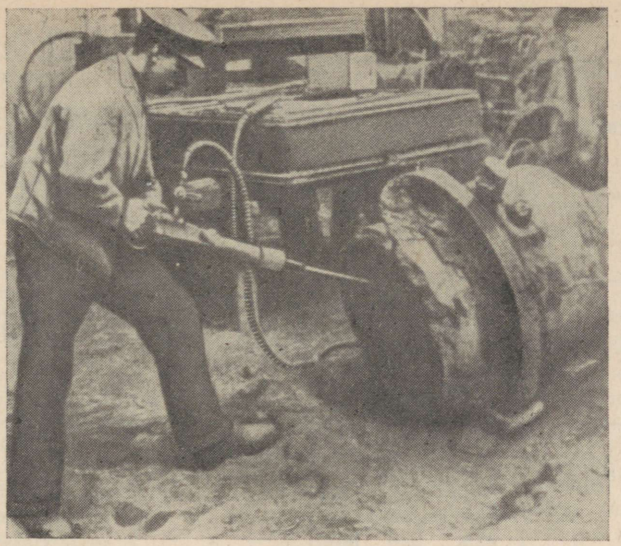
mine puhver *12* võtab vastu alla suunatud jõu, alumine puhver tegutseb aga resti tõstmisel ekstsentrikvõlli abil. Resti kaldenurga muutmiseks asetatakse ümber poldid *14*, mis kinnitavad amortisaatorite konsoole. Rest seatakse üles spetsiaalse tunneli kohale, mis on varustatud väljatõmbe-ventilatsiooniga. Väljalöödud segu variseb läbi resti tunnelisse paigaldatud transportöörile.

Tabelis 56 on toodud kärnide väljalöömisseadmete põhiandmed ja nende kasutamisalad.

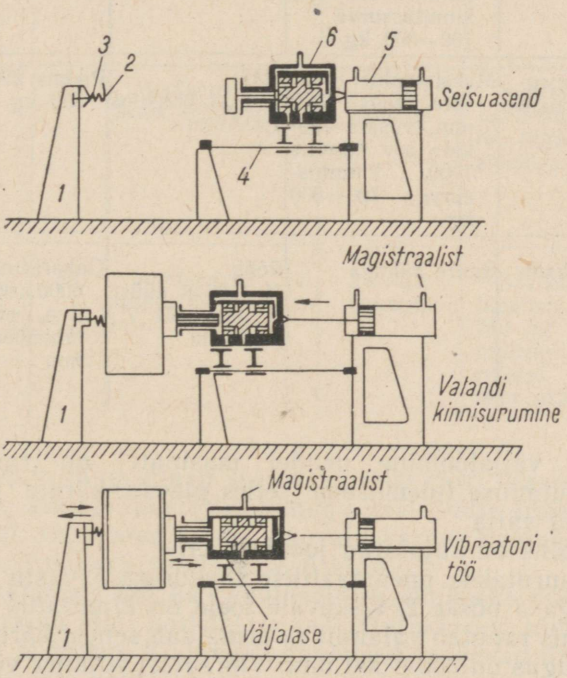
Kärnide väljalöömine keskmistest ja suurtest valanditest toimub pneumaatilise tööriistaga. Kärni väljalöömine suurest valandist pneumaatilise meisliga on näidatud joonisel 196. Savikärnide väljalöömine, võrreldes orgaanilise sideainega liivakärnidega, on poolteist kuni kaks korda töömahukam.

R a p u t u s k l a m b r e i d kasutatakse liiv-õli- ja teiste kergesti pudenevate kärnide väljalöömiseks valanditest peamiselt individuaal- ja väikeseeriatootmises, kus esineb suurel arvul erinevate tüüpmõõdete ja konfiguratsiooniga detaile. Raputusklamber (vt. joon. 192) on kõlblik kärnide väljalöömiseks valanditest mõõdetega 1500×1500×300 mm kuni 1500×1800×460 mm. Tema läbilaskevõime on ligikaudu 15 valandit tunnis.

R a p u t u s p i n g i d on edukalt kasutatavad õli-, sulfiit- ja muude taoliste sideainetega valmistatud kärnide väljalöömisel.



Joon. 196. Suruõhumeisel.



Joon. 197. Raputuspink kärnide väljalöömiseks valanditest.

Sisseseade nimetus	Sisseseade iseloomustus		
	Põhiandmed ja sisseseade tüüp	Suruõhu rõhk ja kulu	Põhimõõted ja kaal
Pneumaatilised vasarad	Löökide arv minutis 2400—1000	Rõhk kuni 5 at, õhukulu 0,5 m³/min	Pikkus 230—430 mm, kaal 5—6,5 kg
Pneumaatiline raputusklamber	Riputatav; kolvikäik 60 mm, vooliku pikkus 10 m	Rõhk 5—6 at, õhukulu 4 m³/min	Kolvi läbimõõt 125 mm, pikkus 940 mm, laius 280 mm, kõrgus 410 mm, kaal 210 kg
Pneumaatiline raputuspink	Statsionaarne; maksimaalne tugede vahe 500 mm; tagumise toe käik 250 mm; kinnitusklambri tsentrite kõrgus raamist 650 mm; kinnitussurve 700—800 kg	Rõhk 5—6 at, õhukulu 4 m³/min	Pikkus 2400 mm, laius 570 mm, kõrgus 1200 mm, kolvi läbimõõt 145 mm, vibraatori läbimõõt 125 mm, kaal 840 kg
Teisaldatav pneumaatiline masin	Maksimaalne vasara tõus 1800 mm, vasara löökide arv minutis 1700, kinnitussurve 700—800 kg	Rõhk 5—6 at, õhukulu 4 m³/min	Pikkus 2500 mm, kaal 550 kg
Hüdrauliline kamber	Suure rõhuga	Rõhk 75—100 at, düüsi läbimõõt 4—8 mm	Gabariitmõõted 6000×6000×3400 mm, pööratav alus läbimõõduga 2500 mm

Savikärnide väljalöömine nendel masinatel on raskendatud. Valandi raputamise tulemusena selles olevad kärnid purunevad ja pudenevad välja.

Raputuspink on kujutatud joonisel 197.

Valand surutakse pneumaatilise tõukuriga *5* vastu liikumatu toe *1* vedruga *3* põske *2*. Liikuvale toele on kinnitatud vibraatori silinder *6*, mis raputab valandit ja eemaldab sellest kärni. Tugedevaheline kaugus on 300—500 mm. Vibraatori silinder võib liikuda pingi alusel *4*.

Teisaldatav väljalöömismasin — perforaator (joon. 198) kujutab endast pneumaatilist vasarat, mis teeb

Tabel 56

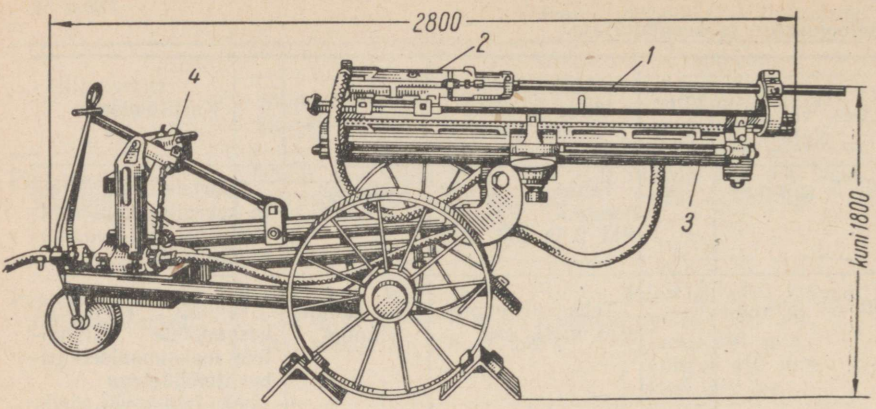
iseloomustus ja kasutamisala

Vee- või õlikulu	Võimsus kW	Valmistajatehas ja sisseseade mark	Sisseseade tootlikkus	Kasutamisala
Õli 5 g/tunnis	—	Tehas «Pneumaatik» PM 1; PM 2 ja PM 3	0,2—0,3 t/tunnis	Suurtele valanditele ja keerulise konstruktsiooniga savi- või liivõlikärnidele
Õli 60 g/tunnis	—	Tehas «Kompressor» mark 452	15 valandit tunnis	Liiv-õli kärnidega keskmistele valanditele maksimaalsete gabariitmõõdetega 1500×1800×460 mm
—	—	Tehas «Krasnaja Presnja» mark 411	120 valandit tunnis	Suurseeria- ja masstootmises õli-, sulfiitsete ja teiste orgaaniliste sideainetega kärnidele
—	—	Monteeritud tehases «Uralmaš»	1,5—1,7 t/tunnis	Suurtele valanditele ja õli-sulfiit- ning teiste orgaaniliste sideainetega kärnidele
Veekulu 15 m³/tunnis	50	Monteeritud tehases «Russki Dizel»	2,0—2,5 t/tunnis	Savikärnidega valanditele kaaluga 250 kg kuni 100 t, milledel on eriti keerulised siseõõned ja suur arv kärne

200—300 p/min ning annab seejuures 1700 lööki. Vasar on paigutatud pikale alusele, mistõttu temaga saab välja lüüa ja purustada valandi sügavates õõntes asuvaid kärne. Masina tootlikkus ületab sururõhumeisli tootlikkuse 8 korda.

Raputusklambri kui ka raputuspingi põhiliseks puuduseks on, et nad ei eralda alati karkassrauda kärnitükkidest ning tekitavad palju müra ja tolmu. Kõik need puudused langevad ära hüdrauliliste sisseseadete kasutamisel.

Reeglina kasutatakse kärnide hüdraulilist väljalöömismeetodit suurte ja keeruliste valandite puhul, milledel on suur ruumala ja keerulise kujuga kärnid.



Joon. 198. Teisaldatav perforaator suurte kärnide väljalöömiseks:
1 — meisel-nõel; *2* — perforaatori silinder; *3* — meisli etteande silinder; *4* — mehhanism meisli vertikaalseks ümberpaigutamiseks.

Selle meetodi juures veejuga toimib kärnile kahesuguselt: uhub kärni ja lõikab tükkideks.

Uhtuv toime oleneb veekulust, lõikav toime — veejoa kiirusest. Järelikult joa optimaalseks tegevuseks on vajalik uhtuv toime kombineerida lõikavaga selliselt, et kärni eemaldamine võtaks kõige vähem aega.

Hüdrauliliste seadmete eeliseks, võrreldes kärnide väljalöömisega käsitsi ning raputusklambrite ja -pinkidega, on:

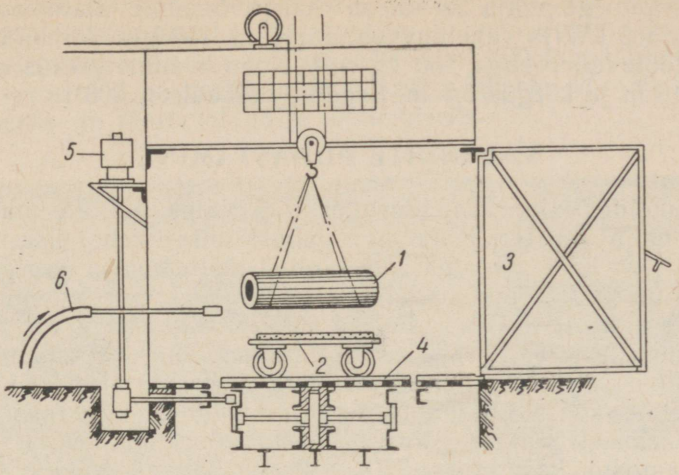
1. Tolmu tekkimise täielik puudumine ning kärni raamide ja karkasside korduv kasutamine, mis saadakse kätte deformeerumata.
2. Kärniliiva korduv kasutamine pärast selle igakordset regenereerimist hüdraulilistes settebasseinides.
3. Tööviljakuse tõus, võrreldes käsitsi väljalöömisega, 8 korda.

Hüdrauliliste seadmete puuduseks on suured sisseseadmiskulud, settebasseinide suur pind ja seadmete ebaökonoomsus väikeste valandite suure erikaalu ja kergesti pudenevate kärnide puhul.

Et vältida valandite täiendavat puhastamist liivajoaga, tuleb hüdraulilise väljalöömise asemel rakendada valandite liiv-hüdraulilist töötlemist, mille korral kvartsiosakesi sisaldav veejuga puhastab kärnide eemaldamisel ühtlasi ka valandi pinna vormisegust ja külgepõlenud mullast.

Seadme töötamispõhimõte seisab selles, et spetsiaalsest hüdromonitorist suure survega antav veejuga haarab paagist kaasa liiva ning heidab selle düüsist suure kiirusega valandile, mis on paigutatud isoleeritud kambrisse.

Hüdromonitoris kasutatakse sama liiva, mis kärnide valmistamisekski.



Joon. 199. Liiv-hüdrauliline kamber valandite puhastamiseks.

Liiv-hüdraulilise töötlemisviisi kasutamine tõstab tööviljakust, võrreldes kärnide käsitsi eemaldamisega, 8 korda, kõrgendab lõikerežiimi 25% võrra ning alandab liiva hinda tema kasutamisea pikenemise arvel 3—4 korda.

Joonisel 199 on kujutatud liiv-hüdrauliline kamber valandite puhastamiseks ja kärnide väljalöömiseks. Valand *1* tõstetakse kraana abil ühele kahest iseliikuvast vankrist *2* ja sõidutatakse külgmise ukse *3* kaudu läbitavasse kambrisse. Viimases antakse vertikaalse teljega pöördketta *4* abil, mis käitatakse elektrimootoriga *5*, vankrile koos valandiga pöörlev liikumine. Valandi maksimaalne kaal võib olla 50 t, suurim pikkus 6 m ja suurim laius 4 m.

Tööline, seistes erilisel alusel (ei ole joonisel näidatud) suunab hüdromonitore, milledest joonisel 199 on skemaatiliselt näidatud ainult üks (*6*). Lagi ja külgmised kahe poolega väravad on avatavad suruõhu-silindrite abil. Hüdromonitoride pööramiseks ja muuks liikumiseks on iga värava juures juhtimispult.

Kabiini põrand on tehtud malmrestidest, millest langeb läbi töötanud liiv ja vesi, samuti aga ka väljalöödud kärnide liiv ja osa valandite külge põlenud liivast. Liiv ja vesi satuvad 6,5 m sügavusse kaevisesse, kust nad eriliste pumpadega, mida nimetatakse pulptõstjateks, välja pumbatakse. Suuremad osad (kärnitükid, keraamika ja muu) kõrvaldatakse süvendist kettrooptransportööriga.

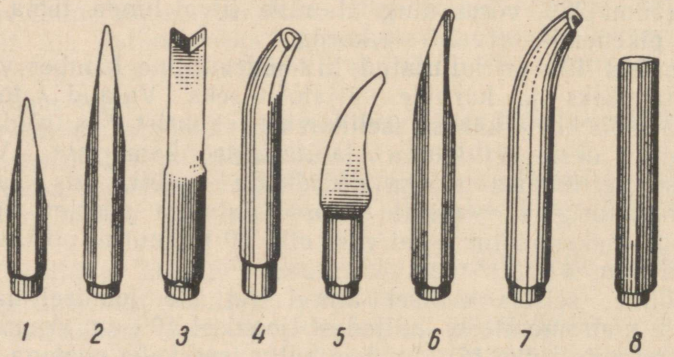
Vesi ja väikesed liivaosakesed pumbatakse sadestuspaaki, millest vesi pärast selgimist läheb korduvaks kasutamiseks. Veega lahjendatud liiv pumbatakse regenereerimisosakonda ning sealt uuesti vormimisele. Osa liiva juhitakse segajaga varustatud paaki ning sealt tagasi hüdromonitori. Ühe vahetuse jooksul lüüakse

selle seadmega välja 25—30 m^3 kärne. Seadme alalisvoolutarvidus on 300 kW ja vahelduvvoolutarvidus 150 kW. Liivhüdromonitorid töötavad rõhuga 150 kg/cm^2. Kogu seadme pikkus on 28 m, laius 16 m ja kõrgus 6,3 m. Seadme üldkaal on 200 t.

VALANDITE PUHASTAMINE

Kraadide, valupeade, tõusupeade ja valukanalite eemaldamise ning malm- ja terasvalandite puhastamise mehhaniseerimiseks kasutatakse kaht põhiviisi: mehaanilist töötlemist ja leegiga lõikamist. Kuni 50×50 mm ristlõikega teras- ja värvilisel valul kõrvaldatakse valukanalid ja valupead ekstsentrikpressiga või sae abil. Valukanalite ja valupeade eemaldamiseks enne valandi puhastamist liivast ja külgepõlenud vormisegust kasutatakse ka hammasteta ketassaage, mille lõikav tegevus põhineb lõigatava metalli kuumenemisel kiiresti pöörleva ketta hõõrumise mõjul. Taolisi ketassaagisid kasutatakse 30—120 mm läbimõõduga valupeade lõikamiseks.

Valanditel esinevate kraadide ja ebatasasuste raiumiseks kasutatakse pneumaatilisi vasaraid, mis käitatakse 5 atü sururõhuga.



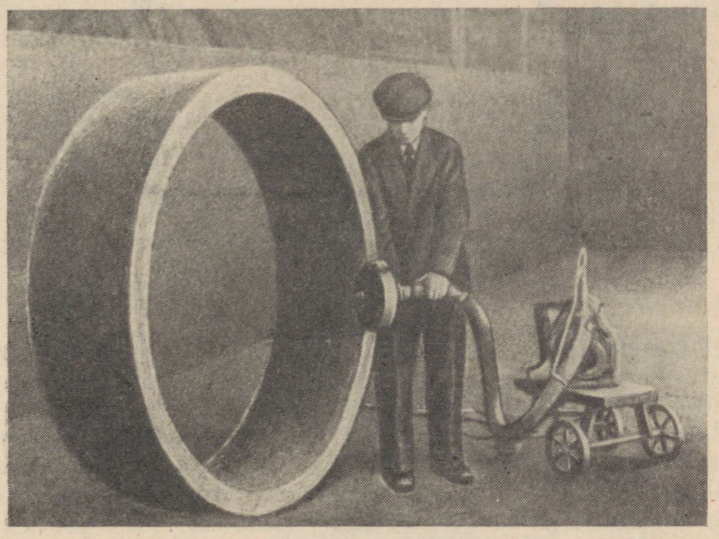
Joon. 200. Meislid valandite raiumiseks:
1 ja *2* — sirged meislid kraadide, juurdevalu ja külgepõlemiste raiumiseks välispinnalt; *3* ja *4* — kujumeislid õnaruste jaoks; *5*, *6* ja *7* — kujumeislid sisepindade jaoks; *8* — suuremõõteliste valatud aukude ja akende väljaraiumiseks.

Joonisel 200 on kujutatud valandite töötlemiseks kasutatavad mitmesuguse konstruktsiooniga meislid.

Valandite jämetöötlemine seisab valandi pinnalt kõigi ebatasasuste kõrvaldamises. Viimased jäävad valukanalite, valupeade ja kraadide lõikekohtadele ning moodustuvad valuvigade parandamisel sulametalliga. Ebatasasused kõrvaldatakse kas karborund- või siis looduslikust ja tehiskorundist keraamilise sideainega käiadega.

Malmi töötlemiseks kasutatakse karborundkäiu, terase puhul

aga — korundkäiu. Kinnitamisviisi järgi jagatakse jämetöötlemispingid kohtkindlateks, kantavateks ja pendelpinkideks. Kohtkindlatel pinkidel on üks või kaks 400 kuni 600 mm läbimõõduga ketast ning neid kasutatakse harilikult väikeste 20—30 kg raskuste teras- ja malmvalandite töötlemiseks.



Joon. 201. Valandi puhastamine kraadidest painduva võlliga käia abil.

Kantavaid jämetöötlemispinke (joon. 201) kasutatakse keskmiste ja suurte valandite puhul. Nendest on võimsamad pendelpingid, mis töötavad 300 kuni 400 mm läbimõõduga ketastega ning mida kasutatakse suurte valandite jämetöötlemiseks.

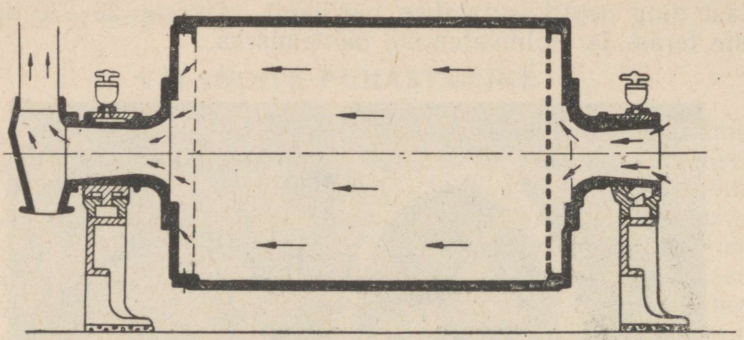
Gorki Autotehase valutsehhis on välja töötatud ja juurutatud valandite puhastamine valukanaleist, tõusupeadest ja kraadidest spetsiaalselt konstrueeritud automaatpinkidel. Enamikus tehastes on teras- ja malmvalu puhastamise mehhaniseerimiseks võetud põhiseadmetena kasutusele mehaanilise tegevusega trumlid ja liivajoaseadmed. Käesoleval ajal on tehased hakanud kasutama uut meetodit, puhastamist haavlijoa- või haavliheitmisseadmega. Kõrvuti sellega töötatakse edasi ka moodsama meetodi — valandite liiv-hüdraulilise puhastamisviisi juures.

Tabelis 57 on toodud valandite puhastamisseadmete põhikarakteristikad ja kasutamisalad.

Väikesed valandid puhastatakse hermeetiliselt suletud silindrilistes trumlites (joon. 202), mis pöörlevad horisontaaltelje ümber kiirusega 30 p/min.

Trumlisse laaditud valandid võtavad enda alla 70—80%

trumli mahust. Peale selle laaditakse trumlisse veel valgemalmist või kõvast karastatud terasest tähekesi kuni 10% valandite kaalust.



Joon. 202. Trummel väikeste valandite puhastamiseks.

Õhukeseseinaliste kergesti purunevate valandite (automootorite silindriplokid jne.) korral kasutatakse nurgelisi trumleid, mis laaditakse täis. Valandi pinna puhastavad tähekesed.

Malm- ja eriti terasvalandite efektiivsemaks puhastamiseks kasutatakse haavliheitjaid. Haavliheitja (joon. 203) töötab analoogiliselt liivajoaseadmega. Haavlid (läbimõõduga 2—4 mm) langevad isevoolu teel jaotusratta labidatele, mis pöörleb koos põhirattaga. Jaotusratta kesta aknast *3* väljalennanud haavlid haaratakse põhiratta töölabidatega, mis on kinnitatud ketaste vahele poltidega. Tsentrifugaaljõu mõjul paiskuvad haavlid tööratta tsentrist perifeeriasse ja lendavad sealt suure kiirusega (ligikaudu 60 m/sek) välja. Andes jaotusratta kestale mitmesuguseid asendeid, võib muuta väljapaisatavate haavlite suunda. Valandi pind, eriti terasel, puhastatakse haavlitega paremini kui liivaga. Haavliheitja võimsusetarvidus, võrreldes liivajoaaparaadiga, on ühe tonni valandite kohta väiksem. Haavlite kulu ühele tonnile valanditele on 2—3 kg.

Tehnoloogilise protsessi üksikute operatsioonide järjekord raiumisosakonnas on üsna erinev ja sõltub valandite kujust ning kaalust, tootmise mastaabist ja mehhaniseerimise ning automatiseerimise astmest.

Väiksemad malmvalandid peale väljalöömist puhastatakse. Valukanalid ja tõusupead lüüakse küljest käsivasaratega, misjärel valandid ja üksikud metallijäätmed puhastatakse trumlites või liivajoalaudadel. Peale valandi puhastamist kõrvaldatakse kraadid.

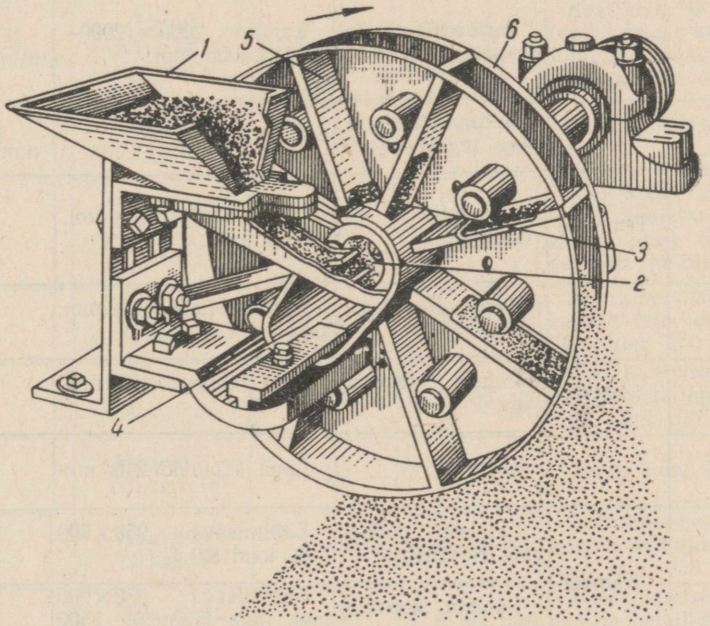
Seeria- ja masstootmisega valutsehhides asetatakse valandid peale väljalöömist ja eelnevalt jämepuhastamist sururõhutõstukite abil vastava pikkusega rippjahutustransportöörile. Eriti väikesed valandid asetatakse traatkorvidesse, silindriplokid,

karterid ja teised valandid riputatakse transportööri konksudele ning suunatakse tsehhi kõrvale ehitatud varju alla. Transportööri tagasipöörduv haru toob valandid peale nende jahtumist ligikaudu toatemperatuurini tagasi tsehhi. Nüüd võetakse valandid transportöörilt maha ja laaditakse haavlijoatrumlitesse, kärnide eemaldamise kambritesse vms. Liivast puhastatud valandid asetatakse kastidesse ning transporditakse rullteel käiade juurde kraadide eemaldamiseks ning sealt edasi järelevaatamisele ja praakimisele. Trumlites toimub mitte ainult valandite puhastamine, vaid ka raputamise teel sisepingete kaotamine.

Trumlites puhastatud valukanalid, väljapraagitud valandid ja teised jäätmed viiakse täitematerjalide lattu.

Individuaaltootmisega valutsehhides viiakse suuremad valandid peale väljalöömist ja jämepuhastamist ning valukanalite eemaldamist sildkraana abil liiva- või haavlijoakambritesse vormi- ja kärnisegust puhastamiseks.

Peale kärnide eemaldamist kõrvaldatakse valanditelt valupead ja kraadid. Suurte valandite valupead võib eemaldada suruõhumeislite ja -vasaratega, samuti aga ka pöörlevate saagidega või gaasilõikajaga. Edasi asetatakse valandid restidele suruõhu-



Joon. 203. Haavliheitja pea:
1 — lehter; *2* — labidad; *3* — liikumatu kesta aken; *4* — toru; *5* — töölabidad; *6* — kettad.

Sisseseade liik	Sisseseade nimetus	Sisseseade		
		Sisseseade tüüp	Põhiline iseloomustus	Võimsus kW
Mehaanilise tegevusega trumlid	Trummel	Ruudukujulise ristlõikega	Ø 500—1500 mm l = 700—2000 mm kaal 3 t	6,4
		Ümmargune	Ø 775—800 mm l = 1540 mm mahutavus 0,75 m³ kaal 2,7 t	6,8
Liivajoaseade suruõhusüsteemiga	Trummel	Ümmargused telje mitmesuguse kaldega	Ø 600—1200 mm l = 500—1500 mm kaal 2,7—4,0 t	2,2
	Laud	Läbiv	Laua Ø l = 1500—2400 mm kaal 3,7 t	6—19
	Kamber	Perioodilise tegevusega	Kamber 2000×(2000—5000)×5000 mm	Kuni 30
		Automaatne pideva tegevusega	—	Kuni 30
Haavlineitja	Trummel	Etteandekonveieriga	5500×2825×5090 mm, kaal 9,0 t	22
	Laud	Perioodilise tegevusega	Laua läbimõõt 1500 mm, kaal 4,4 t	19
		Pideva tegevusega	Laua läbimõõt 2400 mm, kaal 5,7 t	20
		Sama	Laua läbimõõt 2400 mm	36
	Kamber	Läbitav, pöörlevate riputitega	Läbimisava 950×900 mm, kaal 8,0 t	40
		Läbitav, konveieriga	Läbimisava 950×900 mm, laua läbimõõt 2500 mm	100

iseloomustus ja kasutusalad

iseloomustus			Düüside või ketaste arv ja läbimõõt	Sisseseade kasutamisala
Suruõhu rõhk ja kulu	Liiva-, haavlite või veekulu	Sisseseade tootlikkus kg/tunnis		
22 m³/min	—	0,6—0,9	—	Nelinurkse ristlõikega peenvalule kaaluga kuni 50—100 kg
22 m³/min	—	0,6—0,9	—	Ümmarguse ristlõikega peenvalule kaaluga kuni 60—100 kg
2—3 at 30—70 m³/min	Liiva 220 kg/tunnis	0,15—5,0	1—2, Ø 4—15 mm	Väikestele õhukeseseinalistele valanditele kaaluga kuni 50—100 kg
2—3 at 50—125 m³/min	Liiva 50—100 kg 1 t valu kohta	0,15—5,0	2—3, Ø 4—15 mm	Väikestele õhukeseseinalistele valanditele kaaluga kuni 50—100 kg
2—3 at 40—200 m³/min	Liiva 225—480 kg/tunnis	8—10	2—10, Ø 6—10 mm	Keskmise- ja raskekaalulistele keerulise kujuga valanditele kaaluga kuni 10 t
6 at 40 m³/min	Liiva 400 kg/tunnis	48—60	10, Ø 4—8 mm	Sama, masstootmises
—	Haavleid 130 kg/min	1,5—2,0	1, Ø 500 mm	Väikestele valanditele kaaluga kuni 15 kg, peale õhukeseseinalise hallvalu
—	Haavleid 130 kg/min	0,4—1,2	1, Ø 500 mm	Seeriatootmises keskmistele detailidele kaaluga kuni 250 kg
—	Haavleid 130 kg/min	2—3	1, Ø 500 mm	Masstootmises keskmistele detailidele kaaluga kuni 100 kg
—	Haavleid 260 kg/min	2,5	2, Ø 500 mm	Sama, kuni 150 kg
—	Haavleid 260 kg/min	5—10	2, Ø 500 mm	Seeriatootmises keskmistele detailidele kaaluga kuni 250 kg
—	Haavleid 780 kg/min	20—30	6, Ø 500 mm	Masstootmises keskmistele detailidele kaaluga kuni 500 kg

neislitega raiumiseks või puhastamiseks painduva võlli otsas pöörleva käiaga. Puhastatud valandid paigutatakse mõningatel juhtudel ahju termiliseks töötlemiseks, misjärel suunatakse teistkordsele puhastamisele, õgvendamisele, defektide keevitamisele ning lõpuks kontrollimisele ja vastuvõtmisele.

TEMPERMALMIST VALANDITE TOOTMINE

TEMPERMALMI OMADUSED JA TOOTMISVIISID

Tempermalmiks nimetatakse metalli, mis on töodetud valgemalmist termilise töötlemisega.

Tempermalmist valandite tootmine põhineb valandite lõõmutamisel neutraalses või oksüdeerivas keskkonnas, kusjuures tsementiit kas laguneb rauaks ja tempersüsinikuks (grafitiseerimine) või tsementiit laguneb ja süsinik põleb pinnalt välja.

Peale lõõmutamist neutraalses keskkonnas annab tempersüsinik valandi murdepinnale musta sametise läike. Sellist malmi nimetatakse musta murdega tempermalmiks. Peale oksüdeerivas keskkonnas lõõmutamist (rauamaak) on valanditel valge murdepind. Sellist malmi nimetatakse valge murdega tempermalmiks.

Mõlemad tempermalmid erinevad mikrostruktuuri, mehaaniliste omaduste ja keemilise koostise poolest.

Tsementiidi lagunemine ja süsiniku väljapõlemine valandite pinnalt on seotud süsiniku difusiooniga tahkes metallilises massis. Difusiooni protsessid kulgevad aeglaselt ja nõuavad suurel hulgal kütust. Seetõttu valmistatakse tempermalmist valandeid, mille keskmine seinapaksus on 4—15 mm. Vajaduse korral võib valmistada detaile seinapaksusega 1,5—2,5 mm kui ka seinapaksusega kuni 50 mm. Majanduslikult on siiski otstarbekam paksuseinalisi valandeid valmistada terasest või sferoidaalse grafiidiga malmist.

Musta murdega tempermalmi võib saada ferriitse või perliitse metallilise massi struktuuriga. Enne valandite lõõmutamist peab aga murdepind olema valge.

Tabelis 58 on antud tempermalmist valandite keemiline koostis.

Keemilise koostise valikul tuleb võimalikult vähendada valgemalmi üldist süsinikusisaldust ja suurendada ränisisaldust.

Nii näiteks ränisisalduse suurendamisel 0,6 kuni 1,9%-ni lüheneb lõõmutamiseks vajalik aeg kaheksa korda.

Mangaan ja kroom mõjuvad kui karbiidemoodustavad lisandid ja takistavad grafitiseerimist.

Väävel kui tugev antigrafitisaator osutub kahjulikuks lisandiks. Kui malmi väävlisisaldus ületab tabelis 58 antu, siis tuleb suurendada täite ränisisaldust ja modifitseerida metalli kopas.

Tabel 58

Tempermalmist valandite keemiline koostis %-des

Keemiline element	Musta murdega tempermalm		Valge murdega tempermalm	
	Enne lõõmutamist	Peale lõõmutamist	Enne lõõmutamist	Peale lõõmutamist
$C_{üld}$	2,2—2,9	1,8—2,9	2,8—3,2	0,5—2,4
C_{gr}	Kuni 0,02	1,6—2,7	Kuni 0,02	0,2—1,7
C_{vaba}	2,2—2,9	0,1—0,2	2,8—3,2	0,3—0,7
Si	1,4—0,8	1,4—0,8	1,1—0,7	1,1—0,7
Mn	0,3—0,5	0,3—0,5	0,4—0,7	0,4—1,7
P	Kuni 0,20	Kuni 0,20	Kuni 0,20	Kuni 0,20
S	0,05—0,15	0,05—0,15	0,12—0,20	0,12—0,20

Fosforisisaldusel üle 0,20% väheneb peale lõõmutamist malmi suhteline pikenemine.

Kõige kahjulikumalt mõjutavad tempermalmi omadusi lõõmutamisel lagunemata jäänud tsementiit ja hallmalmi struktuur valandi massiivsemate osade keskkohas. Esimesest on kerge vabaneda uue lõõmutamisega, lehelise grafiidiga hallmalmi struktuuri aga lõõmutamisega parandada ei saa. Suhteline pikenemine on nii esimesel kui ka teisel juhul peaaegu null.

Õhukeseseinalistel tempermalmist valanditel võib süsiniku- ja ränisisaldus olla suurem, kuna see parandab metalli vedelvoolavust. Paksuseinalistel valanditel peab aga süsiniku- ja ränisisaldust vähendama, et mitte suurendada:

1) halli murdepinna tekkimise ohtu valatud detailidel,
2) lõõmutamise aega.

Suhe Mn : S peab musta murdega perliitsetel malmidel olema suurem kui ferriitsetel musta ja valge murdega malmidel.

Valgemalmi struktuuri ja mõningaid tehnoloogilisi omadusi reguleeritakse teatud piirides keemilise koostisega. Nii on muude tingimuste ühesuguseks jäämisel malmi vedelvoolavus seda suurem, mida suurem on ta süsiniku- ja ränisisaldus. Mõlema elemendi liiga kõrge sisalduse puhul võib aga valandi massiivsemate osade keskkohas saada halli murde, mis on praagi tunnuseks. Et aga räni kiirendab lõõmutamisel malmi grafitiseerimist, siis peab tema sisaldus olema võimalikult kõrge. Süsinikusisaldust, vastupidi, tuleb vähendada terasmurru lisamisega täitesse või malmi läbipuhumisega kogujas.

Tabelis 59 on toodud musta ja valge murdega tempermalmide minimaalsed mehaanilised omadused (ГОСТ 1215—41 järgi).

Voolavuspiiri σ_s ja tõmbetugevuse σ_b suhe iseloomustab metalli konstruktiivse tugevuse kasutamist. Tempermalmil on see suhe 0,55 kuni 0,65, s. t. kõrgem kui süsinikterastel. Temper-

Tabel 59

Musta ja valge murdega tempermalmist valandite mehaanilised omadused

Tempermalmi mark	Tõmbetugevus kg/mm²	16 mm läbimõõduga proovikeha suhteline pikenemine %-des	Kõvadus Brinelli järgi
	vähemalt		mitte üle
	Musta murdega tempermalm		
KČ 37-12	37	12	149
KČ 35-10	35	10	149
KČ 33-8	33	8	149
KČ 30-6	30	6	163
	Valge murdega tempermalm		
KČ 44-3	40	3	201
KČ 35-4	35	4	201
KČ 30-3	30	3	201

malmist ilma sälguta proovikehade löögitugevus $a_k = 2 - 3$ kgm/cm², s. t. suurem kui malmil, kuid väiksem kui terasel. Tempermalmist valandid on vähem tundlikud sisselõigetele kui terasvalandid, kuid tundlikumad kui hallmalmist valandid.



Joon. 204. Musta murdega ferriitse tempermalmi mikrostruktuur («härjasilm»).

Musta murdega malmil on tempersüsinik kerakujuline, mistõttu sellise malmi omadused lähenevad sferoidaalse grafiidiga (joon. 204 — struktuuri nimetatakse «härjasilmaks») hallmalmide omadustele.

Perliitne musta murdega malm on tugevam ferriitsest musta murdega ja perliitsest valge murdega malmist. See seletub perliitse metallilise massi suurema tugevuse, kuid väiksema sitkusega, võrreldes ferriitsega.

Oksüdeerivas keskkonnas lõõmutamisel põleb valge murdega tempermalmil süsinik välja pinnalt; süsiniku väljapõlemise kiirus valandite pinnalt ei ole suur. Seetõttu jäävad valge murdega malmid lõõmutamise ökonoomsuse poolest tunduvalt maha musta murdega tempermalmidest; valge murdega malmidest valandid seinapaksusega 12 mm ja rohkem nõuavad lõõmutamiseks palju aega.



Joon. 205. Tsementiit hajuvate kiirte kujul.

Tänapäeval musta murdega malmi tootmine suureneb, valge murdega malmil aga väheneb, kuna tsementiidi lagundamine ja süsiniku ülejääkide oksüdeerimine on seotud suurte raskustega. Valandid, milles on jääktsementiiti, murduvad kergesti.

Ferriitne tempermalm on peale lõõmutamist pehmem kui perliitne tempermalm ning kulub hõõrdumisel viimasest kergemini. Enne lõõmutamist on valgemalmil suur kõvadus $H_B = 350—400$, mis on seotud kõvade lisandite — vaba tsementiidi olemasoluga (joon. 205).

Lõõmutamisel valandite kõvadus pidevalt väheneb. Ferriitse musta murdega malmvalandi Brinelli kõvadus on 120 kuni 149; perliitsel musta murdega malmil — 140 kuni 190; valge murdega malmil aga kuni 201.

Tänu sellele, et valgemalmis puuduvad grafiidiosakesed, on tal parem vedelvoolavus kui hallmalmil. See asjaolu võimaldab valgemalmist valada üsna õhukeseseinalisi (seinapaksus 1—1,5 mm) valandeid. Nimetatud põhjusel ongi tempermalmi tootmisele iseloomulik valandite õhukeseseinalisus. Malmi valamistemperatuur kõigub piirides 1360—1400° C. Sellel temperatuuril täidab sulametall hästi vormi.

Valgemalmi kahanemine on ligikaudu poolteist korda suurem kui hallmalmil ning harilikult võetakse valanditel seinapaksusega 5 kuni 10 mm võrdseks 1,5%-ga. Valanditel seinapaksusega 10 kuni 15 mm on kahanemine peaaegu sama. Valgemalm oma füüsikaliselt olemuselt kuulub kahefaasiliste sulamite hulka. Vedela sulami kristalliseerimise ajal eralduvad alguses austeniidi kristallid, seejärel aga esmane tsementiit. Struktuuri koostisosade joonkahanemise erinevuse

tõttu tekivad faaside vahel intrakristalliitsed pinged ja praod. Valgemalmist tardunud valand koosneb perliidi ja tsementiidi teradest, millede vahele moodustub suur hulk interkristalliitseid pragusid. Mida jämedamad on esmased austeniidi ja tsementiidi kristallid, seda rohkem tekib pragusid, mis alandavad valgemalmi tugevust ja malmi tugevust peale lõõmutamist. Järelikult tempermalmist valanditel ei ole ühtlast metallilise massi ehitust.

Tempermalmist valandites võib saada peeneteralisi esmaseid kristalle kas valamistemperatuuri alandamisega või modifitseerimisega (K. P. Bunin ja O. Galemin).

Valgemalmist valandite lõõmutamisel neutraalses keskkonnas (kvartsliivas või soolavannis) muutub tsementiit rauaks ja süsinikuks reaktsiooni järgi

$$Fe_3C = 3Fe + C.$$

See reaktsioon kulgeb temperatuuril 850—1050° C ja kannab grafitiseerimise esimese järgu nimetust. Selle jooksul muutub esmane tsementiit (mis eraldus sulametallist kristalliseerimise ajal) γ-rauaks ja tempersüsinikuks. Et kogu tsementiit jõuaks laguneda, tuleb läbi kuumutada kogu valand, eriti aga selle massiivsemad osad, ning hoida välja niikaua, kuni kulgeb lagunemisreaktsioon.

Pärast seda valandid jahutatakse. Valandi jahtumisel eraldub γ-raua ja süsiniku tahkelahusest kogu selles lahustunud süsinik peale perliidi-süsiniku. Kriitilise temperatuurivahemiku läbimisel muutub γ-raud α-rauaks. Perliitse musta murdega malmi korral tuleb kriitiline temperatuur ületada kiiresti. Detailid võetakse ahjust välja ja jahutatakse õhus.

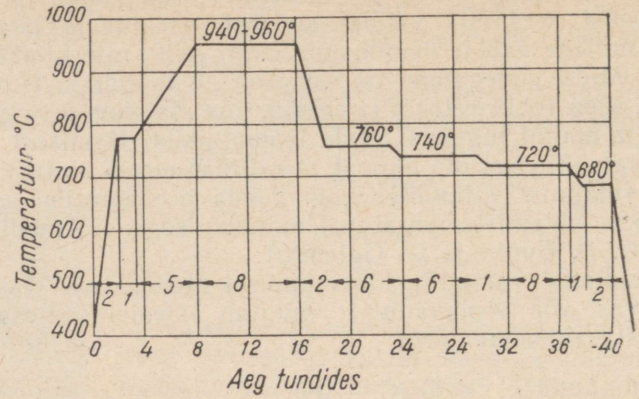
Ferriitse musta murdega malmi saamiseks on vajalik, et laguneks eutektoidiline tsementiit (mis asub perliidis). Selleks hoitakse valandid mõni aeg 720° C temperatuuri juures. Lõõmutamise seda osa nimetatakse grafitiseerimise teiseks järguks. Seejuures kogu seotud süsinik laguneb vabaks süsinikuks tempersüsiniku ja ferriidi kujul.

Joonisel 206 on graafiliselt kujutatud modifitseeritud musta murdega tempermalmi kiirendatud lõõmutamise režiim kamberahjus. Valandid hoitakse ahjus 40 tundi, misjärel 680° C juures paigutatakse nad õhu kätte.

Valge murdega tempermalmi toodetakse valgemalmi lõõmutamisega kuumutatud rauamaagis temperatuuril 950—1050° C. Selle protsessi ajal kulgeb valgemalmist valandi pinnal reaktsioon:

$$Fe_3C + FeO = 4\,Fe + CO.$$

Kuid tahke tsementiidi oksüdeerimisreaktsioon tahke rauamaagi keskkonnas kulgeb äärmiselt aeglaselt. Palju kiiremini läheb see reaktsioon gaasilise süsihappegaasi abil.



Joon. 206. Modifitseeritud tempermalmi lõõmutamise tsükkel kamberahjus.

$$Fe_3C + CO_2 = 3Fe + 2\,CO.$$

Tekkiv süsinikoksüüd moodustab maagiga süsihappegaasi

$$FeO + CO = CO_2 + Fe.$$

Kahe viimase reaktsiooni liitmisel saame

$$Fe_3C + FeO + CO = 4\,Fe + 2CO.$$

Sellest järeldub, et gaasilisel faasil on süsiniku oksüdeerimisel suur tähtsus.

Kui asetada valandid kuumutamata rauamaaki (punane rauamaak), siis moodustub nende pinnal ülepõletuse tõttu paks oksüüdikiht («kasukas»). Valandite ülepõletus esineb üsna tihti valge murdega tempermalmi tootmisel. Ülepõletusega valandid on tootmise praak.

Tempermalmist valandeid kasutatakse laialdaselt kõikides tootmisharudes. Nii näiteks valmistatakse tempermalmist auto-, traktori-, põllumajandus- ja tekstiilmasinate väikesi detaile, armatuuri osi, karburaatori detaile, kaasi, käepidemeid, ülekandemehhanismide ketilülisid, vee- ja gaasitorude liitmikke (ühendusmuhve, nurgikuid, kolmikuid, üleminekumuhve), hapnikuballoonide kübaraid, petrooleumi- ja bensiinipaakide luuke ja mutreid ning muud sellesarnast.

TEMPERMALMIST VALANDITE TOOTMISTEHNOLOOGIA ISEÄRASUSI

Tempermalmi tootmiseks kasutatavad vormi- ja kärnisegud ei erine millegagi hallmalmide juures kasutatavaist, kuna valamistemperatuurid on nii ühel kui teisel juhul ühesugused.

Mudelite valmistamisel võetakse keskmiseks kahanemiseks 1,5%. Valgemalmi ruumkahanemine on hallmalmiga võrreldes peaaegu 1,5 korda suurem. Massiivsemates valandi osades tekivad väiksed valutühimikud. Murdepinnal on need kõige sagedamini mustad ja kannavad «mustpesade» nimetust. Sel põhjusel asetatakse massiivsemate osade, või nagu neid nimetatakse, soojustsentrite juurde «läbivooluga valupead» (joon. 207) või nn. külgmised (kahanemis-) toitjad, mis tegelikult kujutavad endast küljele asetatud valupead. Toitja ühendatakse lühikese, kuid võimalikult suure ristlõikega kanali abil valandi massiivse osaga, selleks et kindlustada viimase toitmist sulametalliga kuni täieliku tardumiseni.

Mõnikord kasutatakse keerulise kujuga toitjaid (vt. joon. 207, *4*). Läbivooluga valupead ja massiivsed toitjad on kergesti äramurtavad peale valandi väljalöömist.

Valgemalmi tootmise iseärasuseks on vajadus vähendada malmi üldist süsinikusisaldust ja saavutada võimalikult kõrge ülekuumutus.

Valge murdega tempermalmi tootmisel on sulatusagregaadiks tavaliselt vagranka. Selleks et vähendada metalli rikastumist süsinikuga, ei tohi kolde kõrgus olla üle 300 mm. Soojuse hoidmiseks töötavad vagrankad ilma kogujata. Valgemalmi sulatamisel on koksikulu 17—20%. Põhjakoksi ülemine tase peab olema 900 mm furmidest kõrgemal.

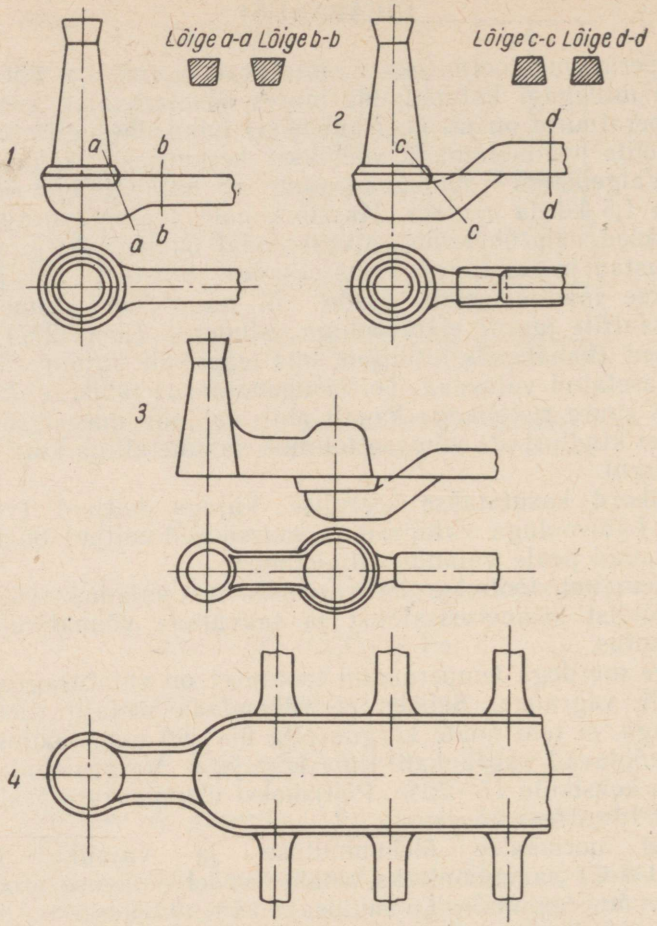
Malmi normaalse ülekuumutuse ja vajaliku koostise (2,9—3,1% C) saavutamiseks tehakse vedelvoolavuse proov ning kiilproov murdepinnale. Lõõmutusaja vähendamiseks on soovitav valada võimalikult madala temperatuuri juures. Samal põhjusel tuleb eelistada võimalikult suurt räni- ja väikest süsinikusisaldust. Suurimat ränisisaldust (1,5—1,9%) võib kontrollida kiilproovikehadega.

Süsinikusisalduse vähendamine vagrankamalmis alla 2,9% on üsna keeruline. Lihtsamini võib seda saavutada metalli läbipuhumisel kogujas või malmi sulatamisel leekahjudes.

Leekahjudes sulatamisel kuumeneb valgemalm kiiresti kõrgete temperatuurideni ega rikastu väävli ja süsinikuga nagu vagrankas, mis annab teatava ökonoomia terasemurru arvel.

Sulatatud malm kogutakse vanni põhja. Väikesemahulistes ahjudes ei ületa vanni sügavus 300 mm, laius 1,25—2,0 m ja pikkus 5 kuni 11 m. Väljavooluava on leegilävele ligemal kui suitsulävele.

Tempermalmi sulatamiseks ehitatakse leekahjud mahutavusega



Joon. 207. Tempermalmist valandite valukanalite süsteem: *1* — valanditele kaaluga kuni 300 g ja seinapaksusega kuni 6 mm, mis vormitakse alumises kastis; *2* — sama, kuid vormitakse ülemises kastis; *3* — valanditele kaaluga 300—500 g ning seinapaksusega 6—7 mm; *4* — mitmele valandile, mis valatakse ühisest räbupüüdjast-valupeast.

5 kuni 7 t, valtspingi valtside valmistamiseks aga — 20 kuni 40 t. Seinad, lagi ja põrand laotakse šamottkividest. Kütusekulu ühe kaaluühiku malmi sulatamiseks on masuudil 15—20%, kivisöel 35—40%, kivisöetolmul 30—35%, koksiahju gaasil (1 m^3 — 4000 kcal) — 400—600 m^3 ühe tonni malmi kohta. Ahjuseadme soojuslik kasutegur on 7—12%, soojuse rekupeerimisega aga 15—20%.

Peale külma ahju kuumutamist eemaldatakse lagi ja läbi ava laaditakse ahju alguses õhukeseseinalist terasmurdu, selle peale

omatootmise jääke ja viimastele — kõrgahju malmi. Peale täite laadimist suletakse lagi ning pilud tihendatakse saviga.

Auto- ja traktoritehastes sulatatakse malmi kahes ahjus dupleks-protsessi põhimõttel. Malm sulatatakse vagrankas ja valatakse järelkuumutamiseks happelise voodriga elektriahju. Metalli süsinikusisalduse reguleerimiseks lisatakse täitesse terasemurdu. Elektriahjust väljaantaval metallil on ühtlane temperatuur, vedelvoolavus ja keemiline koostis. Metalli perioodiline väljalaskmine elektriahjust võimaldab dupleks-protsessi kasutada vormide valamiseks konveieril.

Vagranka valurennis on tavaliseks malmi koostiseks: 3,0—3,3% C; 1,0—1,3% Si; 0,4—0,6% Mn; 0,18—0,22% P ja 0,08% S; elektriahjust saadavas malmis on 2,3—2,6% C; 1,0—1,5% Si; 0,3—0,5% Mn; 0,15—0,18% P ja 0,06% S. Vagrankast väljumisel on malmi temperatuur 1350—1380° C, elektriahjust väljumisel aga 1400—1450°C. Vormide valamistemperatuur on 1380—1400°C.

Väävlirikka koksi ja kõrgendatud fosforisisaldusega malmi puhul on soovitav kasutada küljelt õhupuhumisega ning aluselise voodriga konvertereid. Läbi põhja puhumisel suureneb metalli lämmastikusisaldus.

Malmi sulatamisel vagrankas koostatakse täide malmist ЛК4 klass B (0,31—0,70% P) — 60% ja tempermalmi jäätmetest — 40%. Kasutatakse Donetsi koksi КЛ 3. Vagrankast väljalaskmisel sisaldab malm 3,3—3,5% C; 1,2—1,5% Si; 0,5—0,6% Mn ja 0,25—0,35% P; 0,12—0,15% S. Temperatuur on ligikaudu 1300° C. 60—70% sulamalmist valatakse happelise voodriga elektriahju ja 30—40% konverterisse, kus ta puhutakse läbi pehme terase saamiseks. Metalli kuumutamiseks teise läbipuhumisperioodi lõpuks lisatakse malmile 5% kõrgahju ferromangaani.

Konverterist väljalastud metallil on järgmine koostis: 0,10—0,15% C; 0,02—0,05% Si; 0,05—0,08% Mn; 0,03—0,04% P ja 0,03—0,04% S. Konverterist väljunud metall valatakse elektriahju, kus ta segatakse malmiga.

Peale segamist ja vähest ülekuumutust metall taandatakse ja modifitseeritakse ahjus 45%-lise ferrosiliitsiumiga, mida lisatakse 2—2,5%, ning lastakse siis koppa. Metalli keemiline koostis peab olema järgmine: 2,20—2,30% C; 1,7—1,9% Si; 0,35—0,40% Mn; 0,15—0,20% P ja 0,10—0,12% S.

Tripleks-protsessi eelised on järgmised:

1. Osutub võimalikuks kasutada koksi, mis sisaldab 1,4—1,8% väävlit.
2. Langeb ära vajadus terasemurru kasutamiseks.
3. Vagrankas luuakse eeldused sulatusprotsessi teostamiseks väikese koksikuluga (8—10%), mis vähendab koksist metalli ülemineva väävli kogust.

Tripleks-protsessi puuduseks on:

1. Täiendav vahendite kulu, mis on seotud kolmanda sulatus-

agregaadi ülesseadmisega ja kvalifitseeritud terasesulatajate kasutamisega.

2. Täiendav kallite ferrosulamite — ferromangaani ja ferrosiliitsiumi kulu.

TEMPERMALMIST VALANDITE PUHASTAMINE

Tempermalmist valandeid tuleb puhastada kaks korda: esimene kord külgepõlenud liivast ning kärnidest enne lõõmutamist, mis teostatakse varemkirjeldatud pöörlevates trumlites, kergestipurunevate valgemalmist valandite korral aga ka väikestes liivhüdraulilistes kambrites.

Trumlisse laaditakse koos valanditega valgemalmist tähekesi ja karastatud terasest tükke valandite kaalust kuni 5%.

Teist korda puhastatakse valandeid peale lõõmutamist oksüüdist. Puhastamine toimub pöörlevates trumlites. Seejärel eemaldatakse valanditelt käiade abil kraadid ja liitmekohad. Sisemiste õõnte raiumiseks kasutatakse suruõhumeisleid. Kõverdunud valandid õgvendatakse peale lõõmutamist friktsioonpressidel. Mõningad valandid õgvendatakse käsitsi lukksepakruustangide vahel või spetsiaalsete seadmetega. Rihitud valandite kontrollimiseks kasutatakse vastavaid šabloone.

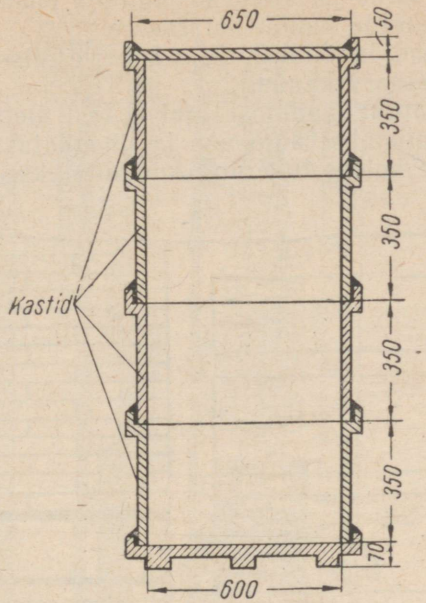
VALGEMALMIST VALANDITE LÕÕMUTUSAHJUD

Valandid, mis kuuluvad lõõmutamisele (temperdamisele), asetatakse neljakandilistesse või ümmargustesse valatud kastidesse. Kui valmistatakse musta murdega tempermalmi, siis kaetakse iga valandite kiht kvartsliivaga, valge murdega tempermalmi tootmisel aga peenestatud rauamaagiga. Viimasel juhul võetakse 10 osa kasutatud vana maaki ja 1 osa uut. Värske maak peenestatakse eelnevalt kollerites 5 mm suurusteks teradeks. Kui värsket rauamaaki võetakse palju, siis põlevad valandid üle. Lõõmutamiseks kasutatakse valgemalmist kaste mõõdetega 600×450×350 mm. Hallmalmist kastide vastupidavus on 4—6 lõõmutust, valgemalmist kastidel aga 15—20. Kui kastid on valmistatud sulamist tšugaal, siis võib neid kasutada 60—70 korda, kuumuskindla terase puhul aga 90—100 korda.

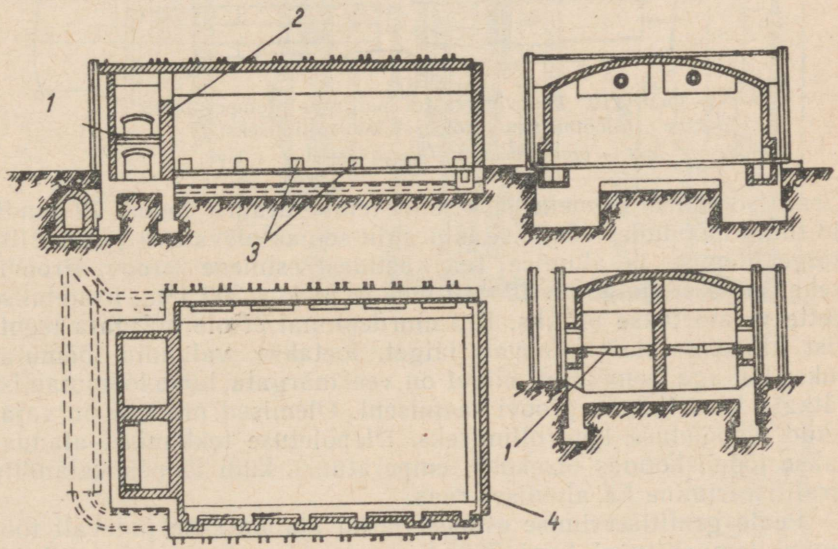
Esimene kast asetatakse alusele, esimesele kastile asetatakse teine jne., kuni 6—7 kasti ühte virna (joon. 208).

Ülemine kast kaetakse kaanega ja kõik kastide virnas olevad pilud tihendatakse saviga. Iga selline virn asetatakse kraana abil ahju lõõmutamiseks.

Valandite lõõmutamine toimub harilikult perioodilise tegevusega kamberahjudes (joon. 209). Ahjul on tavalise restiga *1* küttekolle kivisõe põletamiseks. Küttekolle on eraldatud tööruumist lävega *2*. Töötanud gaasid liiguvad ülevalt alla,



Joon. 208. Tempermalmist valanditega kastide virn lõõmutamiseks.

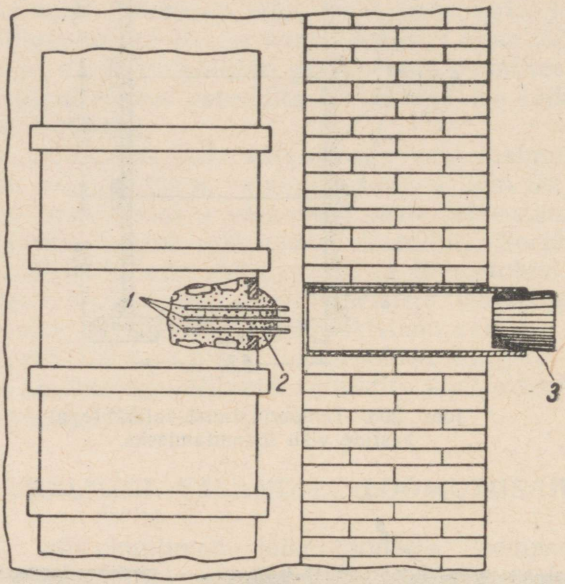


Joon. 209. Perioodilise tegevusega kamberahi tempermalmist valandite lõõmutamiseks:

uhuvad kastide virna ja lahkuvad põranda lähedale tehtud avade *3* ning suitsukanalite kaudu korstnasse.

Kastide virnad laaditakse ahju kaherattalise käru ja traktori abil külgmise seina *4* kaudu.

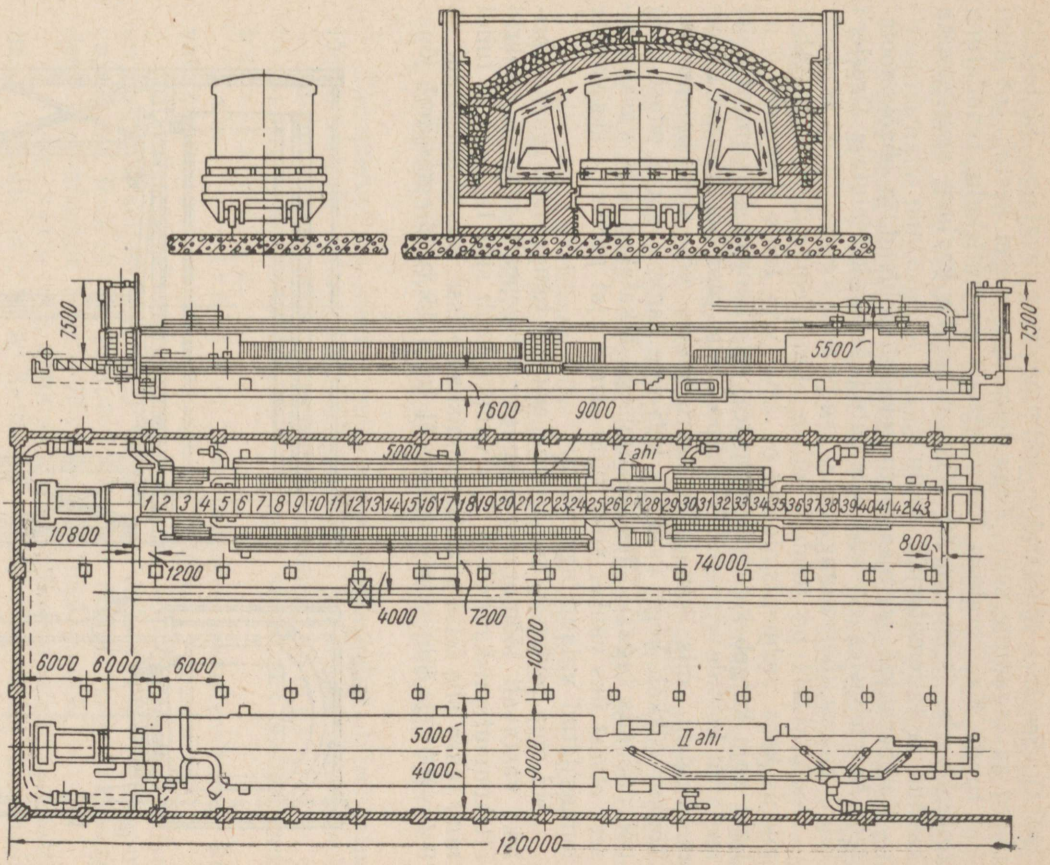
Ahju temperatuur laadimise ajal ei tohi ületada 60° C. Laadimise lõppedes suletakse ahju uks ja tihendatakse saviga. Pärast seda süüdatakse koldes tuli ning kuumutatakse valandid 950° C.



Joon. 210. Proovivarraste paigutus tempermalmi lõõmutamis-protsessi kontrollimiseks:
1 — proovikehad; *2* — savist tihend; *3* — kork.

Grafitiseerimise esimene järk sellel temperatuuril kestab 72 tundi. 48 tunni möödudes võetakse läbi ahju seinas oleva ava (joon. 210) kõige ülemise ja alumise rea kastidest esimene proov. Proovikeha, mille ristlõige on 10×10 mm ja pikkus 200 mm, kastetakse vette ja murtakse puruks. Kui murdepinnal ei ole märgata tsentrist kiirtena laiali minevat läiget, loetakse valandid lõõmutatuks; kui aga tsementiidi läiget on veel märgata, tuleb lõõmutamist jätkata kuni läiketa proovi saamiseni. Ülemised proovid on vajalikud ülepõletuse kontrollimiseks. Ülepõletuse tekkimisel alandatakse tööpiirkonnas otsekohe temperatuuri, kuni lõppeb valandite grafitiseerimine ka alumises reas.

Peale grafitiseerimise esimest järku alandatakse pidevalt tööruumi temperatuuri kuni 760° C, sulgedes ahjulõõride siibrid. Pärast seda alustatakse grafitiseerimise teist järku, mis kestab 80 tundi. Selle perioodi lõpuks peab temperatuur olema ligikaudu



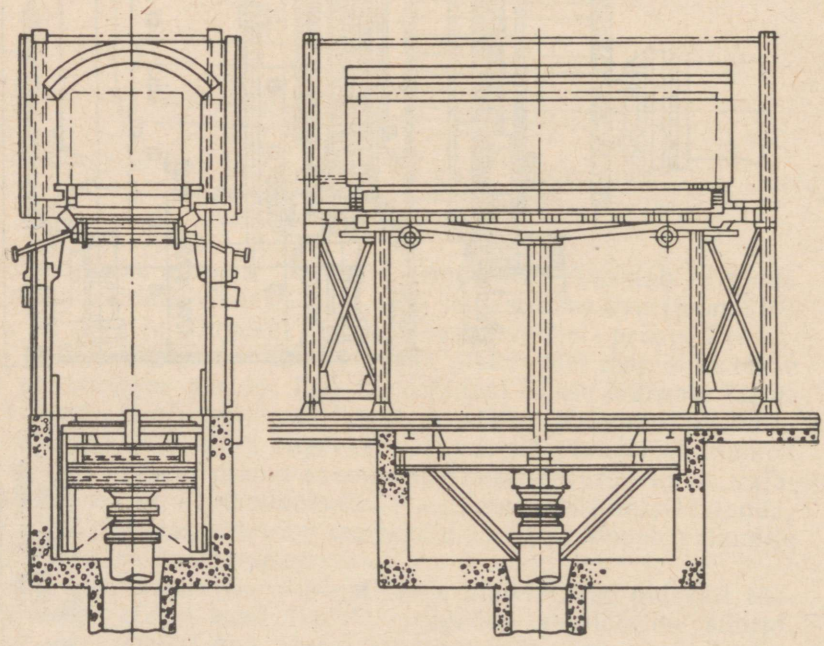
Joon. 211. Pidevalt töötav tunnelahi tempermalmist valandite lõõmutamiseks.

720° C. Seejärel lõpetatakse kütmine ning avatakse küttekolde uksed ja tagumine sein. Kogu lõõmutustsükkel kestab 168 kuni 192 tundi. Kamberahjus lõõmutamisel on küttekulu, taandatuna tingkütusele, ligikaudu 40—45% valandite kaalust, arvestamata kastide ja täitematerjali kaalu.

Kamberahjud on masstootmiseks ebasobivad ja ebaökonoomsed. Autotehastes on nad asendatud Ameerika leiutaja Dresler'i tüüpi pideva töörežiimiga t u n n e l a h j u d e g a.

Joonisel 211 on toodud sellise ahju skemaatiline lõige. Ahju pikkus koos mehhanismidega on 120 m ja laius ligikaudu 6 m. Läbi ahju kulgeb kaherööpaline tee, mis kannab 43 vankrit neile asetatud kastide virnaga. Vasakpoolsesse otsa on ehitatud tõukemehhanism, mis käitatakse sururõhuga või elektrimootoriga. Tõukur lükkab kogu vankrite keti ühe sammu võrra edasi ning pöördub siis tagasi. Ühe tõukamisega lükatakse ahju vasakpoolsest otsast üks vanker sisse ning samal ajal paremalt üks vanker temperdatud valanditega välja.

Ahi oma pikkuses on jagatud erineva temperatuuriga kambriteks vastavalt lõõmutamisjärkudele. Kõigepealt satuvad vankrid ettekuumutamiskambrisse. Iga vanker asub siin 16 kuni 28 tundi ning läheb siis teise grafitiseerimiskambrisse, kus temperatuur on 940—960° C. Siin viibivad nad 21 kuni 45 tundi, misjärel jõua-



Joon. 212. Takistus-elevaatorahi tempermalmist valandite lõõmutamiseks Gorki Autotehases.

vad kolmandasse kambrisse. Viimases jahtuvad vankrid külma õhu voolus 10—12 tundi ning suunduvad seejärel peale temperatuuri alanemist 760° C neljandasse, grafitiseerimise teise järgu kambrisse. Siin viibib iga vanker 13 kuni 60 tundi, kusjuures kastivirnade temperatuur alaneb pidevalt kuni 720° C.

Peale seda jõuavad vankrid viimasesse, viiendasse, jahutamiskambrisse ja lükatakse sealt õhu kätte. Temperdamise protsess kestab 50 kuni 140 tundi. Gorki Autotehases kasutatakse tempermalmist valandite lõõmutamiseks perioodilise tegevusega elevaator-kamberahju (joon. 212), mida kuumutatakse elektriliste takistuselementidega. Lõõmutustsükli pikkus selles ahjus on 30 tundi.

Moskva tehases «Borets» kasutatakse lõõmutamiseks soolavanne. Valandite lõõmutustsükli kestvus on siin veelgi lühem, kuna kuumutamine toimub ilma pakkimata ja kestab 8 kuni 12 tundi.

Vastavalt grafitiseerimise järkudele toimub lõõmutamine elevaatorahjus ja soolavannides kahes seadmes. Ühes toimub grafitiseerimise esimene, teises aga teine järk.

TEMPERMALMI KIIRENDATUD LÕÕMUTAMISVIISID

Tänapäeval on olemas mitu viisi tempermalmi kiirendatud lõõmutamiseks. Nad põhinevad järgmistel printsiipidel: esimeseks — sulami peeneteralise ehituse saavutamine esmasel kristalliseerimisel; teiseks — esmase struktuuri peenestamine karastamisega.

Esmane struktuur saavutatakse peeneteralisena, kui valamistemperatuur ei ületa 1350—1380° C.

Valamise reguleerimise raskus selles temperatuurivahemikus on tingitud sellest, et 1330° C juures võib saada valuvormis vajakvalu. Raskelt on samuti läbiviidav ühtlase seinapaksusega detailide valamine täpselt ühesugusel temperatuuril.

Teine viis, mis põhineb malmi mikrostruktuuri peenestamisel, esitati ins. S. A. Saltõkovi poolt ning selle juurutasid esmakordselt Moskva Lihhatševi-nimelises Autotehases A. D. Assonov ja V. I. Prjadilov. Selle viisi puhul valandid enne lõõmutamist karastatakse õlis 970—980° C temperatuuri juures. Saadava malmi erinevuseks on erakordselt väikeste grafiidiosakeste esinemine struktuuris ning kõrgendatud tugevus.

Prof. K. P. Bunini ja O. Galemini uurimised Dnepropetrovski Metallurgiainstituudis näitasid, et musta murdega tempermalmi lõõmutamise kestus sõltub esmaste austeniiditerade suurusest. Mida väiksem on tera, seda lühem on süsinikuosakeste ümberpaiknemise tee ja seda lühem on vajalik aeg süsiniku difusiooni lõpetamiseks. Selles uurimises on näidatud, et grafiit püüab täita terade vahele tekkinud praod. Mida väiksemad on terad, seda

rohkem on 1 mm² pinnal pragusid ja seda rohkem tekib grafitiseerimise tsentreid. Pragude arv on seda suurem, mida madalam on valamistemperatuur ja mida peenemad on austeniidi terad.

Modifitseerimise ajal muutuvad austeniidi terad väga peeneks ja pragude arv nende vahel suureneb. Karastamisel austeniidi esmane tera samuti peenestub ja järelikult lõõmutamise alguseks tekib metallis täiendavalt suur hulk pragusid. Süsiniku aatomite ümberpaiknemise tee lüheneb ja täielikuks grafitiseerimiseks kulub tunduvalt vähem aega. Austeniidi tera peenestamine ja selliste väikeste pragude moodustamine, mille ruumala täidetakse tempersüsinikuga grafitiseerimise esimese järgu ajal, soodustab üsna tiheda ja füüsikaliselt ühtlase ehitusega metalli saamist. Mehaanilised omadused — tugevus ja sitkus — muutuvad sellistel malmidel üsna kõrgeks. Lõõmutamise aeg tunnelahjudes lüheneb mitu korda ja kestab 24—28 tundi.

TERASVALANDITE TOOTMINE

VALANDITE TOOTMISEKS KASUTATAVATE TERASTE OMADUSED

Teraseks nimetatakse raua ja süsiniku sulamit, milles viimase sisaldus praktiliselt ei ületa 1,7—2,0%. Terast, mis sisaldab ainult tavalisi ja püsivaid lisandeid (kuni 2,0% C, kuni 0,8% Si, kuni 1,0% Mn, kuni 0,1% S, kuni 0,1% P) nimetatakse *süsinikteraseks*.

Teraseid, mis sisaldavad kuni 0,25% C, nimetatakse *väikese süsinikusisaldusega* ehk *pehmeteks terasteks*, 0,25 kuni 0,6% C — *keskmise süsinikusisaldusega terasteks* ning üle 0,6 ja kuni 2% C — *suure süsinikusisaldusega terasteks*. Teraseid, mis sisaldavad näidatud lisandeid suuremal hulgal või veel teisi (kroom, nikkel, titaan, molübdeen), nimetatakse *legeeritud* ehk *spetsiaalseteks terasteks*. Kui legeerivate elementide üldine sisaldus (süsinikku arvesse ei võeta) terases ei ületa 2,5%, siis nimetatakse seda *madalaltlegeeritud teraseks*, kui see on 2,5 kuni 10,0%, siis *keskmiseltlegeeritud teraseks*, ning üle 10% — *kõrgeltlegeeritud teraseks*.

Sulaterasel peavad olema järgmised omadused:

1. Küllaldane vedelvoolavus, et hästi täita vormi tööõõs ning anda selle hea jäljend.

2. Keemilise koostise vastavus ГОСТ'ile või valandi vastuvõtu tehnilistele tingimustele, kahjulike lisandite (fosfor ja väävel) ning lahustunud gaaside (hapnik, lämmastik ja vesinik) minimaalne sisaldus.

3. Tahkete ja vedelate mittemetalliliste lisandite puudumine. Lisandid, mis satuvad metalli, peavad olema võimelised tõusma kiiresti ja kergesti pinnale või muul viisil kõrvalduma metallist.

4. Peab andma puhta pinnaga, ilma kiledeta ja külgepõlemisteta valandeid.

5. Valandi metall peab olema tihe, vaba igasugustest ja erineva tekkimisviisiga vigadest.

Terase vedelvoolavus sõltub metalli keemilisest koostisest, temperatuurist, viskoossusest ja pindpinevusest. Peale selle sõl-

tub vedelvoolavus metalli puhtusest, gaasilistest ja mittemetallilistest lisanditest ning valuvormi soojusjuhtivusest.

Mida kõrgem on terase temperatuur, seda väiksem on tema viskoossus ja seda suurem vedelvoolavus. Kui temperatuur vastab punktidele, mis asuvad kõrgemal likvidusjoonest, siis terase vedelvoolavus on rahuldav. Kui aga temperatuur vastab punktidele, mis asuvad madalamal likvidusjoonest, siis terase vedelvoolavus väheneb kiiresti ja niipea kui on moodustunud tahkest faasist tihe skelett, muutub vedelvoolavus nulliks (null-vedelvoolavus).

Ülekuumutatud teras võib tugeva oksüdeerimise puhul moodustada oksüüdikilesid, mis suurendavad pindpinevust ja alandavad vedelvoolavust.

Vedelvoolavus on seda suurem, mida kõrgem on metalli ülekuumutus, mida rohkem soojust eraldab teras kristalliseerimisel ja mida vähem soojust neelavad valukanalid ja vormiõõs vormi täitmisel sulametalliga. See sõltuvus on väljendatud prantsuse teadlase Portevin'i poolt järgmise valemi kujul:

$$\varphi = Ad\,\frac{c(t_{ü} - t_0) + L}{t_m - t_v},$$

kus A on koefitsient, mis sõltub vormiseinte seisukorrast;

d — sulametalli tihedus;

c — sulametalli erisoojus;

$t_{ü}$ — ülekuumutatud terase temperatuur;

t_0 — nullvedelvoolavuse temperatuur;

L — kristalliseerimissoojus;

t_m — metalli keskmine valamistemperatuur;

t_v — keskmine vormitemperatuur.

Kui $t_m = t_v$, siis nimetaja muutub nulliks ning vedelvoolavus lõpmata suureks. Praktikas esineb selline juhus sulaterase valamisel ettekuumutatud vormi või valandite valmistamisel väljasulatavate mudelitega.

KEEMILISE KOOSTISE MÕJU TERASE VEDELVOOLAVUSELE

Prof. A. A. Rõžikov [1], uurides terase keemilise koostise mõju tema vedelvoolavusele, leidis:

1. Räni sisalduse suurenemisel 0,25%—0,45% terase vedelvoolavus järsult tõuseb.

2. Mangaanisisalduse suurenemisel kuni 2%-ni vedevoolavus ei muutu; süsinik, kui tema sisaldus ei ületa 0,8%, mõjutab vedelvoolavust vähe; kõrgeltlegeeritud mangaanterasel (12—14% Mn)

[1] Теоретические основы литейного производства. Машгиз, 1954.

on temperatuuril 1450° C hea vedelvoolavus, temperatuuri tõusmisel aga üle 1450° C vedelvoolavus väheneb ja muutub vähemaks süsinikteraste vedelvoolavusest; see on tingitud nähtavasti järsust pindpinevuse tõusust tugeva teisese oksüdeerimise tagajärjel.

3. Vasesisalduse tõustes kuni 4%-ni terase vedelvoolavus suureneb.

4. Niklisisalduse tõusmisel kuni 3,25%-ni vedelvoolavus suureneb, edaspidisel tõusmisel kuni 5%-ni aga väheneb.

5. Kroom kuni 1,5% koguses terase vedelvoolavust peaaegu ei mõjuta; 2,8 kuni 8,9% Cr sisaldava terase vedelvoolavus temperatuuri tõustes ei suurene.

6. Molübdeen ja vanaadium, nende sisaldusel piirides 0,25—1,0%, vähendavad vedelvoolavust.

7. Suurim vedelvoolavus on terastel, mis on legeeritud vase, räni ja mangaaniga, samuti aga ka nikli ja mangaaniga, ning terastel, mis on legeeritud fosforiga.

8. Väävel vähendab vedelvoolavust.

9. Lämmastik vähendab järsult vedelvoolavust ferriitses suure kroomisisaldusega terases.

10. Roostekindlatel kroom- ja kroomnikkelterastel suureneb vedelvoolavus ränisisalduse suurenedes kuni 0,6%-ni.

11. Happelisel terasel on, võrreldes aluselise terasega, muudel samadel tingimustel suurem vedelvoolavus.

TEMPERATUURI JA VALAMISKIIRUSE MÕJU KILEMOODUSTAMISELE

Igal terasemargil peab olema vormi valamisel kindel temperatuur ja vedelvoolavus. Temperatuuri piirid määratakse katseliselt. Valamine lubatavast madalamal temperatuuril suurendab oksüdeerimist ja kilemoodustamist. Kui temperatuur on madal ja valamiskiirus vormi on väike, siis võivad valandid rikastuda kiledega, mis tekivad sulametalli kokkupuutumisel valukanaleid ja vormiõõnt täitva õhu hapnikuga. Kontakti ajal toimub varem taandatud terase teisene oksüdeerimine. Kui valamiskiirus on väike ja temperatuur võrdlemisi madal, siis oksüdeerimine toimub küllalt intensiivselt ning kile pidevalt pakseneb ja laieneb. Väljumisel vormi laiendatud osasse jõuab kile katta kogu vedeliku pinna. Sattudes aga kitsamasse kohta, kile liibub pinna vastu, katkeb ja moodustab «keerde», mis jäävad valandisse.

KILEDEGA VÕITLEMISE ABINÕUD

Kiledega võitlemiseks tuleb terasvalandite juures kinni pidada järgmistest nõuetest: hoiduda vormide valamisest külma terasega, suurendada valamiskiirust ja võtta kasutusele abinõud terase hoidmiseks teisese oksüdeerimise eest. Eriti vastutusrikkad

kõrgeltlegeeritud terased on kasulik valada vaakuumis, mis väldib igasuguse teisese oksüdeerimise.

Liiga kõrge valamistemperatuur tingib kahanemistühimiku ruumala suurenemist, kuumpragude ja külgepõlemise tekkimist.



Joon. 213. Puksi välisvaade, mis on valatud 1430° C juures metalli tõusukiirusega vormis 6 mm/sek. (L. J. Plotinski). Kogu pind on kaetud kiledega.

V. G. Gruzin (ЦНИИТМАШ) leidis, et kuumuskindlatest terastest valandites kilesid peaaegu ei esinenud, kui vormi valatava metalli temperatuur ületas 1560° C (temperatuuri mõõdeti sissekastetava termopaariga). Valandi pinnale külgepõlemine oli minimaalne, kui metalli temperatuur püsis valamise ajal vahemikus 1560—1580° C. Joonisel 213 on näidatud liiga madalal temperatuuril (1430° C) valatud detaili pind. On ilmne, et kilede ja keerdude vältimiseks on kõige otstarbekam valida katselisel teel leitud valamise keskmine temperatuur ja kiirus.

Tabelis 60 on esitatud V. G. Gruzini katsete alusel määratud soovitatavad valamistemperatuurid mitmesuguse kaalu ning keemilise koostisega terasvalanditele.

Terase soovitatavad valamistemperatuurid masinadetailidele
(V. G. Gruzin)

Detaili nimetus	Valandi mõõted või toorkaal	Terase mark	Temperatuur °C	
			tegelik	optilise püromeetri järgi ilma paranduseta
Hüdroturbiinide labidad, tasased plaadid, supordid, padjad	Üle 5 t	Л35 Д25	1510—1545 1520—1555	1390—1420 1400—1430
Rihmarattad, hoorattad, hammasrattad	Läbimõõduga üle 1 m	25Х14Л	1535—1560	1490—1510
Alused, traaversid, aukudega ja pesadega plaadid, püsttoed, trumlid, silindrid, laadimiskolud	Üle 5 t	Л35 Л25	1520—1545 1530—1535	1400—1430 1410—1430
Hüdroturbiinide staatorid ja rootorid, korpused, reduktorite kaaned ja raamid, ribidega ja aukudega plaadid ja talad, räbukausid	Üle 5 t	Л35 Л25	1520—1555 1530—1565	1400—1430 1410—1440
Hoorattad, hammasrattad, hammasratta põiad, tugirõngad, segaja rullid, käigurattad, ketirattad	Läbimõõt 1 m	Л25 ХН	1530—1565 1520—1550	1410—1440 1430—1460
Hüdroturbiini labidad, trumlid, silindrid, laadimiskolud	Alla 5 t	НХ	1520—1550	1430—1460
Ekskavaatori raamid, kraanade ja vagunite vankrid, kastid	Kõikides mõõdetes	Л35	1535—1555	1410—1430
Rihmarattad	Läbimõõduga 1 m	Л25	1545—1565	1420—1440
Hoorattad, hammasrattad, segaja rullid, käigurattad, ketirattad	Läbimõõduga 1 m	Л35	1535—1570	1410—1440
Õhukeseseinalised pöördkeha tüüpi detailid (äärikud, rõngad)	Läbimõõduga alla 300 mm	Л25	1545—1580	1420—1450
Auru- ja gaasiturbiinide kered	Seinapaksus 30—45 mm	Teras Х15Н 15Т0,3	1540—1560	1490—1510
Auruturbiinide kered	Seinapaksus 22—30 mm	25	1565—1590	1450—1470
Hõõrdumisega töötavad ekskavaatorite, buldooserite osad, veskite soomusplaadid, purustajate põsed, kered, bandaažid.	Kaal alla 500 kg	Г13Л	1405—1435	1350—1380

Kõik kolm süsinikterase liiki (väikese, keskmise ja suure süsinikusisaldusega) kuuluvad eeleutektoidiliste teraste hulka. Terast, mis sisaldab süsinikku 0,75 kuni 0,85%, nimetatakse eutektoidiliseks, üle 0,85% sisaldavat aga järeleutektoidiliseks teraseks.

Struktuuri järgi liigitatakse terased ferriitseteks, perliitseteks, sorbiitseteks, martensiitseteks, austeniitseteks ja ledeburiitseteks terasteks.

Kasutamise järgi jagatakse terased:

1) süsinik- või legeeritud konstruktsiooniterased;

2) külmtugevad või külmakindlad terased, mis töötavad negatiivsetel temperatuuridel;

3) soojuskindlad terased, mis töötavad 300—400° C juures;

4) kuumustugevad konstruktsioonterased perliitsest või austeniitsest klassist, mis sisaldavad Cr, Ni, Mo, W, Co, Ti, Nb ja teisi legeerivaid lisandeid.

Peale selle liigitatakse teraseid eriliste keemiliste omaduste järgi, näiteks roostekindlad, happekindlad, alusekindlad, antikorrosioonilised, hüdroturbiinide labidate terased ja teised.

TERASTE OMADUSTE SÕLTUVUS LEGEERIVAIST JA JUHUSLIKEST LISANDEIST

Terase mehaanilised, füüsikalised ja keemilised omadused ei sõltu ainult ühest juhtivast lisandist, vaid ka ülejäänud püsivatest, legeerivatest, varjatuist ja juhuslikest lisanditest, mis määravad ette terase kui ka sellest valmistatud toote struktuuri. Terase koostise, sulatamis- ja valamistingimuste, struktuuri ja omaduste vahel on olemas kõige tihedam side ja vastastikune sõltuvus. Selle vastastikuse sõltuvuse määrab lõppkokkuvõttes metallilise massi molekulaarne ehitus.

Nii näiteks ükskõik millise konstruktsioonimaterjali tugevuse määravad aatomivahelised sidemed. Kui aatomitel on kristallvõres metalliline side (kõige tugevam), siis iseloomustab ainet kõrge tugevus. Kui side aatomite vahel on kovalentne, nõrgem, on ka tugevus väiksem. Süsiniku aatomid grafiidis moodustavad plaadikesi kuuest aatomist, millede vahel on metalliline tugev side. Kuid paralleelselt asetatud plaadikesed on omavahel ühendatud nõrga, kovalentse sidemega ja nad purunevad kergesti, moodustades lamedaid lehekesi.

Lisanditevabas metallis asetsevad aatomid korrapärase võre kujul, olles ühendatud ühtlase pingega metalliliste sidemetega. Selliseid metalle iseloomustab suhteliselt väike tugevus ja kõrge plastilisus. Viies sulamisse lisandeid, mis selles täielikult lahustudes asuvad oma aatomitega kas lahustaja aatomite kohtadele

(asendustüüpi lahus) või nende vahele (süvendustüüpi lahus), muutub aatomitevaheline kaugus ja suureneb sidemete pingeline seisukord. Sulam muutub tugevamaks kui puhas metall. Kui lisandit viia lahusesse üle küllastumispiiri, siis jääb ta osaliselt vabaks ning võib moodustada keemilise ühendi. Kui uus aine on lahustamatu, eraldub ta iseseisva faasina analoogiliselt süsinikule või tsementiidile malmis. Metallilised terad võivad sel juhul olla kaetud lisandi ülejäägiga või tema ühenditega (tsementiit). Sulami tugevust ei määra nüüd enam tahkelahuse terade, vaid interkristalliitse aine tugevus, ning see võib langeda. Järelikult sulami tugevuse reguleerimiseks on vaja teada, kuidas mõjuvad alalised, legeerivad, juhuslikud ja varjatud lisandid.

Terase omadused sõltuvad seega kõikidest temas leiduvatest lisanditest, nende omavahelistest ühenditest, hulgast ja omadustest ning nende mõjust sulami struktuurile. Peale lisandite, mis määratakse tehnilise analüüsiga, on vaja osata eristada gaaside ja mittemetalliliste osakeste mõju, kujutada endale terase ehitust kui paljude tegurite (keemilise koostise, temperatuuri, sulatamistingimuste, valamistingimuste, vormi atmosfääri koostise, tema seinte olukorra, vormi jahtumiskiiruse jne.) kompleksi.

Vaatleme alaliste lisandite mõju terase mehaanilistele omadustele.

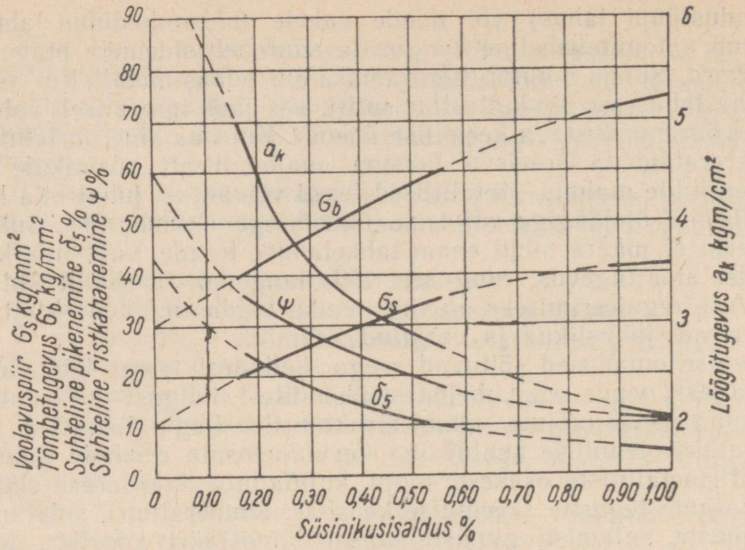
SÜSINIKTERASED

Tavalise terase mehaanilised omadused sõltuvad peamiselt süsinikusisaldusest (joon. 214). Enamkasutatavate, sealhulgas ka järeleutektoidiliste teraste osas on see olenevus märgitud pidevjoontega.

Diagrammilt selgub, et pehmel terasel, mis paistab silma oma struktuuri ühtlusega ja raua kristallvõre väikse pingestatusega, on kõrge staatiline (δ ja ψ) ja dünaamiline (a_k) plastilisus, kuid suhteliselt väike tugevus. Süsinikusisalduse tõusuga rikuvad perliidis esinevad tsementiidilibled struktuuri ühtlust üha rohkem ja rohkem ning terase plastilisus staatilisel koormusel väheneb sujuvalt, löögitugevus aga alguses järsult ning seejärel aeglaselt.

Järeleutektoidilisel terasel, mis sisaldab 0,88—1,00% C, on järgmised tugevusnäitajad: $\sigma_s = 40—42$ kg/mm²; $\sigma_b = 72—74$ kg/mm²; $\delta_5 = 4—5\%$; $\psi = 11—12\%$; $a_k = 2$ kgm/cm². Pehmel ferriitsel terasel, mis sisaldab 0,15—0,17% C, on $\sigma_s = 20$ kg/mm²; $\sigma_b = 40$ kg/mm²; $\delta_5 = 24\%$; $\psi = 36\%$; $a_k = 5$ kgm/cm².

Valatud süsinikterased jagatakse ГОСТ 977-53 järgi sõltuvalt väävli- ja fosforisisaldusest kolme kvaliteedigruppi: I grupp — normaalse, II — kõrgendatud ja III — erilise kvaliteediga süsinikterased. Margid tähistatakse olenevalt terase süsinikusisaldusest, näiteks 15Л, 20Л, ..., 55Л. Kvaliteedi näitamiseks kasutatakse rooma numbreid, näiteks 20Л II, 30Л III, 35Л I jne.



Joon. 214. Süsiniku mõju tavaliste teraste mehaanilistele omadustele (P. N. Bidulja).

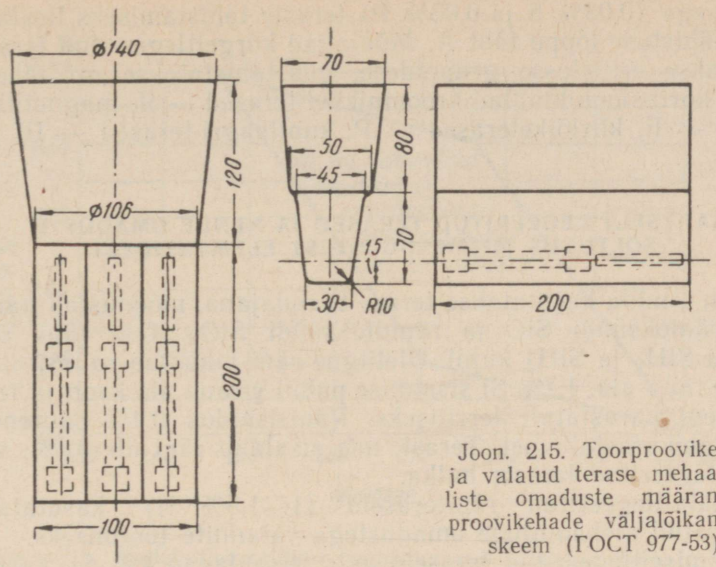
Terase sulatamistingimuste märkimiseks kasutatakse tähti: Б — bessemerteras; К — happeline martään- või elektriahjuteras; aluselisele martään- või elektriahjuterasele mingit tähte ei asetata. Näiteks tähistus 15ЛБ I märgib normaalse kvaliteediga bessemerterast, mis sisaldab 0,12—0,20% C, tähistus 40ЛК II — kõrgendatud kvaliteediga happelist terast, süsinikusisaldusega 0,37—0,45%, tähistus 30Л III — erikvaliteediga aluselist terast süsinikusisaldusega 0,27—0,35%.

Mehaanilised omadused määratakse spetsiaalselt valatud toorproovikehadest (joon. 215) väljalõigatud proovikehadega. Toorproovikehad valatakse märgadesse, kuivadesse või metallvormidesse sõltuvalt valandivormi materjalist. Tõmbekats tehakse ГОСТ 1497-42 järgi proovikehaga, mille läbimõõt on 10 mm ja arvestuslik pikkus 50 mm. Löögitugevus määratakse ГОСТ 1524-42 järgi.

Liiga pehmel või kõval terasel on kõrgendatud temperatuuridel (1400—1500° C) väga väike tugevus ja sitkus, mistõttu nendest isegi väikese kahanemistakistuse korral tekivad kuumpraod.

Grafitiseerunud eutektoidilist terast (0,8—1,0% C) kasutatakse valanditeks, millelt nõutakse suurt kulumiskindlust (kivipurustajate põsed, söeveskite kuulid ja soomus, viimistlus-valtsseadme valtsid jne.).

Suure süsinikusisaldusega terasel on võrreldes pehme terasega väiksem soojusjuhtivus, mistõttu vormis jahtumisel tekib



Joon. 215. Toorproovikehad ja valatud terase mehaaniliste omaduste määramise proovikehade väljalõikamise skeem (ГОСТ 977-53).

valandis temperatuuri ebaühtlus. Suurte sisepingete vältimiseks, mis põhjustavad külmpragusid, tuleb järskude üleminekutega valanditeks kasutada väiksema süsinikusisaldusega metalli ja võtta kasutusele abinõud massiivsemate osade jahtumise kiirendamiseks (välimised jahutajad) ning õhemate osade jahtumise aeglustamiseks.

Süsinikusisalduse tõstmisel paraneb terase vedelvoolavus. Väikese arvestusliku seinapaksusega valandid tuleb valada suurema süsinikusisaldusega terasest. Massiivsetes valandites on suur süsinikusisaldus ebasoovitav, kuna see kutsub terases esile likvatsiooni.

Tavalistele valanditele osutub parimaks teras, mis sisaldab 0,15 kuni 0,25% C. Süsinikusisaldus terases määratakse sõltuvalt valandi nõutavatest mehaanilistest omadustest.

Terases legeeriva elemendi tähistamiseks kasutatakse tähtnumbrilist märkimisviisi: nikkel — H, kroom — X, räni — C, mangaan — Г, fosfor — П, vask — D, molübdeen — M, volfram — B, vanaadium — Ф, titaan — T, alumiinium — Ю. Süsiniku ja legeerivate elementide sisaldus antakse arvudega, millest kaks esimest näitavad keskmist süsinikusisaldust sajandikprotsentides, järgmised kaks (peale tähti) aga legeeriva elemendi sisaldust täisprotsentides. Kui viimase sisaldus on vähem kui 1%, siis numbrit ei asetata, kui sisaldus on ligikaudu 1,5%, siis asetatakse number 1, umbes 2% — number 2 jne. Näiteks teras koostisega 0,15—0,25% C; 1,8—2,3% Cr; 0,8% Ni tähistatakse 20X2H, teras koostisega: 0,25—0,35% C; 0,75—0,85% Cr; 0,85—1,15% Mn; 0,7—0,9% Si tähistatakse 30ХГС. Vähendatud väävli ja fosfori-

sisaldusega (0,03% S ja 0,03% P) teraste tähistamiseks lisatakse margi tähistuse lõppu täht A. Mõningad kõrgeltlegeeritud terased eraldatakse erilistesse gruppidese, mis tähistatakse eri tähega, näiteks korrosioonikindlad kroomnikkel-terased — Я, magnetilised terased — E, kiirlõiketerased — P, kuullaagri-terased — Ш jne.

KAHESELT LEGEERITUD TERASED JA NENDE OMADUSTE SÕLTUVUS MITMESUGUSTEST ELEMENTIDEST

R ä n i, mida kasutatakse terase taandajana, moodustab hapnikuga räniooksüüdi SiO ja ränidioksüüdi SiO_2. Osa räni seob vesiniku SiH_2 ja SiH_4 kujul. Üleliigne räni lahustub rauas, ahendades γ-raua ala. 1,7% Si sisalduse puhul γ-raua ala kaob ja teras jääb isegi karastatult ferriitseks. Ränisisaldus 0,4% suurendab terase läbikarastatavust. Terast, mis sisaldab räni üle 0,4%, võib arvata legeeritud teraste hulka.

Madalaltlegeeritud räniteraseid (1—1,5% Si) kasutatakse kõrgendatud mehaaniliste omadustega valandite tootmiseks.

Keskmiseltlegeeritud teraseid, mis sisaldavad 4% Si, kasutatakse spetsiaalsete füüsikaliste omadustega valanditele ning kõrgeltlegeeritud (Si>8%) — spetsiaalsete keemiliste omadustega valanditele.

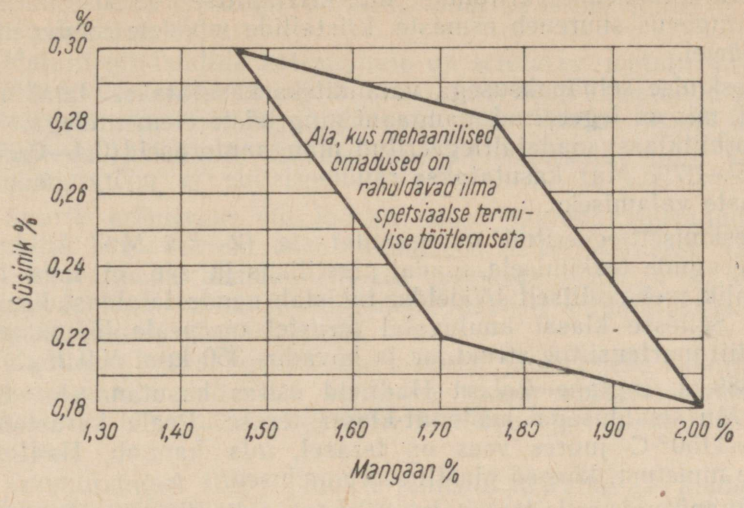
Legeeritud terastes soodustab räni kõrgendatud temperatuuridel tugevuse tõusu ja suurendab kuumuskindlust. Räniteraste plastilisus ja sitkus on ligikaudu poolteist korda suurem kui süsinikterastel. Kulumiskindlus on räniterastel samuti suurem.

Räni vähendab vedelvoolavust. 1,0—1,5%-lise ränisisalduse juures on vajalik vormide täitmiseks tõsta metalli temperatuuri. Madal ränisisaldus, vastupidi, parandab madala süsinikusisaldusega terase vedelvoolavust.

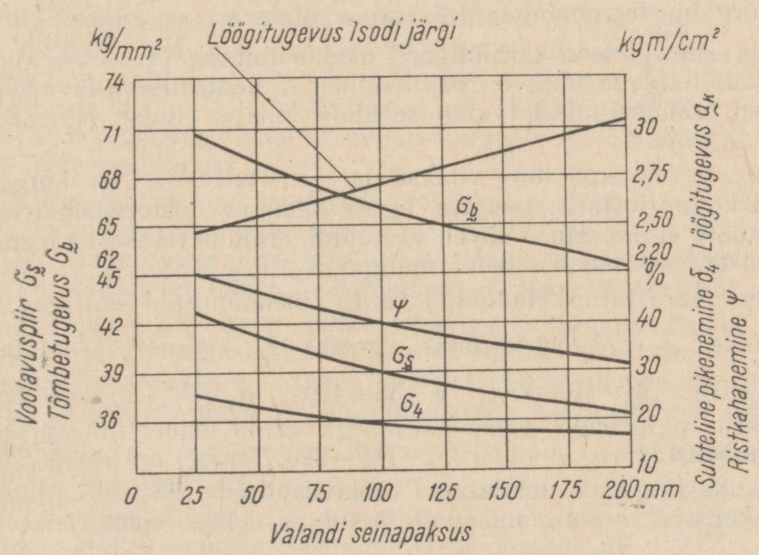
M a n g a a n, mida kasutatakse taandajana, moodustab mangaanoksüüdi MnO. Süsinikuga annab ta keerulise karbiidi. Üleliigne mangaan lahustub rauas ja vastupidi ränile laiendab γ-raua ala. Mangaan, moodustades rauaga asendustüüpi tahkelahuse, suurendab γ-raua ja α-raua kristallvõrede pingelist olukorda ning järelikult ka terase tugevust; süsinikusisalduse tõustes eraldub karbiid, mis suurendab sulami ebaühtlust ja alandab plastilisust. Raua-mangaanikarbiid, suurendades kõvadust, halvendab valandi töödeldavust.

Inglise teadlaste uurimiste alusel on madalaltlegeeritud mangaanterastel peale normaliseerimist parimad mehaanilised omadused, kui mangaani- ja süsinikusisaldus jääb piiridesse, mis joonisel 216 on piiritletud rombiga.

Madalaltlegeeritud mangaanteraste mehaaniliste omaduste muutumine sõltuvalt valandi seinapaksusest on näidatud joonisel 217. Diagrammist järeldub, et mida paksuseinalisem on valand, seda madalamad on tugevus ja plastilisus. Seda võib



Joon. 216. Madalaltlegeeritud mangaanterasest valandite mehaanilised omadused peale valandite kuumutamist kiirusega 75° C tunnis, nende väljahoidmist ahjus 900—940° C juures 4 tunni kestel ning väljaandmist õhu kätte (T. Ruffle).



Joon. 217. Valandi seinapaksuse mõju normaliseeritud (8 tundi 900° C) mangaanterase (0,34% C, 1,46% Mn) mehaanilistele omadustele (C. Briggs).

seletada kahanemis-päritolulise interkristalliitse poorsuse mõjuga. Löögitugevus suureneb esmaste kristallide mõõdete suurenemise tagajärjel.

Keskmise seinapaksusega valanditeks kasutatakse laialdaselt terast, mis on legeeritud mangaani ning teiste elementidega.

Sorbiitklassi madalaltlegeeritud mangaanteraseid (0,4—0,6% C ja 1,5—1,7% Mn) kasutatakse raudteeristide ja pöörangu noolrööbaste valamiseks.

Keskmiseltlegeeritud mangaanteraste (2—8% Mn) kalduvus külmpragude tekkimisele, madal plastilisus ja see, et neid pole võimalik mehaaniliselt töödelda, takistab nende laialdast kasutamist. Sellesse klassi kuuluvatel terastel on peale lõõmutamist troostiit-martensiitne struktuur ja kõvadus 350 kuni 500 H_B.

1889. a. inglane Robert Hadfield esitas kasutamiseks 11—13% Mn sisaldusega austeniit-klassi terase. Peale karastamist 1100—1150° C juures vees on terasel, mis kannab Hadfield'i terase nimetust, kõrged plastilised omadused.

Tänapäeval selle terase keemiline koostis kõigub järgmistes piirides: 0,9—1,2% C; 0,4—1,0% Si; 10,0—13,0% Mn; 0,08—0,20% P; 0,01—0,03% S. Kõrge süsinikusisaldus põhjustab austeniiditerasid katva karbiidi ning austeniidi vahel mikropragude tekkimist. Teras omandab kõrge tugevuse ja plastilisuse ainult rangel kinnipidamisel terase koostises suhtest $\frac{Mn}{C} > 10$.

Kõrgahju ferromangaani lisamine sulaterasesse, milles $\frac{Mn}{C} < 10$, kutsub esile jämeda karbiidivõre moodustumise. Terasesse tuleb lisada küllaldane hulk ferrosiliitsiumi, et neutraliseerida metalli teisesel oksüdeerimisel (valamise ajal) tekkiva liigse mangaanoksüüdi mõju.

Koos ferromangaaniga viiakse paratamatult sisse ka kõrgendatud kogus fosforit; seetõttu terase saamine fosforisisaldusega alla 0,08% ei õnnestu. Väävel, vastupidi, eraldub terasest kergesti, moodustades räbusse minevä mangaansulfiidi MnS.

Vees karastatud Hadfield'i terase mehaanilised näitajad on järgmised: $\sigma_s = 25—40$ kg/mm², $\sigma_b = 80—100$ kg/mm², $\frac{\sigma_s}{\sigma_b} \cdot 100 = 30—40\%$, $\delta_5 = 40—55\%$; $\psi = 35—45\%$; $\alpha_k = 20—30$ kgm/cm²; katsekeha paindenurk sama paksusega varda ümber ilma pragusid moodustamata — 180°, $H_B = 180—220$. Terasel on hea plastilisus, kuid tingituna madalast voolavuspiirist (25—40 kg/mm²) halb konstruktiivsete omaduste kasutamise koefitsient (mis väljendub suhtega $\frac{\sigma_s}{\sigma_b} \cdot 100$). Tavalistel süsinikterastel on see vahekord 40—50%, legeeritud terastel tõuseb kuni 70—80%-ni.

Hadfield'i terase kõvadus on suhteliselt madal, kuid lõike-

teraga on teda peaaegu võimatu töödelda, kuna lõikeprotsessis tekib kalestumine.

Metalli pindkihtide kalestumine on seletatav metalli kristallvõre tugevuse suurenemisega. Teisene kõvadus kalestunud pinnal tõuseb kuni 450—550 H_B. Valandeid võib töödelda ainult suurte raskustega, kasutades kõvasulamist lõiketerasid ning väikesi lõikekiirusi.

Suurte erisurvete või löökkoormuse juures kalestunud pind omandab hea vastupidavuse kulumisele. Sellest terasest valatud ekskavaatorikopa hambad kivises pinnases peaaegu ei kulugi, muutuvad aga kulumise tagajärjel kiiresti kõlbmatuks (umbes 8 tunni jooksul) sõredas liivas.

Hadfield'i terast kasutatakse näiteks järgmisteks valanditeks: trammiroobaste ristmikud, võimsate maagipurustajate koonused, ekskavaatorikopa hambad ja nokk, traktorite ja tankide roomikute lülid jne.

Kuumutamisel 1050—1150° C lahustuvad rauа- ja mangaanikarbiidid austeniidis. Järsul karastamisel vees jäävad karbiidid lahustunuks ja teras saadakse austeniitse struktuuriga, mis soodustab kalestumist ja kõvaduse tõusu.

Karbiidide väljalangemise vältimiseks lahusest viiakse kõrgeltlegeeritud austeniitsesse mangaanterasesse Г13Л 0,4—0,6% Al, Ti, Ni ja teisi lisandeid. Mittemagnetilist madala süsiniku- (0,5—0,7%) ja kõrgendatud mangaanisisaldusega (16—18%) terast kasutatakse magnettõstukite ketaste valamiseks.

Terase vedelvoolavus 1,5—2% Mn sisalduse juures alaneb, mangaanisisalduse edasisel tõusmisel aga suureneb. Hadfield'i terasel on madal valamistemperatuur (1400—1350° C) ja üsna hea vedelvoolavus, kuid ta nõuab külgepõlemise vältimiseks eri abinõude kasutamist.

Kõrge valamistemperatuuri puhul moodustub jäme esmane tera ning terase suhtelist pikenemist alandavad interkristalliitsed praod. Madal valamistemperatuur on Hadfield'i terastel kohustuslik ka selleks, et takistada kuumpragude moodustumist.

Väävel on terases püsiv ja kõige kahjulikum lisand, kuna ta põhjustab kuumrabedust. Väävli kahjuliku mõju neutraliseerimiseks kasutatakse mangaani, millega väävel moodustab sulfiidi MnS. Viimases tuleb 55 osa mangaani kohta 32 osa väävlit. Suhe $\frac{Mn}{S} = 1{,}71$. Kuid sellise suhte juures võib väävel moodustada väävlisraua, mis sulab madalal temperatuuril ja osutab seoses tema asetusega esmaste kristallide pinnale kõige kahjulikumat mõju metallilise massi mehaanilistele omadustele.

Väävli täielikuks neutraliseerimiseks mangaaniga peab teras sisaldama viimast rohkem (4—5 korda), kui see järelduks suhtest $\frac{Mn}{S}$.

Väävel soodustab takistatud kahanemisel kuumpragude tekkimist, kuna kõrgetel temperatuuridel on metalliterad kaetud üsna nõrga poolvedela sulfiidide kilega, eriti kui väävlisisaldus terases on üle 0,05%.

Normaalse kvaliteediga aluselises terases ei tohi väävlit olla üle 0,05%, kõrgendatud ja erilise kvaliteediga valandites mitte üle 0,045%, happelises terases mitte üle 0,06%, erilise kvaliteediga valandites mitte üle 0,05%. Happelise konverterterase väävlisisaldus ei tohi olla üle 0,07% ja kõrgendatud kvaliteediga valanditel mitte üle 0,06%. Kuumustugevast terasest valandite väävlisisaldus ei tohi olla üle 0,02%.

Austeniitsest happekindlast terasest X18H8 valandite töödeldavuse parandamiseks lubavad Ameerika Ühendriikide tehnilised tingimused suurt väävlisisaldust (0,20—0,40%).

Fosfor nagu väävelgi kuulub terase püsivate ja kahjulike lisandite hulka ning kutsub esile valandite külmhaprust; fosfori kahjulik mõju on seda suurem, mida suurem on süsinikusisaldus. Süsinikterasel, mis sisaldab 0,09% P, on löögitugevus ligikaudu kaks korda väiksem kui terasel, mis sisaldab 0,06% P. Suurtel valanditel tuleb fosforisisaldust rohkem alandada kui keskmise seinapaksusega valanditel.

Fosfori üleviimiseks metallist räbusse tuleb kasutada aluselise voodriga terasesulatamisagregaati ning viimane valida olenevalt valandi nõuetavast fosforisisaldusest.

Kroom kuulub legeerivate lisandite hulka. Hapnikuga ta moodustab keemilised ühendid CrO, Cr_2O_3 ning teisi oksüüde, mis reageerides SiO_2 ning FeO ja MnO moodustavad kaheseid ja keerulisemaid räbutüüpi oksüüde. Kroomi oksüüdid teevad räbu paksuks ja väheliikuvaks. Süsinikuga ja rauaga moodustab kroom $(Cr, Fe)_4C$-tüüpi ja teisi karbiide. Kroom lahustub α-rauas ja γ-rauas, ahendades γ-raua ala.

Kui pehmes rauas on 12,5% Cr, siis austeniiti enam ei esine ning selle asemele tekib kroomiga legeeritud ferriit. Süsinik vähendab kroomi mõju γ-raua ala ahendamisel. Ferriitse struktuuri saamiseks 0,15% C sisalduse juures peab teras igal temperatuuril sisaldama vähemalt 18% Cr.

Seega sõltub kroomteraste struktuur mitte ainult kroomi-, vaid ka süsinikusisaldusest. Mitmesuguse kroomi- ja süsinikusisalduse juures saadakse teraseid ferriitse, perliitse, poolferriitse (ferriit ja austeniit), austeniitse, martensiitse, sorbiitse, karbiidse ja ledeburiitse struktuuriga. Kroomteraste omadused on süsinikterastega võrreldes kõrgemad. Kuid sellele vaatamata kasutatakse kroomteraseid vähem kui räni, mangaani, nikli, molübdeeni, volframi ja teiste elementidega legeeritud teraseid.

Kroom suurendab läbikarastatavust, kulumiskindlust, eriti aga terase vastupidavust tugevatele anorgaanilistele hapetele (sool- ja väävelhappele), niiskes atmosfääris ja vees. Süsinik- ja

kroomteraste ühesuguse tugevuse juures on viimane suurema plastilisusega.

Kõige rohkem kasutatakse madalaltlegeeritud kroomterast, mis sisaldab 0,35—0,45% C; 0,25—0,45 % Si; 0,6—0,8% Mn ja 0,7—0,9% Cr; selle terase mehaanilised omadused peale karastamist ja noolutamist on: σ_s =48—53 kg/mm²; σ_b = 65—70 kg/mm²; $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ =100—70%; δ_5=16—18%; ψ=35—45% ja a_k = = 6—10 kgm/cm².

Süsinikusisalduse tõusmisel üle 0,45% suureneb terase tugevus ja kulumiskindlus, kuid väheneb järsult plastilisus.

5% kroomi sisaldaval terasel on kõrgendatud temperatuuridel head mehaanilised omadused, mistõttu seda võib nimetada kuumustugevaks teraseks. J. A. Nehhendzi andmetel saadi selle terase tugevuseks lühiajalisel katsetamisel temperatuuridel 400, 550 ja 600° C vastavalt σ_s =45,0, 31,0 ja 26,0 kg/mm². Teras, mis sisaldab 5% Cr, on keemiliselt vastupidav mereveele. Peale selle on ta isegi kõrgetel rõhkudel vesiniku ja väävelvesiniku keskkonnas 500—600° C juures purunemiskindel. Seetõttu kasutatakse teda lämmastikutehaste sisseseade, naftadestilleerimisseadmete armatuuri jne. valmistamiseks. Süsinikku ei tohi selles terases olla üle 0,25%, mangaani — 0,4—0,6%.

Kõrgeltlegeeritud kroomterastel on spetsiaalsed keemilised omadused, mis sõltuvad kroomi- ja süsinikusisaldusest ja saadud struktuurist; selliste teraste hulka kuuluvad rooste-, kuumus- ja happekindlad terased. Vastupidavus atmosfäärilisele korrosioonile ja oksüdeerimisele kõrgetel temperatuuridel (kuumuskindlus) sõltub, esiteks, valandi pinna puhtusest (poleeritud pind on vastupidavam liivaga puhastatust), teiseks, terase struktuuri ühtlusest (ühefaasiline teras on parem kahefaasilisest) ja, lõppeks, pinnakatte tihedusest (passiveerivate kilede moodustamisest).

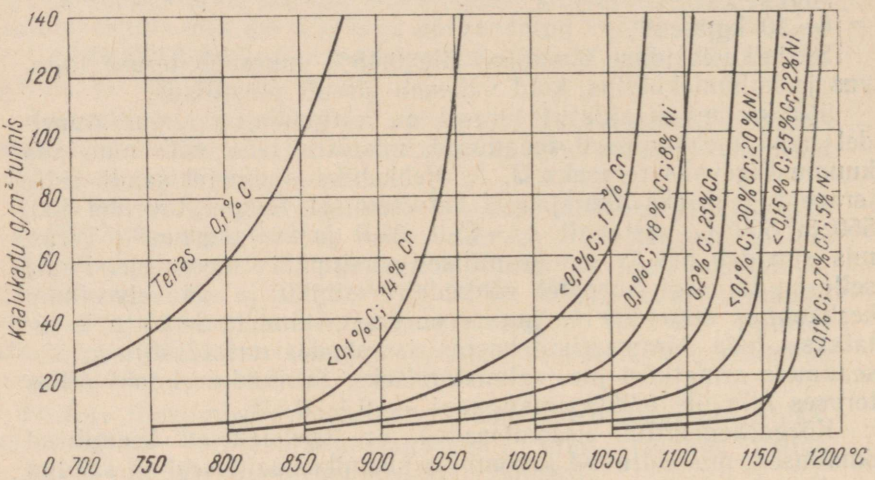
Joonisel 218 on näidatud kroomi mõju terase kuumuskindlusele mitmesugustel temperatuuridel ahjugaaside oksüdeerivas atmosfääris. Joonisest on näha, et mida kõrgem on valandi töötemperatuur, seda suurem peab olema terase kroomisisaldus, et kaotused korrosiooni läbi oleksid ühesugused.

Süsinik mõjutab kroomterase kuumuskindlust ahjugaaside keskkonnas võrdlemisi vähe. Teistes agressiivsetes keskkondades on süsinik kahjulik, eriti valandites, mis töötavad kõrgetel temperatuuridel vesinikku sisaldavas keskkonnas.

Korrosioonikindel kroomteras sisaldab kuni 0,15% C; kuni 1,00% Si; 0,25—0,75% Mn; 11,5—14,0% Cr; mitte üle 0,05% P ja mitte üle 0,05% S. Vahekord $\frac{Cr}{C} > 10$. Sellest terasest valandite termiline töötlemine koosneb normaliseerimisest temperatuuril 1000° C ja noolutamisest 600—680° C juures ühes järgneva jahutamisega õhus.

Suurima süsinikusisalduse (üle 0,12%) puhul võib terast peale noolutamiseks kuumutamist jahutada õlis.

Kuumuskindlateks valanditeks kasutatav kroomteras sisaldab kuni 0,30% C; kuni 1,00% Si; 0,25—0,75% Mn; 17—21% Cr; 0,9—1,2% Cu ning mitte üle 0,05% P ja üle 0,05% S. Sisepingete kaotamiseks lõõmutatakse valandeid temperatuuril 800—850° C.



Joon. 218. Kroomi ja nikli mõju terase kuumuskindlusele mitmesugustel temperatuuridel ahjugaaside oksüdeerivas atmosfääris (J. Nehhendzi).

Kuumuskindel ja keemiliselt vastupidav kroomteras sisaldab 0,25—0,50% C; 25—30% Cr; kuni 0,80% Si; 0,25—0,75% Mn; kuni 0,05% P; kuni 0,05% S; kuni 3% Ni.

2—4% Si lisamisel terase kõvadus väheneb, kuumuskindlus aga tõuseb. Kroomräniterast nimetatakse «silkroomiks» ja kasutatakse laialt ahjumuhvlite, lõõmutuskastide jne. valmistamiseks.

Ferriitse silkroomi kuumuskindlus, mis sisaldab 18% Cr ja 2% Si, on 850° C, silkroomil, mis sisaldab 30% Cr ja 2% Si — 1100° C.

Alumiiniumi lisamine kroomterastele tõstab samuti nende kuumuskindlust. Fekraol (0,25% C; 13—15% Cr ja 3—3,5% Al) ja kromaal (0,20% C; 30% Cr ja 5% Al) on kuumuskindlad temperatuuridel 700—1250° C, jämedateralise ehitusega ja kõrgendatud haprusega. Lämmastikku sisaldava ferrokroomi (A. M. Samarini, M. L. Korolevi, I. V. Paissovi järgi) lisamine andis võimaluse vähendada selliste teraste haprust ja laiendada nende kasutamisala.

Sulam, mis sisaldab 55—65% Cr ja 7,5—12,5% Al, sulab temperatuuril 1630—1670° C ning ta on kuumuskindel kuni 1500° C (N. I. Kornilov).

Niklit lahustub rauas piiramatul hulgal; ta jämendab esmast tera, kuid peenendab ferriidi terasid ja perliidi struktuuriosi. Terase sitkus seejuures tõuseb. Nikkelteras on termiliselt hästi töödeldav ning suure läbikarastatavusega.

Nikkel kõvendab ferriiti ferriitsetes-perliitsetes terastes ja austeniiti austeniitsetes. Ta ei oksüdeeru ega põle sulametalli vannis. Peale selle parandab nikkel ka kuumuskindlust, kuumustugevust ja vastupidavust korrosioonile nõrkades ja tugevates hapetes peale soolhappe.

Teras, mis sisaldab 5% Ni, annab õhus karastamisel martensiitse, teras, mis sisaldab 12—15% Ni aga puhta austeniitse struktuuri.

Nikli kallidus ja nikkelterase omadus esile kutsuda «musta murret» (grafitiseerimine) piirab puhaste nikkelteraste kasutamist. Tänapäeval kasutatakse niklit laialt paljude konstruktsiooniteraste, kuumus- ja keemiliskindlate ning kuumustugevate teraste valmistamiseks, kuid koos kroomi, alumiiniumi, mangaani, molübdeeni, vanaadiumi ja teiste legeerivate lisanditega.

Niklit lisatakse eriti massiivsete ja vastutusrikaste valandite terasesse. Konstruktsiooniterastes võib osa niklit asendada vasega.

Vask suurendab terase vedelvoolavust. Ta on niklist 7—8 korda odavam ja kasutatakse legeeriva elemendina kroom-nikkel- ning teistes konstruktsiooniterastes.

γ-rauas lahustub vaske kuni 1,5%, α-rauas aga ainult kuni 0,35—0,40%. Kuni 1% Cu sisaldava terase jahtumisel alla perliitset muudet hakkab üleküllastunud lahusest eralduma vabal kujul vask dispersse faasina. Valandi tugevus seejuures tõuseb, plastilisus aga väheneb, kuid seda ainult juhul, kui vabal kujul eraldunud vask ei jõua koonduda suuremateks osakesteks. Vase faasi suuremaks koondumisel terase tugevus langeb. Vasega legeeritud terase suurima tugevuse saavutamiseks tuleb valandid karastada ja madalal temperatuuril noolutada. Vask jääb karastamisel γ-raua lahusesse, madalatemperatuurilisel noolutamisel aga eraldub sellest dispersse faasina. Eraldumisega kaasneb dispersiooniline kõvenemine. Kõrgetemperatuurilisel noolutamisel koonduvad vaseosakesed suurteks agregaatideks ja terase tugevus võib isegi langeda. Vask on kasulik massiivsete terasvalandite valmistamisel seoses struktuuri ja omaduste isotroopsusega kogu mahus. Vasega legeeritud terasest võib edukalt valada ka väiksemaid õhukeseseinalisi detaile, kuna ta suurendab terase vedelvoolavust.

Parim dispersioonilise kõvenemise efekt ja tugevuse suurenemine saavutatakse sõltumata teistest legeerivatest lisanditest — kroomist, molübdeenist, mangaanist jne. — terasel, mis sisaldab 0,3% C ja üle 1% Cu. Vaskterase täiendav legeerimine võib toimuda üheaegselt karbiidemoodustavate (kroom, mangaan) ja ferriiti tugevdavate (nikkel, räni) elementidega. Kolmeseid ja

neljaseid vaskteraseid kasutatakse õhukeseseinaliste, kuid suurte gabariitmõõdetega detailide valamiseks, autotraktoritööstuses aga ka kolvide valamiseks (1,4—1,6% C; 0,9—1,1% Si; 1,0—1,5% Cu; 0,08—0,15% Cr).

Molübdeenil tema kalliduse tõttu konstruktsiooniterastes iseseisvat tähendust ei ole, kuid vaatamata sellele kasutatakse teda vähesel hulgal paljudes vastutusrikastes konstruktsiooniterastes. Molübdeeni peamiseks eeliseks on tema omadus vähendada terase noolutushaprust ja suurendada vastupidavust roomamisele valanditel, mis töötavad temperatuuridel üle 400° C. Molübdeeni kasutatakse väikestes kogustes (kõigest 0,2—0,4%). Molübdeeni positiivne mõju paistab eriti silma keerulistes austeniitse struktuuriga auru- ja gaasiturbiinide kuumustugevates terastes. Molübdeenisisaldus sellistes terastes ulatub kuni 1% ja üle selle. Molübdeeni sisaldavat terast kasutatakse ka naftadestilleerimisseadmete armatuuri ja valtspingi valtside valmistamiseks ning sõjatööstuses.

Vanaadium on niklist kallim, kuid molübdeenist odavam. Vanaadium isegi kümnendikprotsendilistes kogustes soodustab terase taandamist, mis on täielikum kui teiste elementide kasutamisel. Peale selle vähendab vanaadium esmast tera ja soodustab karbiidide moodustamist. Kuumustugevust vanaadium ei mõjuta, kuid suurendab löögitugevust madalatel temperatuuridel. Põhja-rajoonides kasutatavate masinate ehituses on keeruliselt legeeritud vanaadiumterastel eriline tähtsus.

Vanaadiumterasest massiivsed valandid karastuvad halvasti.

Titaani lisatakse terastele kui tugevat taandajat ja degasifikaatorit, mis moodustab kergelt sulavaid oksüüde ning võrdlemisi raskelt sulavaid karbiide ja nitriide. Titaani nitriidid ja karbonitriidid tõusevad kergesti üles ja puhastavad terase mittemetallilistest osakestest. Puhast titaani sulatatakse vaakuumis ja teda kasutatakse koos teiste lisanditega tugevate detailide valmistamiseks, mille erikaal on ainult veidi suurem alumiiniumisulamite erikaalust.

Volframit kasutatakse terase tootmisel, mis läheb valatud tööriistade, näiteks puuride valmistamiseks. Volfram moodustab süsinikuga tugevad ja kõvad karbiidid. Ülikõvad terased (stelliit, sormait jne.) saadakse volframi kui põhilise legeeriva elemendi baasil.

Austeniitses kuumustugevas terases takistab volfram δ-faasi eraldumist.

Volframteraseid kasutatakse laialt väljasulatatavate mudelitega valandite tootmisel. Siiski volframil legeeriva elemendina iseseisvat tähtsust ei ole.

KOLMESELT, NELJASELT JA KEERULISEMALT LEGEERITUD KONSTRUKTSIOONITERASED

Iga legeeriv element toob kaasa teatud omapära terase struktuuri koostisosade moodustamisel ja mõjutab sellega sulami omadusi. Enamasti legeeriv element, osutades kasulikku mõju valandi mehaanilistele, füüsikalistele või keemilistele omadustele, võib samal ajal halvendada tehnoloogilisi omadusi, näiteks vedelvoolavust, kahanemist, kilede ning kuum- ja külmpragude moodustamist. Teise legeeriva elemendi kasutamine tavaliselt kompenseerib esimese põhilise legeeriva elemendi negatiivse mõju, kuid võib esile kutsuda teisi, mis omakorda kaotatakse sulamisse kolmanda ja neljanda legeeriva elemendi viimisega jne. Nii ilmusid keerulised legeeritud terase margid. Legeerimisviisi valiku ja legeerivate elementide hulga määramine peab põhinema legeerivate elementide kasutamise tehnilis-ökonoomiliste näitajate võrdlemisel. Need näitajad peavad arvestama antud legeeritud terase kasutamise eeliseid ekspluatatsioonis (detaili tööiga, masina töökindlus, võimsus, tootlikkus, häireteta töö jne.).

Terast, mis peale raua sisaldab veel üht legeerivat elementi, nimetatakse kaheselt legeeritud teraseks, kahe legeeriva elemendi puhul — kolmeselt legeeritud teraseks, kolme puhul — neljaselt legeeritud teraseks jne.

Valutootmise tehnikas kasutatakse kõige rohkem madalaltlegeeritud konstruktsiooniteraseid, mille peamisteks legeerivateks elementideks on mangaan või räni, või kroom nikliga, s. t. kõige odavamad ja kättesaadavamad lisandid.

Tabelis 61 on toodud tüüpiliste valandites kasutatavate kolmeselt ja neljaselt legeeritud konstruktsiooniteraste keemilised koostised ja mehaanilised omadused.

Mitmesuguste legeerivate elementide mõju vaatlemisel mehaanilistele omadustele võib märkida, et suure süsinikusisaldusega terast, näiteks marki 70Х2ГНМЛ, on otstarbekohasem kasutada tugevalt kuluvate, kuid rahulikul koormusel töötavate detailide valmistamiseks.

Kasutada seda võrdlemisi kallist terast normaalsete konstruktsioonidetailide jaoks ei ole otstarbekas, sest suhe $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ on liiga väike (ainult 0,38), s. t. peaaegu sama mis süsinikterastel.

Mehaaniliste omaduste reguleerimise võimalust laiades piirides termilise töötlemisega võib näha teraste 30 ja 40 ХНМГЛ juures. Kõrgetemperatuurilise noolutuse juures tugevus väheneb, plastilisus aga suureneb. Noolutus 370° C juures muudab terase omadusi teises suunas: tugevus järsult tõuseb, plastilisus aga väheneb.

Tabelis 62 on toodud keemiliselt vastupidavate korrosiooninig kuumuskindlate teraste keemiline koostis, termiline töötlemine ja mehaanilised omadused.

Tüüpiliste kolmeselt ja neljaselt madalaltlegeeritud konstruktsiooniteraste

Terase mark	Keemiline koostis %-des								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	S	P
								mitte üle	
37ХНЛ	0,32—0,42	0,4—0,7	0,25—0,45	0,40—0,80	1,1—1,4	—	—	0,04	0,05
40Х2НЛ	0,35—0,45	0,5—0,8	0,25—0,45	0,60—0,90	1,5—2,0	—	—	0,04	0,05
30НМЛ	0,32	0,70	—	—	1,35	0,32	—	—	—
20ХМЛ	0,20	0,45	0,41	1,36	—	0,30	—	—	—
30ХМЛ	0,30	0,80	0,40	0,8	—	0,30	—	—	—
40ХМЛ	0,39	0,81	0,39	0,69	—	0,30	—	—	—
20Х2МЛ	0,20	0,63	0,37	2,05	—	1,05	—	—	—
70Х2ГНМЛ	0,72	0,30	0,88	1,56	0,75	0,38	—	—	—
70Х2ГНМЛ	0,72	0,30	0,88	1,56	0,75	0,38	—	—	—
20ГДФЛ	0,16	0,26	1,43	—	1,15	—	0,11	—	—
30ХГСЛ	0,25—0,35	0,9—1,4	0,7—1,0	0,3—0,7	—	0,03	—	—	—
30ХНМГЛ	0,25—0,35	1,2—1,4	0,3—0,4	0,6—0,8	1,0—1,2	0,3—0,4	—	—	—
30ХНМГЛ	0,25—0,35	1,2—1,4	0,3—0,4	0,6—0,8	1,0—1,2	0,3—0,4	—	—	—
40ХНМГЛ	0,34	1,48	0,34	0,60	1,22	0,39	—	—	—
40ХНМГЛ	0,39	1,48	0,34	0,60	1,22	0,39	—	—	—

keemiline koostis, termiline töötlemine ja mehaanilised omadused

Termiline töötlemine (kuumutamine, jahutamine)	Mehaanilised omadused					
	σ_s kg/mm²	σ_b kg/mm²	δ_{10} %	ψ %	a_k $\frac{\text{kgm}}{\text{cm}^2}$	H_B
910—930° C, õhus 820—840° C, õhus	30	70	8	—	25	207
910—930° C, õhus 820—840° C, õhus	32	60	12	30	—	187
1000° C, ahjus 930° C, õhus 660—680° C, õhus	44	66	25	55	—	—
830° C, õhus 590° C, õhus	69	113	9	9	—	—
840° C, vees 675° C, õhus	69	82	18	50	—	230
normaliseerimine ja noolutamine	53	75	19	40	2,6	—
kahekordne normaliseerimine ja noolutamine	63	81	18	42	—	207
980° C, ahjus 900° C, õhus 540° C, õhus	133,5	157,5	6	12,5	—	415
980° C, ahjus	40,8	106,5	7,5	8,5	—	270
930° C, õhus 840° C, õhus 400° C, õhus	52,5	71,5	25	54,0	18	180
900° C, õhus 600° C, õhus	51,3	80,7	26,3	52,7	21,3	195
900° C, õhus 675° C, õhus	65,0	82,0	22,2	51,6	22,7	255
900° C, õhus 370° C, õhus	108,0	128,0	11,5	32,8	2,6	364
900° C, õhus 675° C, õhus	67,2	90,7	22,7	51,2	20,9	269
900° C, õhus 370° C, õhus	127,8	175,0	9,2	29,7	3,1	477

Keemiliselt vastupidavate ja korrosiooni- ning kuumuskindlate teraste keemi-

Terase mark	Kasutamisala (üldised näited)	Keemiline koostis %-des						
		C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
30ХМЛ	Turbiini detailid, mis töötavad 400—500° C juures	0,26—0,35	0,60—0,80	0,25—0,45	0,25	0,30	0,05	0,05
Х5МЛ	Krakkimisaparaatide detailid, mis töötavad temperatuuridel kuni 500° C	0,20—0,30	0,50—0,80	0,25—0,45	4,0—6,0	—	Mo 0,04	0,05—0,50
25Х14Л	Hüdroturbiinide labidad	0,22—0,28	0,30—0,60	0,50—0,70	12,0—14,0	0,60	0,03	0,03
Х18Н8Л	Happekindlad valandid	0,25—0,40	0,40—0,60	0,80—1,20	18,0—20,0	7,50—8,50	0,040	0,050
Х25Н2Л	Põrandaplaadid, leekkastid ja teised detailid, mis töötavad 1100° C juures ja alluvad löökkoormusele	0,40—0,60	0,40—0,70	1,0—2,0	24,0—26,0	1,50—2,00	0,04	0,04
Х25Н12Л	Tiiglid, alused ja teised detailid, mis töötavad temperatuuridel kuni 1000° C	0,40—0,55	0,20—0,50	1,70—1,50	24,0—27,0	12,0—13,50	0,03	0,035
Х25Н20Л	Põrandaplaadid, rullide võllid, alused, kastid ja teised detailid, mis töötavad ligikaudu temperatuuril 1000° C ja alluvad löökkoormusele	0,40—0,60	0,40—0,70	1,50—2,60	24,0—26,0	16,0	0,04	0,04

Kõrgeltlegeeritud teraste spetsiaalsed omadused sõltuvad terasesse viidud kroomi, nikli, volframi, molübdeeni, titaani või nioobiumi hulgast, millede kombinatsioonist sõltuvalt kõrgeneb kestevtugevus töötemperatuuril.

VARJATUD LISANDITE MÕJU TERASE MEHAANILISTELE OMADUSTELE

Terase varjatud lisandite hulka kuuluvad hapnik, lämmastik ja vesinik, mis vaatamata nende väikesele sisaldusele (tuhandi-

line koostis, termiline töötlemine ja mehaanilised omadused *(N. A. Šamin)*

Termiline töötlemine (kuumutamine, jahutamine)	Mehaanilised omadused					Kõvadus H_B
	σ_s kg/mm²	σ_b kg/mm²	$\delta_{2,5}$ %	ψ%	a_k kgm/cm²	
880—890° C, õhus; 630—650° C, koos ahjuga	23	47	20	28	—	128
850—870° C, koos ahjuga	20	65	16	25	—	202
1150° C, õhus, 1030° C, vees, 760—780° C, koos ahjuga	30	55	16	35	3,0	170
1050—1100° C, vees, 400—450° C, õhus	Ei katsetata					
Mehaanilised omadused näidatud konstruktorile	Ei katsetata					
	200 °C juures					
	15—16	40—45	0,5—1,0	8—9	0,2—0,4	207—229
	1000 °C juures					
	1,5—2,0	2,5—3,0	65—70	86—90	1,3—1,4	—
Ei katsetata	—	—	—	—	—	179
Mehaanilised omadused näidatud konstruktorile	Ei katsetata					148—197
	200° C juures					
	—	40—44	5—7	8—10	0,8—1,0	
	1000 °C juures					
	6—7	—	28—30	50—60	0,9—1,0	—

kud ja kümnetuhandikud protsendid), mõjutavad valatud, sepistatud ja valtsitud terase mehaanilisi omadusi üsna tunduvalt.

Tahke metall niiskes õhus oksüdeerub ning kattub roostekihiga, mille keemiline koostis on $Fe_2(OH)_3$. Temperatuuril üle 700° C raudesemed oksüdeeruvad ja kattuvad oksüüdiga Fe_3O_4. Ahjuvanni sulametall neelab ahjugaase, nende hulgas hapnikku, lämmastikku ja vesinikku.

Kõrgel temperatuuril on hapnik suure keemilise aktiivsusega, põletab (oksüdeerib) rauda, räni, mangaani, fosforit ja väävlit, samuti aga ka alumiiniumi, kroomi, volframit ja teisi legeerivaid

elemente. Puhtal kujul teda vedelas raualahuses ei esine, kuid rauaoksüüdi ja teiste oksüüdide koostises olles halvendab ta järsult terase mehaanilisi omadusi. Mittemetallilisi oksüüdseid osakesi ümberarvestatult hapnikule on suhteliselt puhtas rauas kaaluliselt 0,0020 kuni 0,0080%. Hapnikku sisaldavad osakesed põhjustavad terase kuumrabedust (haprus punase värvuse temperatuuril). Oksüdeeritud (ülepuhutud) bessemerterases võib hapnikusisaldus tõusta kuni 0,009 ja isegi kuni 0,01%.

H a p n i k on vajalik lisandite väljapõletamiseks malmist terase sulatamise esimesel perioodil. Sulatamise teise perioodi, s. o. oksüüdi-jääkide taandamise ja terase rafineerimise tähtsamaks operatsiooniks on metalli väljalaskmise ettevalmistamine terasele vajaliku koostise ja temperatuuri andmise näol.

Hapniku normaalne tasakaaluline sisaldus terases sõltub terase süsinikusisaldusest. Pehmes süsinikterases ei tohi tasakaalulise hapniku kogus (mittemetalliliste osakeste kujul) ületada 0,004%. Nagu juba varem märgiti, on kõige kahjutumad kerakujulised mittemetallilised oksüüdid, kõige kahjulikumad aga teravanurgelised osakesed sämpude kujul. Hapnikku sisaldavad osakesed struktuurselt vaba raudoksüüdi, alumiiniumoksüüdi ja teiste teravanurgeliste oksüüdide kujul risustavad tugevasti metalli ning alandavad selle plastilisust kaks kuni kolm korda. Eriti alaneb löögitugevus ja suhteline ristkahanemine.

Hapnikku sisaldavate osakestega võitlemise peamiseks abinõuks on terase viimistlemine ja rafineerimine enne tema väljalaskmist sulatusahjust ning nõutavaist taandamis- ja vormidesse valamise tingimustest kinnipidamine. Mida kõrgem on temperatuur sulatamise lõpul ja mida kauem hoitakse sulametalli enne väljalaskmist ahjus, seda paremini puhastub teras risustavatest lisanditest.

Happelises terases on oksüüdseid osakesi vähem kui aluselises. Hapnik alandab järsult terase löögitugevust negatiivsetel temperatuuridel. Lämmastikusisaldus terases võib ulatuda 0,016 kuni 0,070%-ni. Mida rohkem on terases lämmastikku, seda madalam on ta suhteline ristkahanemine ja löögitugevus kõrgendatud, normaalsetel ja negatiivsetel temperatuuridel. Hapniku üleviimiseks madala sulamistemperatuuriga ja väikese erikaaluga oksüüdi-räbusse tuleb metall hoolikalt ette valmistada väljalaskmiseks ja hoida teda teisese oksüdeerimise eest vormidesse valamisel.

L ä m m a s t i k u mõju raua, terase ja malmi omadustele uuris põhjalikult N. P. Tšiževski juba 1907. a.[1]

Süsinikterases moodustab ta lämmastiknitriide ja läheb osaliselt lahusesse. Mehaanilised omadused, löögitugevus ja külmakindlus seejuures alanevad.

---

[1] Горнозаводской листок, 1907, ЖРМО, 1903, I osa, lk. 127—134.

Lämmastikku on kõige vähem martään- (0,016—0,025%) ja kõige rohkem toomas- ning bessemerterases (0,060—0,080%).

Küljelt õhupuhumisega konverterist (aluselise ja happelise voodriga) saadud teras sisaldab lämmastikku 0,003 kuni 0,004%. Elektriterases on lämmastikku natuke rohkem kui martäänterases.

Vesinik ei anna rauaga keemilisi ühendeid, kuid moodustab süvendustüüpi lahuse. Vedelates sulamites võib ta olla lihtsate ja keeruliste ioonidena, kuid alalisvoolu mõjul eemaldub metallilisest vannist. Sulametallis lahustunud vesiniku kogus on seda suurem, mida kõrgem on metalli temperatuur, mida suurem on vesiniku osarõhk metalli pinna kohal olevas niiskes atmosfääris ning mida kauem viibib metall selles atmosfääris.

Vesinikusisaldus tahkes metallis võib kõikuda 0,00005 kuni 0,00007% piirides. Terase hoidmisel toatemperatuuril (mõni nädal) väheneb vesinikusisaldus difusiooni tagajärjel pidevalt. Ferrosulamite kuumutamisel kuni 200—300° C ja vastaval väljahoidmisel kiireneb vesiniku difusioon ning tema sisaldus sulamis tunduvalt väheneb.

Vesinik vähendab plastilisust ning tekitab vesinikhaprust. Terases ta lahustub, kuid raua hüdriide ei moodusta. Valandite lõõmutamisel ja noolutamisel (200—300° C) lahustunud vesinik lendub. Spetsiaalset valandite kuumutamise ja väljahoidmise protsessi, mis kestab 6 kuni 20 tundi 200—300° C juures, nimetatakse vesinikuliseks lõõmutamiseks. Vesinik alandab valandi mehaanilisi omadusi, tekitades selles põhilise osa gaasipooridest, mis rikuvad terase tihedust, tugevust ja plastilisust. Normaalne vesinikusisaldus terases on ligikaudu 0,0004—0,0005%.

Gaasidega võitlemiseks metallis on kõige kindlamaks vahendiks õige sulatusagregaadi valik. Nii näiteks oksüüdide kiled sulametalli pinnal takistavad bessemer- ja martäänvannis lämmastiku ja vesiniku neeldumist õhust.

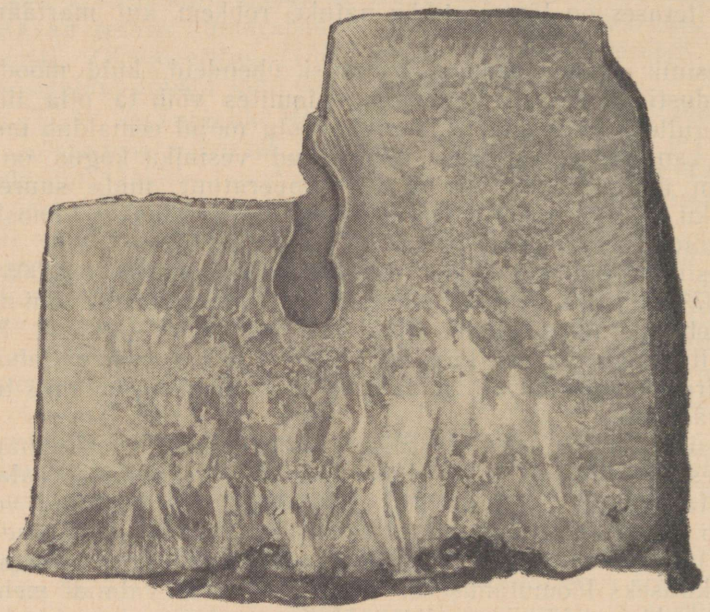
MEHAANILISTE OMADUSTE SÕLTUVUS TERASE STRUKTUURIST

Terasvalandite mehaanilised ja teised ekspluatatsioonilised omadused ei sõltu mitte üksnes sulatamis- ja valamistingimustest ning keemilisest koostisest, vaid ka terase kristallilisest struktuurist. Muutes valamiskiirust ja valamistemperatuuri, võib kristalliseerimiskäiku teatud piirini juhtida ja saada igasugustel sulamitel üht või teist struktuuri.

Muutes valandi jahtumiskiirust vormis, võib reguleerida kristalliseerimiskiirust terasvalandi mitmesugustes osades ja saavutada nendes erinev või ühesugune kristalliline ehitus.

Maksimaalse jahtumiskiiruse korral kristalliseerub teras väikeste kerakeste kujul, mis paiknevad pindkihis 1—2 mm sügavusel. Peeneteralise struktuurikihi all asub sambakujuliste dendrii-

tide tsoon, mille teljed on suunatud risti jahtumispinnale (joon. 219). Terasest 20Л valandi keskosas on laiem või kitsam sümmeetriliste dendriitide ala, mis sisaldab üle 0,20% C ja peeneteraliste kerade ala, mis sisaldab alla 0,20% C.



Joon. 219. Terasvalandi ehitus.

Tõmbekatsel on peeneteralisel terasel kõrgem voolavuspiir ja tõmbetugevus, kuid väiksem plastilisus ning löögitugevus kui jämedateralisel terasel.

Pole raske mõista, et kuna esmaste kristallide suurus mõjutab terase mehaanilisi omadusi, siis viimased sõltuvad otseselt kasutatud vormi tüübist. Nii näiteks ühest kopast ning ühesugusel temperatuuril, kuid erinevatesse vormidesse (märg-, kuiv-, metallvormi) valatud detailidel on erinev kristalliline ehitus ja erinevad mehaanilised omadused. Kuivadesse vormidesse valatud detailidel on aeglase kristalliseerumise tagajärjel jämedateralisem struktuur kui metallvormidesse valatuil. Samuti on ka niisketesse vormidesse valatud detailid peeneteralisema ehitusega kui kuivadesse vormidesse valatud. Kroommagnesiidist vormidesse valatud detailidel on peeneteralisem ehitus kui liivsavisegust vormidesse valatuil.

Lõigates välja proovikehi suure terasvalandi, näiteks hüdroturbiini labida, mitmest kohast, võib veenduda, et mehaanilised omadused ei ole ühesugused, kuna on võimatu saavutada terves valandi mahus täiesti ühemõõtelisi dendriite, ühesugust tihedust, interkristalliitsete pooride vaba metalli jne.

Valandi mitmesugustest kohtadest väljalõigatud proovikehade erinev tugevus, plastilisus, löögitugevus ja kõvadus ei saa olla aluseks valandi kõlblikkuse lõplikul hindamisel.

Praktikas asendatakse proovikehade katsetamine sageli valandi tugevuse määramisega töökoormuse all. Laevaankrute valandeid katsetatakse näiteks nende viskamisega 1,5—2 m kõrguselt plaadile. Rattarumme katsetatakse rammvasara löökidega, väikesi valandeid käsivasara löökidega jne.

Detailide loomuliku katsetamisega määratakse terasvalandite tegelik tugevus täpsemalt, kuna proovikehade mehaaniliste omaduste näitajad on peaaegu alati madalamad antud partii valandite tegelikest omadustest.

TERASE VALIK MITMESUGUSE OTSTARBEGA VALANDITEKS

Terase valikul ühe või teise valandi jaoks lähtutakse nõudeist, mis esitatakse detailile ekspluatatsioonis. Detaili materjal määratakse konstruktori poolt, kes projekteerib valandi. Terase margi valik peab tingimata olema seotud valutehnoloogiaga, s. t. valandi tootmise lihtsusega. Selleks, et rahuldada kõiki detailile esitatavaid nõudeid, peab konstruktor peale valmisdetailile esitatavate tingimuste arvestama ka detaili valmistamisprotsessis esinevaid tehnoloogilisi iseärasusi.

Konstruktsiooni- ja legeeritud terasest valmistatakse mitmesuguseid detaile (hammasrattaid, kraanade ja vagonettide rattaid, vedurite ja vagunite rattaid, ekskavaatori raame, konsoole, lagipukke jne.), millele ekspluatatsioonis mõjub dünaamiline koormus.

Süsinikterase margi valikul lähtutakse peamisest koormusest. Dünaamilisele koormusele töötavatele valanditele valitakse sitkem teras; hõõrdekulumisele, s. t. staatilisele koormusele töötavatele valanditele aga kulumiskindel teras jne.

Keerulise kujuga valandid (ekskavaatorite ja raudteekraanade raamid, auruvedurite silindrid jne.) valmistatakse sellistest terastest, milles kõrgetel temperatuuridel ei teki takistatud kahanemisel kuumpragusid (näiteks terasest, mis sisaldab alla 0,1% või üle 0,40% C).

Hammasrattad, mis töötavad staatilisele hõõrdekulumisele, valatakse terasest 45 või 50 Л.

Auru- ning hüdrauliliste vasarate (presside) šabotid, rammnuiad jms. valatakse terasest 15 Л.

Mida massiivsem on valand ja mida kõrgemaid tugevusnõudeid talle esitatakse, seda hoolikamalt tuleb valida terase koostis.

Kõrgeltlegeeritud terastest valandite spetsiaalseid füüsikalisi ja keemilisi omadusi uuritakse metallide ja sulamite metallograafia ja termilise töötlemise erikursustes.

TERASE SULATAMINE FASSONGVALANDITELE

Tänapäeval kasutatakse masinaehitustehastes terase sulatamiseks fassongvalu jaoks järgmisi sulatusagregaate:

1) happelise ja aluselise voodriga ning õhu küljelt puhumisega konvertereid;
2) happelise ja aluselise voodriga kaarleekahjusid;
3) happelise ja aluselise voodriga martäänahjusid;
4) induktsioon- ja tiigelahjusid.

TERASE SULATAMINE KÜLJELT ÕHUPUHUMISEGA KONVERTERIS

Masinaehitustehastes kasutatakse terase tootmisel fassongvalu jaoks üha laialdasemalt väikesi bessemerkonvertereid. Selline suund, nagu näitas väikeste bessemerkonverterite töö praktika, on tingitud konverterite kõrgest tootlikkusest ja saadud terase heast kvaliteedist, mis ei jää maha muul viisil sulatatud teraste omast. Küljelt õhupuhumisega konverteri kasutamisel toimub terase sulatamine kahes järjestikku töötavas sulatusagregaadis — vagrankas ja küljelt õhupuhumisega konverteris.

Küljelt õhupuhumisega konverteris saadakse terast õhu läbipuhumise teel sulamalmist. Konverterisse juhitakse õhk küljel asuvate furmide kaudu. Õhu asemel võib tarvitada ka hapniku ja õhu segu või puhast hapnikku, mis lühendab protsessi ning võimaldab saada madala lämmastikusisaldusega kuuma metalli.

Et kirjeldatud meetodi puhul kasutatakse terase sulatamiseks üheaegselt kahte sulatusagregaati, nimetatakse seda dupleksprotsessiks. Selles protsessis sulatusagregaadid ühendatakse, mis kindlustab täite sulatamise (vagranka) ja malmi oksüdeerimise (konverter) maksimaalse kiirusega. Konverteris kuumeneb metall peamiselt õhu või hapnikuga läbipuhumisel malmist väljapõlevate lisandite ning eralduvate gaaside CO ja CO_2 soojuse arvel. Põhiliseks soojuskandjaks on räni, mis oksüdeerimisel eraldab kõige rohkem soojust. Samuti on ka süsinik elemendiks, mis oksüdeerides läbipuhumisprotsessis süsinikoksüüdiks, annab palju soojust. Sõltuvalt malmi nõuetavast ränisisaldusest valitakse ka vagranka täide.

Malmi läbipuhumisel konverteris ei muutu üksnes ta keemiline koostis, vaid tõuseb tunduvalt ka temperatuur. Kui konverterisse valatud malmi temperatuur on 1280—1320° C, siis pärast läbipuhumist koppa väljalastaval terasel on see 1660—1680° C, s. t. 360—380° C võrra kõrgem. Järelikult malmi läbipuhumisprotsess konverteris toimub kuumutatud sulamalmi füüsikalise soojuse arvel ja soojuse arvel, mis eraldub malmi lisandite (raud, süsinik, räni ja mangaan) oksüdeerimisel tema läbipuhumise ajal. Lisandite oksüdeerimisel eralduvat soojust nimetatakse «keemiliseks» soojuseks.

Malmi «füüsikalist» soojust iseloomustab malmi temperatuur; mida kõrgem see on, seda kuumem on malm füüsikaliselt. Puhta hapniku kasutamine läbipuhumiseks võimaldab vältida lämmastikuga kaasaminevat soojuskadu.

M. A. Šapovalovi arvutuse järgi malmi läbipuhumisel õhuga lahkub gaasidega 145,6 kcal, hapnikuga läbipuhumisel aga kõigest 39,7 kcal soojust. Ühtlasi on viimasel juhul eralduvate gaaside hulk 5—7 korda väiksem kui tavalise konverterprotsessi ajal.

Tabelis 63 on antud soojushulgad, mis saadakse vannis lisandite oksüdeerimisel õhu hapnikuga.

Sõltuvalt malmi temperatuurist ja keemilisest koostisest jagatakse ta:

1) füüsikaliselt kuumaks, külmaks ja normaalseks,
2) keemiliselt kuumaks, külmaks ja normaalseks.

Tabel 63

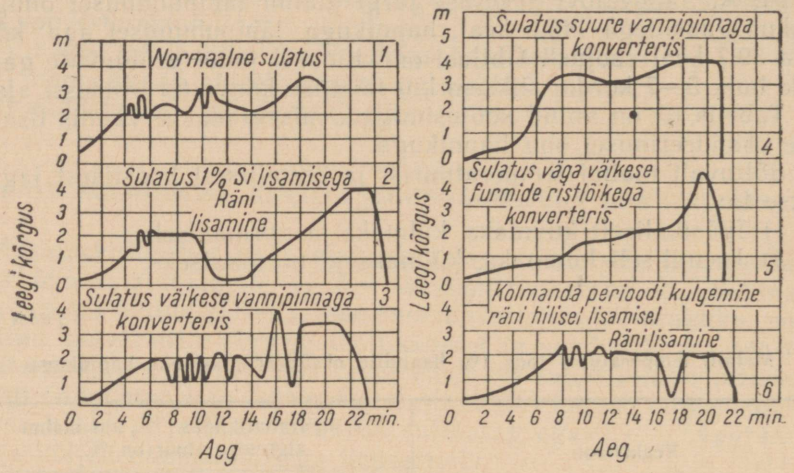
Metalli temperatuuri tõus 1% lisandite oksüdeerimisel õhu hapnikuga

Reaktsioon	Temperatuuri tõus °C, kui malmi algtemperatuur on °C.				
	1200	1300	1400	1500	1600
$Si+O_2+3{,}762N_2$	178	172	166	161	155
$Mn+{}^1/_2O_2+1{,}881N_2+SiO_2$	45	44	42	41	40
$Fe+{}^1/_2O_2+1{,}881N_2+SiO_2$	32	31	29	28	27
$Fe+{}^1/_2O_2+1{,}881N_2$	26	25	24	23	21
$C+O_2+3{,}762N_2$	151	140	129	118	108
$C+{}^1/_2O_2+1{,}881N_2$	25	21,5	17	12,5	7,5

Füüsikaliselt kuumaks loetakse malmi, mis on kuumutatud kuni 1400—1450° C, külmaks — mis on kuumutatud kuni 1280—1300° C ja normaalseks — mis on kuumutatud kuni 1300—1350° C. Keemiliselt külmaks nimetatakse malmi, mis sisaldab 2,8—3,0% C; 0,4—0,6% Si ja 0,6% Mn; keemiliselt normaalseks, mis sisaldab 3,0—3,2% C; 1,2—1,6% Si; 0,8% Mn ja keemiliselt kuumaks, mis sisaldab 3,2—3,8% C; 2,0—2,5% Si; 0,9% Mn.

Malmi läbipuhumisprotsess konverteris õhu või puhta hapnikuga jaguneb kaheks perioodiks: esimesel perioodil põlevad malmist välja räni ja mangaan; teisel perioodil — süsinik. See on tingitud räni ja mangaani suuremast keemilisest aktiivsusest, võrreldes süsinikuga, bessemerprotsessi algperioodi madalamal temperatuuril. Seetõttu põlevad alguses välja mangaan ja räni ning alles peale seda süsinik. Bessemeerimisel tekib retordi suudme kohale ruuge suits, mis järkjärgult valgeneb ja lõpuks muutub punakas-kollaseks lühikeseks leegiks. Temperatuuri tõustes leek muutub heledamaks ja kasvab pikemaks, kuna pidevalt suureneb süsiniku oksüdeerimine; põlevate gaaside hulk seejuures suureneb. Peale räni- ja mangaanisisalduse vähenemist, mis aga kõige

tähtsam — peale temperatuuri kõrgenemist, algab sulamalmi läbipuhumise teine periood. Joonisel 220 on näidatud lisandite väljapõlemine malmist ja leegi kõrguse muutumine.



Joon. 220. Konverteri kohal oleva leegi kõrguse sõltuvus malmi lisandite väljapõlemisest bessemerprotsessi ajal.

Teist perioodi iseloomustab süsiniku oksüdeerimine, mis tavaliselt algab metalli kuumutamisel kuni 1450—1550° C. Süsinik võib oksüdeeruda õhu hapniku arvel, mis antakse läbi furmide, kui ka raudoksüüdi hapniku arvel. Süsinikoksüüdi oksüdeerimisel süsinikdioksüüdiks reaktsiooni $Co+{}^1/_2\,O_2=CO_2$ järgi eraldub suur hulk soojust, mis kuumutab metalli kuni 1680—1720° C.

Esimesel perioodil on gaasi koostis: 6—7% CO_2 ja 92—93% N_2, teisel perioodil aga 10—12% CO_2 ning kuni 88% N_2; süsinikoksüüdi ja vaba hapnikku gaasis ei ole. Süsiniku oksüdeerimisega kaasneb vannis gaasimullide intensiivne moodustumine.

Süsiniku põlemise teisel perioodil metall vahutab ja suleb furmide avad. Retorti sel ajal kallutatakse, et õhk suunduks vanni pinnale ja põletaks süsinikoksüüdi süsinikdioksüüdiks.

Sulatamise teise perioodi lõpul süsiniku väljapõlemine lõpeb, metall lakkab «keemast» ja leek «kustub». Metalli nivoo alaneb. Süsiniku jääkide järelpõlemine toimub juba räbus asuva raudoksüüdi hapniku arvel. Räbu koostis sellel perioodil on: 12—28% FeO, 2—7% MnO ja 58—70% SiO_2. Raudoksüüdi kogus mõnevõrra väheneb. Teise läbipuhumisperioodi lõpul jääb metalli ligikaudu 0,05% C.

Süsiniku põlemine raudoksüüdi hapniku arvel lakkab. Osa räni kulutatakse üleliigse raudoksüüdi taandamiseks vastavalt reaktsioonile $Si+2\,FeO=SiO_2+2Fe$, misjärel süsiniku järelpõlemine algab uuesti. Metalli väljaviskamine retordist esineb peami-

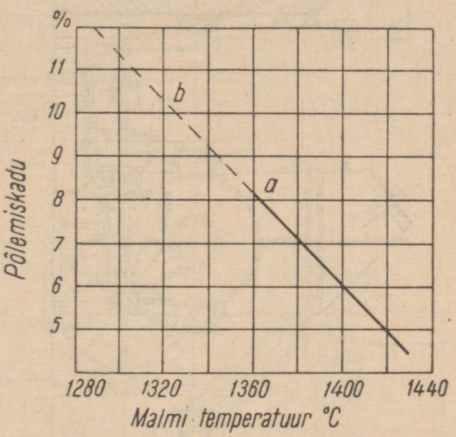
selt väikese vannipinna ja õhufurmide suure ristlõike puhul. Seetõttu peavad konverteri voodri mõõted vastama furmide ristlõikele.

Malmis olevate lisandite oksüdeerimine toimub konverteris vastavalt füüsikalise keemia seadustele. Massitoime seaduse järgi raud, mida malmis on umbes 95%, oksüdeerub esimeses järjekorras reaktsiooni järgi

$$Fe + {}^1/_2O_2 = FeO$$

See reaktsion määrab raua põlemiskao bessemerprotsessis, samuti aga ka sulametalli ja räbu rikastumise raudoksüüdiga. Raudoksüüd osutub nähtavasti vajalikuks vahepealseks aineks, mille abil toimub teiste lisandite põlemine. Valatud malmi temperatuuri tõusmisel metalli põlemiskadu, nagu see nähtub B. N. Ladõženski poolt koostatud diagrammist (joon. 221), väheneb.

Kui malmi läbipuhumist peale süsiniku väljapõlemist jätkata, siis FeO kogus metallis suureneb ja metall muutub üleoksüdeerituks. Sellest järeldub, et bessemerprotsessi õigeaegsel lõpetamisel on suur tähtsus.



Joon. 221. Raua põlemiskadu sõltuvalt bessemerprotsessi temperatuurist (B. N. Ladõženski):
a — 0,1—0,14% C; *b* — 0,6—1,4% C.

Esimesel perioodil oksüdeerub räni osaliselt õhu hapniku arvel reaktsiooni järgi

$$Si + O_2 = SiO_2;\ \Delta H = +196\,420 \text{ kcal.}$$

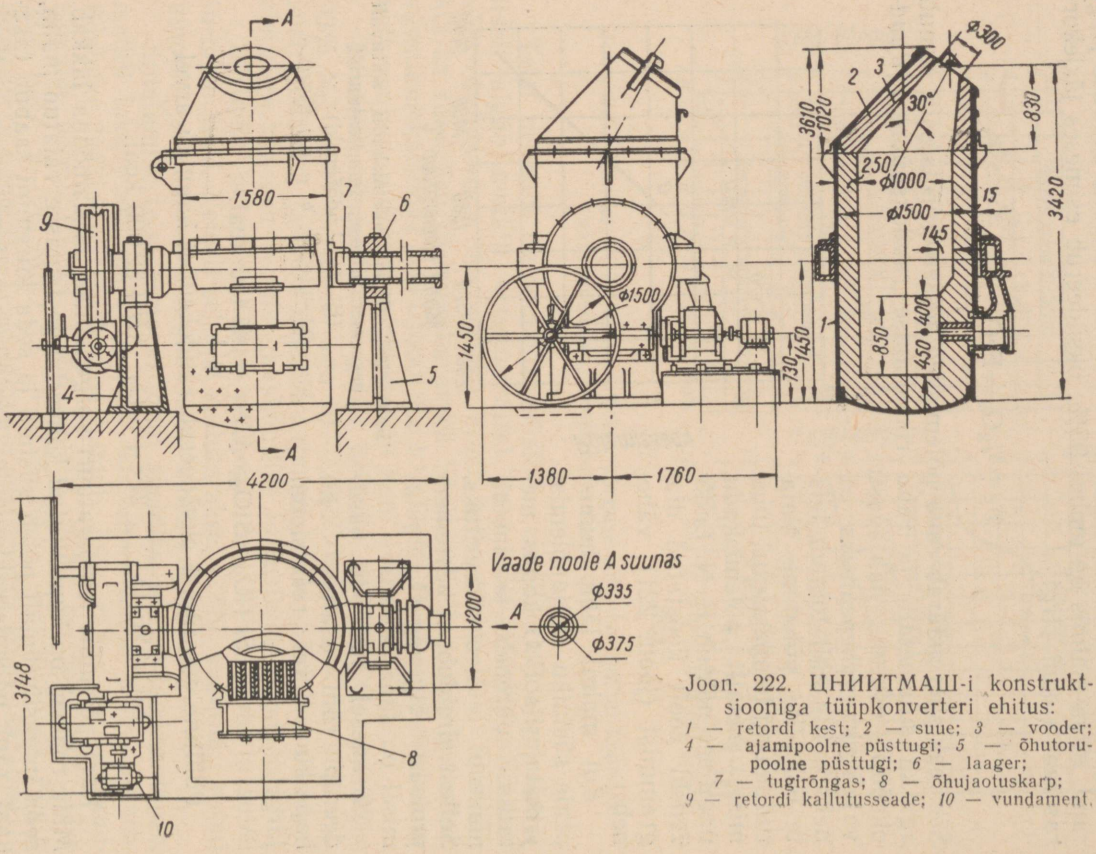
Põhiline osa ränist oksüdeerub raudoksüüdi hapniku arvel

$$SiO + 2FeO \rightleftarrows 2Fe + SiO_2;\ \Delta H + 32\,000 \text{ kcal.}$$

Räni põlemine temperatuuri kõrgenemisel pikkamööda lakkab. Mida rohkem on kuumutatud konverter ja temasse valatud malm, seda intensiivsemalt põleb süsinik ja seda kiiremini saabub tasakaal räni põlemisreaktsioonis. Süsiniku väljapõlemine jätkub, räni kontsentratsioon jääb aga peaaegu püsivaks.

Mangaan esimesel läbipuhumisperioodil põleb välja õhu hapniku arvel:

$$Mn + {}^1/_2O_2 = MnO;\ \Delta H = +90\,760 \text{ kcal.}$$



Joon. 222. ЦНИИТМАШ-i konstruktsiooniga tüüpkonverteri ehitus:
1 — retordi kest; *2* — suue; *3* — vooder; *4* — ajamipoolne püsttugi; *5* — õhutorupoolne püsttugi; *6* — laager; *7* — tugirõngas; *8* — õhujaotuskarp; *9* — retordi kallutusseade; *10* — vundament.

Põhiline kogus mangaani põleb aga analoogiliselt ränile välja raudoksüüdi hapniku arvel:

$$Mn + FeO = Fe + MnO;\ \Delta H = 32\,000 \text{ kcal}.$$

Mangaan oksüdeerub seda kiiremini, mida madalam on temperatuur sulatamisperioodi algul ja mida rohkem on räbus raudoksüüdi.

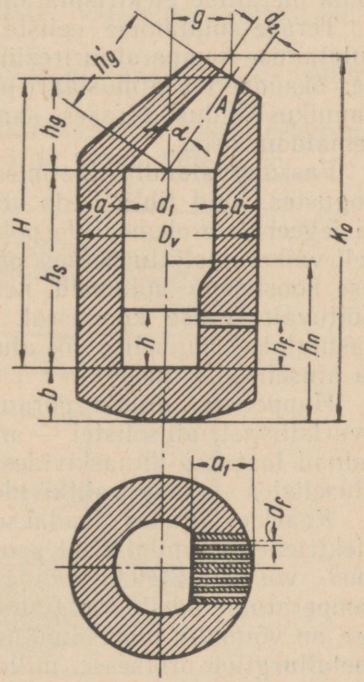
Raskemasinaehituse Teadusliku Uurimise Keskinstituudis välja töötatud tüüpkonverteri ehitus on näidatud joonisel 222. Konverter kujutab endast tappidel pöörlevat metallkesta *1*. Tapid toetuvad laagritele *6*, mis on kinnitatud tugirõngale *7*. Läbi tapi juhitakse ventilaatorist (joonisel näitamata) juurde õhku rõhul 0,25—0,5 atü.

Konverteri kest, mis on valmistatud 10—14 mm paksusest madala süsinikusisaldusega terasest, koosneb kahest eriosast: silindrilisest kerest koos kumera põhjaga ja koonilisest suudmeosast. Kesta alumise osa külge keevitatakse õhujaotuskarp *8*. Karbi vastas olevasse konverteri voodrisse tehakse avad furmidele, mis juhivad juurde õhku või õhu ja hapniku segu.

Tabel 64

ЦНИИТМАШ-i tüüpkonverterite põhimõõted

Põhimõõted	Täite kaal t	
	1,5	2,5
Retordi siseläbimõõt d_1 mm	850	1000
Suudme läbimõõt d_2 mm . .	280	300
Retordi kõrgus H mm . . .	2900	3200
Silindrilise osa kõrgus h_s mm	2120	2370
Suudmeosa kõrgus h_g mm .	780	830
Kõrgus põrandast furmideni h_f mm	350	450
Silindrilise osa voodri paksus a mm	250	250
Furmide arv ja läbimõõt mm	6×32	6×40
Suurim ristlõige m² . . .	0,567	0,785
Vanni peegelpind f m² . . .	0,5	0,715
Vanni sügavus h mm . . .	410	490
Kõikide furmide ristlõige cm²	48,3	75,4
Retordi maht m³	1,40	2,13



Joon. 223. Konverteri vooder ja põhimõõted.

Õhujaotuskarbist juhitakse õhk kuue furmi kaudu konverterisse. Furmide liiga väikese läbimõõdu korral kulgeb läbipuhumine aeglaselt. Optimaalseks furmide koguristlõikeks ff, arvestatuna 1 t läbipuhutava malmi kohta, loetakse praktiliselt 20—30 cm^2 sügavatele ja 30—50 cm^2 madalatele vannidele.

Tabelis 64 on toodud Raskemasinaehituse Teadusliku Uurimise Keskinstituudi 1,5—2,5 t tüüpkonverterite (joon. 223) põhimõõted.

Lisandite oksüdeerimiseks, mida sisaldab 1 t malmi, kulub keskmiselt 0,25 atü rõhulist õhku 800 m^3.

TERASE SULATAMINE HAPPELISTES KAARLEEKAHJUDES

Vene teadlasele füüsik V. V. Petrovile kuulub kaarleegi avastamise au (1802. a.). V. V. Petrovi uurimised metallide elektriga sulatamise, nende oksüdeerimise ja taandamise alalt olid aluseks elektrienergia kasutamisele metallurgias. Ilmusid elektriahjud ja leidsid laialdast kasutamist.

Ligematel aastatel valmivad võimsad hüdroelektrijaamad. Tööstus, nende hulgas masinaehitus ja metallurgia, saavad suurel hulgal odavat elektrienergiat, mis võimaldab tunduvalt laiendada metallide elektrisulatamist.

Terase sulatamise eeliste hulka elektriahjudes tuleb lugeda sulatamise temperatuurirežiimi reguleerimise paindlikkust, ahjudes oksüdeeriva atmosfääri peaaegu täielikku puudumist ja tühist hapnikusisaldust terases, samuti aga ka head võimalust väävli eemaldamiseks .

Fassongvalandite tootmisel on oluline saada terast väikestes kogustes, kuid tihti. Seda võimaldavad elektriahjud. Taandavate ja legeerivate elementide põlemiskadu elektriahjudes on suhteliselt väike, mistõttu nendes on ökonoomne valmistada ükskõik millise koostisega sulameid, nende hulgas ka legeeritud teraseid. Sõltuvalt terase koostisest, valandite iseloomust ja otstarbest kasutatakse happelise või aluselise põhjaga ahjusid (happelised ja aluselised ahjud).

Happeliste ahjude põrandal on pealesulatis (ülemine kiht) kvartsliivast, aluselistel — magnesiidist. Happeliste ahjude külgseinad laotakse diinaskividest või tervikult tambitud plokkidest, aluselistes — magnesiitkividest.

Kaarleekahjudes saadakse terase sulatamiseks vajalik soojus elektrienergia muutmisel soojuseenergiaks kaarleegis, mis põleb süsi- või grafiitelektroodide ja metalli vahel. Kaarleegi kõrge temperatuur lubab kuumutada metalli ja räbu palju rohkem, kui see on võimalik martäänahjudes ja tänu sellele teostada selliseid metallurgilisi protsesse, millede läbiviimine martäänahjus ja konverteris ei ole võimalik. Näiteks võib sulatada raskeltsulavaid sulameid ja täielikumalt puhastada terast väävlist, fosforist ning

räbuosakestest. Tabelis 65 on toodud terase sulatamise kestus happelistes ja aluselistes ahjudes.

Tabel 65

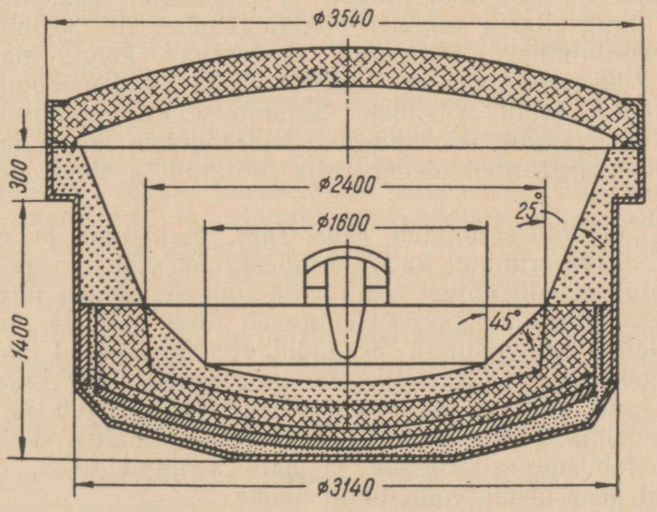
Väikese võimsusega kaarleekahjude põhimõõted ja töönäitajad

Ahju tüüp	Täite kaal t	Trafo võimsus kvA		Elektroodide mõõted mm			Sulatamise kestus tundides					
							happelises ahjus			aluselises ahjus		
		Vedel täide	Tahke täide	Läbimõõt graf. elektroodidel	Läbimõõt süsielektroodidel	Pikkus mm	Sulatamine	Rafineerimine	Kokku	Sulatamine	Rafineerimine	Kokku
ДСТ—0,5	0,5	—	400	100	150	1000	1,5	2,0	3,5	1,5	2,0	3,5
ДСТ—1,5	1,5	400	900	125	200	1200	1,5	2,5	4,0	1,5	2,5	4,0
ДСТ—3,0	3,0	800	1500	175	250	1500	1,75	2,5	4,25	1,75	2,5	4,25
ДСТ—5,0	5,0	1000	2250	225	350	1500	1,75	2,5	4,25	4,25	2,5	4,25
ДСТ—10,0	10,0	1500	3500	300	—	1500	2,25	2,5	4,75	2,25	2,5	4,75

Kaarleekahjudes terase sulatusprotsessi kiire teostamine võimaldab nende kasutamist mitte ainult individuaal- vaid ka masstootmises vormide pideval valamisel konveieril. Elektriahju kasutatakse tavaliselt väikeste ja keskmiste valandite valamiseks kaaluga kuni 100—200 kg.

Fassongterasvalu-tsehhides kasutatakse tavaliselt 3- kuni 10-tonnise mahuga elektriahjusid.

Joonisel 224 on toodud «Uralelektroapparat» kaarleekahju üldvaade. Selle põhimõõted ja näitajad on antud tabelis 65.



Joon. 224. Tehase «Uralelektroapparat» kaarleekahi.

Kaarleekahjude ekspluateerimisoperatsioonide järjekord

Iga sulatamise eel ahi korrastatakse. Peale seda laaditakse sisse täide ja sulatatakse. Terase sulatusprotsess elektriahjus jagatakse perioodideks. Kaarleekahjus on sellisteks perioodideks sulatamine, keetmine, rafineerimine, taandamine ja valmisterase väljalaskmine.

Elektriahju korrastamine toimub kohe peale sulatise väljalaskmist.

Ahi puhastatakse kiiresti räbu- ja metallijääkidest. Happelise ahju korrastamise ajaks lülitatakse vool välja, tõstetakse elektroodid üles ja, avanud tööukse, vaadeldakse põrandat ja nõlvu. Piigi, kangi või roobi abil eemaldatakse purikad. Happelise elektriahju põhjas ja nõlval olevad süvendid täidetakse kvartsliiva ja vesiklaasi seguga. Segu kiht ei tohi olla üle 100 mm.

Ahju täitmine. Täite sulatamise kestus sõltub täitematerjalide laadimise järjekorrast, tükkide mõõdetest ja ahju töö elektrilisest režiimist. Ahju põrandale laaditakse alguses pool peenest metallimurrust või vähesel hulgal roostevabu metallilaaste. Elektroodide alla asetatakse suured täitetükid, nende peale laaditakse toormalmi tükid ja kõige peale — ülejäänud peenemad osad. Kogu laaditud täitel peab olema künklik välimus, mille kõrgemad osad asuvad elektroodide all. Sulatamise algul kaare paremaks põlemiseks asetatakse elektroodide alla koksitükid.

Täite sulatamine. Kui täite laadimine on lõpetatud, siis lastakse elektroodid ettevaatlikult alla ja lülitatakse vool sisse. Koksitükid elektroodide all võimaldavad kaarel rahulikult põleda 8—10 minutit. Kaare kõrge temperatuuri mõjul sulab elektroodide all olev täide kiiresti ja moodustab «kaevu». Sulametall valgub alla ja koguneb põhjale. Umbes 20—30 min. peale voolu sisselülimist elektroodid saavutavad kõige madalama asendi ja jäävad sulametalli kohale. 1,5—2 tunni möödudes jääb tahket täidet ainult nõlvadele. Sulatamise kiirendamiseks tõmmatakse täitejäägid konksudega elektroodidele lähemale. Täite liigutamisel peab vool olema välja lülitatud ja elektroodid üles tõstetud.

Täite sulatamisel toimub raua, räni, mangaani ja osaliselt süsiniku oksüdeerimine. Raua oksüdeerimist võib märgata sulatamise algperioodil ahjust eralduvate ruugete aurude järgi.

Täite aeglasel sulatamisel suureneb raua, räni ja mangaani põlemiskadu, moodustunud oksüüdid aga lahustavad ahju happelist voodrimassi ja rikuvad selle enneaegselt. Täite kiirel sulatamisel raua, räni ja mangaani põlemine aeglustub ja hakkab põlema süsinik. Happelist räbu, milles on ülekaalus ränioksüüd, iseloomustab suur viskoossus ja halb soojusjuhtivus, mistõttu tema kiht peab olema võimalikult õhuke.

Räni, mangaani ja raua oksüdeerimise tagajärjel moodustub

räbu, mille kaal on 2—3% täite kaalust. Normaalse räbu koostis on: 45—50% SiO_2; 30—35% FeO; 10—12% MnO ja 4—6% Al_2O_3.

Kui kogu täide on sulanud, võetakse esimene metalli proov. «Pehmel» sulatamisel (süsinikusisaldus alla nõutava) lisatakse vanni natuke ferrosiliitsiumi mark Си 15, ja ferromangaani mark Мн 75. «Kõval» sulatamisel (süsinikusisaldus üle nõutava) peab vann keema. Eralduvad süsinikoksüüdi mullid segavad hästi vanni läbi ja võtavad kaasa osa vesinikku, mis on sattunud täitest metalli.

Metalli rikastumise vältimiseks vesinikuga on kategooriliselt keelatud viia ahju märga maaki, niisket liiva saviga ja teisi niiskeid materjale. Ferrosulamid viiakse ahju peale nende eelnevat kuumutamist valge hõõgumiseni.

Happeliste ahjudega töötamine näitas, et nendes on süsiniku oksüdeerimiskiirus muudel samadel tingimustel kaks korda väiksem kui aluselistes ahjudes. Happeline elektriahi töötab suure tootlikkusega. Metalli sulatamise iseärasuste hulka happelistes ahjudes kuulub suure hulga ränioksüüdi olemasolu räbus, mis tugevalt seob kõik räbu aluselised oksüüdid, seejuures ka raudoksüüdi, samuti aga ka vabas olekus ränioksüüdi olemasolu. Selle tõttu võib metalli jääda ainult tühine osa terasele kahjulikku raudoksüüdi. Happelises ahjus toimub rafineerimine (lisandite oksüdeerimine) loiult. Happelises räbus esineb lubi seotud kujul, mistõttu täitefosfor ja väävel lähevad täielikult metalli.

Happelises elektriahjus sulatatud teras on hea vedelvoolavuse tõttu heaks materjaliks õhukeseseinalistele fassongterasvalanditele. Happelise terase iseärasuseks on tema väiksem gaasidega küllastatus. Vanni keemise ajal on räbu veeldamiseks kasulik lisada üks kuni kaks labidatäit lupja. Keemisperioodi lõpul peab räbu sisaldama 4—5% CaO; 45—50% SiO_2; 18—22% FeO; 16—20% MnO ja 3—4% Al_2O_3. Vanni keemise lõpul suurte gaasimullide eraldumine lakkab ning eralduvad veel ainult väikesed mullikesed. Intensiivsel keemisperioodil, mis kestab 20—30 minutit, on süsiniku väljapõlemiskiirus kuni 0,6—0,8% tunnis. Terase rafineerimist ja taandamist kasutatakse raudoksüüdide sisalduse alandamiseks räbus ja metallis ning taandamisproduktidele (räni-, mangaan- ja alumiiniumoksüüdile) kõige sobivamate omaduste ja kuju andmiseks, samuti aga ka metallilise vanni rikastumise vältimiseks lämmastiku ja vesinikuga.

Räbu oksüüdidesisalduse vähendamiseks eemaldatakse ta ahjust, kallutades ahju väljalaskeava suunas. Peale räbu kõrvaldamist kaetakse vann uue räbuga, viies selleks ahju kvartsliiva, lubja ja šamott-tükkide segu, peenestatud 75%-list ferrosiliitsiumi ja peenestatud koksi. Räbu koostis enne väljalaskmist on: 20—25% CaO; 3—5% FeO; 3—5% MnO; 3—5% Al_2O_3 ja 65—68% SiO_2. Sellel perioodil vedelvoolavus on kõrge.

Terase taandamiseks peale räbu eemaldamist lisatakse ferromangaani ja 45%-list ferrosiliitsiumi, arvestades 5 kg 1 t sula-

terase kohta. Peale taandamist lülitatakse vool välja ja hoitakse terast veel 10—15 min. ahjus, misjärel ta lastakse välja koppa. Terast taandatakse kopas veel alumiiniumiga, lisades seda 1—1,1 kg 1 t metalli kohta.

TERASE SULATAMINE ALUSELISES KAARLEEKAHJUS

Aluselises elektriahjus on erinevalt happelisest võimalik eemaldada väävlit ja fosforit ning viia nende sisaldus terases täiesti tühise hulgani. Happeliste ahjude korral on puhaste fosfori ja väävlivabade täitematerjalide range valik möödapääsematu. Terase tootmisel aluselistes ahjudes võib aga kasutada täidet, mis sialdab suurel hulgal väävlit ja fosforit. Aluselises ahjus toimub sulatamine kahel erineval viisil — sulatamine oksüdeerimisega ja sulatamine oksüdeerimiseta. Kõige rohkem kasutatakse sulatamist lisandite oksüdeerimisega. Kui tehasel on küllaldaselt puhast terasemurdu, siis sulatamist aluselises ahjus teostatakse ilma keetmiseta, s. t. lihtsalt sulatatakse teras ümber. Keetmisega sulatamisel, kuid ilma räbu eemaldamiseta, taotletakse fosfori vähest alandamist, mis hoidub räbus kuni sulatamise lõpuni. Vastutusrikastele valanditele erilise kvaliteediga teraste sulatamisel eemaldatakse räbu üks ja isegi kaks korda. Siiski kõikidel sulatamisviisidel peab räbu olema aluseline, s. t. CaO sisaldus peab ületama $SiO_2 + P_2O_5$ sisalduse umbes kaks ja pool korda.

Peale terase väljalaskmist asutakse aluselise elektriahju põhja ja nõlvade korrastamisele. Ahju parandatakse esmalt magnesiitpulbri ja kivisöe tõrva seguga ning seejärel peenestatud lubjaga.

Ahju laaditud täite peale asetatakse 1,5—2% lubjakivi ja 1,0—1,5% rauamaaki täite kaalust. Peale täite sulamist moodustub aluseline rauda sisaldav räbu, mis seob fosfori fosforhappe kaltsiumsoolaks $(CaO)_4 \cdot P_2O_5$. Selleks, et hoida seda soola räbus ja takistada fosfori tagasiminekut metalli, ei tohi räbu aluselisus olla alla 3,0 ($\frac{O + FeO + MnO}{SiO_2} \geqslant 3{,}0$).

Terase sulatamisel, mille fosforisisaldus võib olla 0,04—0,05%, räbu ei eemaldata, sest uue räbu moodustamine nõuab aega ja soojuskulu. Fosfori paremaks hoidmiseks räbus lisatakse metalli keemisperioodil ahju iga 15 minuti järel väikeste kogustena lupja ja rauamaaki.

Niinimetatud «maagi keemine» kiirendab tunduvalt sulatamist, sest maagiga viiakse sisse puuduv kogus hapnikku, mistõttu keemine kulgeb intensiivselt. Süsiniku väljapõlemiskiirus tõuseb kuni 0,8% tunnis. Iga 0,01% C väljapõletamiseks lisatakse 1 kg rauamaaki ühe tonni sulametalli kohta.

Kui fosforisisaldus terases ei tohi olla üle 0,01—0,02%, siis lisatakse vanni maaki ja esmane räbu eemaldatakse, kallutades

ahju 10—12° võrra, peale räbu eemaldamist valmistatakse uus, andes ahju 1—1,5%-lises koguses täite kaalust kuiva maaki ja kuiva lupja.

Oksüdeeriva perioodi lõppedes asutakse metalli taandamisele, väävli eemaldamisele ja terase keemilise koostise viimisele kuni nõutavani, samuti aga ka vanni temperatuuri reguleerimisele gaaside ja mittemetalsete osakeste eemaldamiseks.

Taandajad taandavad raudoksüüdi ja seovad hapniku sellisteks oksüüdideks, mis on kergemini vannist eemaldatavad. Taandajaid liigitatakse nende suguluse järgi hapnikuga. Temperatuurivahemikus 1600 ja 1700° C on kõige nõrgemateks taandajateks kroom, mangaan, räni, vanaadium ja süsinik · ning kõige tugevamateks — kaltsium, titaan, alumiinium ja tsirkoonium.

Aluselise ahju aluselised räbud soodustavad väävli ja fosfori eemaldamist, kuid olles väiksema viskoossusega kui happelised, kutsuvad esile kohaliku ülekuumenemise kaarleegi põlemistsoonis ning suurendavad sellega metalli põlemiskadu. Peale selle soodustab räbude väiksem viskoossus ka gaaside neeldumist metalli, eriti kaarleegi piirkonnas. Terase sulatamise peamiseks iseärasuseks aluselises elektriahjus on aluseliste oksüüdide, peamiselt lubja kõrge sisaldus räbus. Raudoksüüd on aluselises räbus vabas olekus, mis järsult suurendab räbu oksüdeerivat võimet. Räbust metalli sattuv raudoksüüd soodustab lisandite, iseäranis aga süsiniku, kiiremat oksüdeerimist. Aluseliste elektriahjude vannid tehakse madalamad kui happelistel ahjudel, et suurendada metalli kokkupuutepinda räbuga. See avaldab soodsat mõju terase taandamisele.

Nikkel, molübdeen ja vask elektriahjus metallist välja ei põle. Seetõttu peab nimetatud elementide sisaldus olema täites teravalt piiritletud, kui sulatatakse terast, milles neid pole ette nähtud.

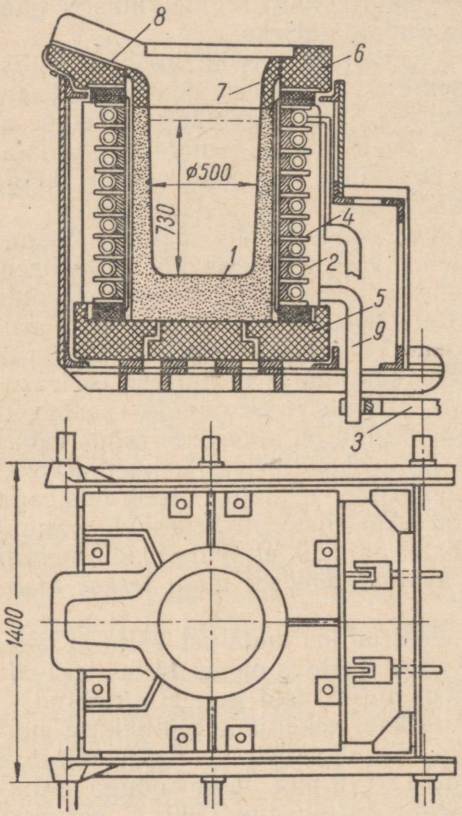
Nii hapeliste kui ka aluseliste kaarleekahjude tootlikkuse suurendamiseks kasutatakse vanni läbipuhumist 5—8 atü rõhulise hapnikuga, mis juhitakse juurde 12—18 mm läbimõõduga rauttoru kaudu, kui vanni temperatuur on tõusnud 1500° C. Süsinikterastel on hapniku kulu 1,4—1,5 m^3 1 kg väljapõletatud süsiniku kohta. Hapnik suurendab süsiniku väljapõlemiskiirust ja fosfori üleviimist räbusse, kuid mõnevõrra väldib kroomi põlemist, mis on viidud sisse kroomisisaldava terasemurruga. Ahju tootlikkus suureneb 30—40%, elektrienergia kulu aga väheneb 20—25%. Sellise sulatusviisi juures väheneb maagi, lubjakivi ja elektroodide kulu.

TERASE SULATAMINE INDUKTSIOONAHJUDES

Südamikuta induktsioonahi kujutab endast tulekindlast materjalist tiiglit, mis mahutab 0,25 kuni 5 t terast. Tiigel on ümbritsetud vasest torumähisega, mida läbib kõrgsagedusvool. Viimane indutseerib tiigli täites (terases) võrdlemisi tugeva, kuid madala-

pingelise vahelduvvoolu, mis muundub soojuseks täite oomilise takistuse ja voolu sagedaste suunamuutmiste tagajärjel.

Et räbu temperatuur ahjus on tavaliselt metalli temperatuurist madalam, siis on terase vabastamine kahjulikest lisanditest (reaktsioon räbu ja metalli vahel) raskendatud ja toimub mitterahuldavalt. Seetõttu võib kõrgsagedusahjudes sulatada ainult valitud puhast täidet.



Joon. 225. Tiigelinduktsioonahju skemaatiline ristlõige ja pealtvaade:

1 — tiigel; *2* — induktsioonspiraal; *3* — voolu-hoidja; *4* — isolatsioonplaadid; *5* — keraamiline põhi; *6* — ülemine keraamiline plokk; *7* — äratõstetav kaas; *8* — tiigli tila; *9* — veetoru.

Ahju atmosfäär on vähese oksüdeeriva võimega, mistõttu sulatatud metall oksüdeerub nõrgalt. Vesiniku ja lämmastikuga metall ei rikastu. Induktsioonahi on veel suhteliselt vähelevinenud sulatusagregaat, mida valandite masstootmiseks kasutatakse võrdlemisi harva.

Südamikuta induktsioonahjusid kasutatakse peamiselt kuumustugevatest ja keemiliselt vastupidavatest kõrgeltlegeeritud terastest, samuti aga nikli alusel valmistatud takistussulamitest valandite tootmiseks.

Joonisel 225 on toodud fassongterasvalu tsehhides kasutatava tiigelinduktsioonahju skemaatiline ristlõige. Sõltuvalt massi iseloomust võib tiigel olla aluseline või happeline. Happeline tiigel valmistatakse kvartsiidi (95% SiO_2) ja 1,5% boorhappe (sideaine) segust. 1,5-tonnise mahuga tiigli vastupidavus on kuni 150 sulatust. Aluselise massiga tiiglid vormitakse peenestatud kroommagnesiit-massist, mis on koostatud 20% uuest ja 80% töötanud kivist. Sideaineks lisatakse pulbrile 4% peenestatud sulapagu ja 3% vett. Tiigel tihendatakse kohapeal.

Valmistiigel kuivatatakse puudega, koksiga ja elektrivooluga 4—5 tunni jooksul.

Aluseline tiigel ei kannata järske temperatuurikõikumisi, täielikku jahutamist ja sellele järgnevat kuumutamist. Sellise kuumutamisrežiimi korral tekivad tiigli aluselises voodris praod, mida on raske remontida. Metalli sattumisel nendesse tekib raske avarii. Seetõttu kasutatakse kõrgsagedusahjudes tavaliselt happelise voodriga tiigleid.

Tabelis 66 on toodud tehase «Elektrik» induktsioonahjude põhiline iseloomustus.

Tabel 66

Tehase «Elektrik» induktsioonahjude põhilised näitarvud

Ahju tüüp	Täite kaal kg	Maksimaalne võimsus, mida tarbib ahi, kW	Sagedus Hz	Pinge V	Vool A	Ahju elektriline kasutegur %	Sulatamise aeg min	Energiakulu sulatamiseks kWh/t	Tiigli mõõted			Maksimaalne veekulu m³/tunnis
									Maht l	Siigavus mm	Läbimõõt mm	
ПО50-1	50	51	2000	570	885	82	30	700	7,25	256	190	0,03
ПО150-М	125	147	2000	1400	1065	81	25—30	700	18,1	390	244	0,65
ПО600-1	1000	618	500	1900	3000	80	45	600	145	740	500	2,30
ПО600-У	1400	635	500	1950	2640	85	70	660	204	830	560	2,16
ПО620-2Т-1	2000	668	500	1950	2900	87	85	600	290	900	640	2,41
ПО6200-500	4000	1250	500	1900	6400	81,5	105	610	580	970	870	6,12

Induktsioonahju külm, viskoosne ja mitteaktiivne räbu takistab väävli ja fosfori üleviimist räbusse. Sellel põhjusel töötavad induktsioonahjud enamasti tiigli happelise voodriga. Aluselise või happelise tiigli täitematerjalid tuleb valida eranditult fosfori- ja väävlivabad. Täite keemiline koostis peab olema täpselt teada ning kõik tiiglisse viidavad materjalid täpselt kaalutud, kuna pole võimalik korrigeerida metalli koostist sulatamise ajal oksüdeerimis- või taandamisreaktsioonide abil. Tiiglit võib võrrelda keemilise keeduklaasiga: mis temasse kaalutud, seda temast ka saab, kuna elementide põlemist tiiglis peaaegu ei toimu või toimub vähesel määral.

Induktsioonahjus kasutatakse terase sulatamiseks legeeritud terase jäätmeid: valtsitud terase tükke, lõikeid jne.

Peale metalli väljalaskmist puhastatakse tiigel ettevaatlikult jäätmetest ning vigastatud kohad parandatakse sama seguga, millest valmistati tiigel.

Peale tiigli voodri parandamist asetatakse tiigli põhjale 4—5% ulatuses täite kaalust laastusid. Laastudele asetatakse peenemad täiteosad, nende peale aga ferrosulamid. Suured tükid asetatakse vertikaalselt, paralleelselt induktorile. Mida tihedamalt on täide laaditud, seda kiiremini ta sulab. Tiigel suletakse tihedalt kaanega, millel on vaateavad, ja lülitatakse generaator väikese võim-

susega tööle; 5—10 minuti pärast, kui lakkavad tõuked, lülitatakse generaator täiele võimsusele. Tiigli madalamas osas on kõige kõrgem temperatuur. Kui täide jääb rippuma ja moodustab «silla», siis langetatakse seda ettevaatlikult, püüdes hoiduda vigastamast tiigli seinu. Kui metall muutub sulaks, siis viiakse happelisse tiiglisse aknaklaasi tükke, aluselisse aga lupja koos 20% sulapaoga. Katteräbu hoiab metalli oksüdeerimise ja gaasidega rikastumise eest. Metalli hea segamine välise magnetvälja mõjul vabastab terase gaasidest ja mittemetalsetest osakestest.

Happelises tiiglis metalli koostise korrigeerimine *sulatamisel ilma oksüdeerimiseta* toimub ferrosulamitega. Põhiline osa ferromangaani antakse koos täitega, õige koostiseni viimiseks aga antakse ülejäänud osa 10 minutit enne terase väljalaskmist.

Mangaani põlemiskadu happelises tiiglis ulatub 25—30%-ni. Ferrosiliitsium ei põle ja viiakse samuti tiiglisse 10 min. enne terase väljalaskmist.

Alumiiniumi lisatakse kopas. Metalli tuleb enne väljalaskmist hoida 10—15 min. kestel tiiglis ilma vooluta.

Sulatamist oksüdeerimisega teostatakse aluselises tiiglis lubjast räbuga kaetud metalli läbipuhumise teel hapnikuga või rauamaagi lisamisega. Oksüdeerimisega sulatamisel puruneb tiigel võrdlemisi kiiresti.

Induktsioonahjudes on elektrienergia kulu, võrreldes kaarleekahjudega, 15—20% suurem, mis on tingitud voolukadudest mootorgeneraatoris ja kondensaatorites. I. F. Kolobnev ja S. A. Farbman[1] soovitavad mitmesuguseid abinõusid induktsioonahjude tootlikkuse tõstmiseks ja elektrienergia ökonoomsemaks kulutamiseks, nagu näiteks kindlustada täite vastav ettevalmistamine tükkide mõõdete järgi, täite suurte ja väikeste osade õige vahekord ning täite ratsionaalne paigutus tiiglis: vähendada valutöö seisakuid, toites kahte ahju ühelt mootorgeneraatorilt (ühte ahju remonditakse, teine töötab); kasutada võimaluste piirides suuremamahulisi ahjusid, mis vähendab elektrienergia erikulu juhtmetes, seoses kondensaatorite ja mootorgeneraatori paigutamisega ahjule võimalikult lähedale, ning pikendab ahju teenistusperioodi; kasutada õigesti generaatori ja ahju võimsust, näiteks peene fassongvalu juures ainult sulami valmistamiseks, kuna valamist teostada mikserist.

TERASE SULATAMINE ALUSELISES MARTÄÄNAHJUS

Terase sulatamise tänapäeva tehnoloogia võimaldab aluselise ja happelise voodriga martäänahjudes sulatada kõrgete füüsikaliskeemiliste omaduste ning kõige mitmekesisema keemilise koostisega süsinik- ja spetsiaalseid teraseid.

[1] И. Ф. Колобнев и С. А. Фарбман. Индукционные печи. Металлургиздат, 1949.

Tänapäeva fassongterasvalu-tsehhe teenindavate martäänahjude maht kõigub 5 kuni 100 t piirides, mis võimaldab valada detaile kaaluga kuni 90 t. Masinaehitustehastes kasutatakse kõige sagedamini 5—25 tonnise mahuga ahjusid.

Martäänahi on kallihinnaline ning kogukas sulatusagregaat, mis peab töötama mitu kuud vahetpidamata. Seetõttu ei saa fassongvalu-tsehhides kõiki sulatisi kasutada fassongvalanditele ja tekib vajadus osa terast valada valuplokkideks.

Põranda ehituse järgi jagatakse martäänahjud happelisteks ja aluselisteks.

Valdav enamus terast valmistatakse aluselistes martäänahjudes. Aluselise martäänahju põranda müüritis koosneb sulatatud magnesiidi kihist, magnesiit- või kromiitkivi kihist, šamottkivi kihist ja isolatsioonkivide kihist. Allpool antakse aluselise martäänahju töö kirjeldus.

Sulatamise olemus martäänahjudes seisab selles, et algtäitematerjalidest (täitest), mille metalliline osa koosneb põhiliselt malmist ning vähemal määral raua- või terasemurrust, sulatatakse teras. Sulatusruumi temperatuur (1750° C) võimaldab sulatada täite. Sulatamise tulemusena saadud metall sisaldab süsinikku, räni ja mangaani vähem kui malm, kuid rohkem kui teras. Martäänsulatuse olemus seisab nende lisandite eemaldamises metallist afineerimise teel, s. t. nende oksüdeerimisega, kusjuures üheaegselt oksüdeerub ka mõningane osa rauda. Nendest elementidest moodustunud vedelad oksüüdid (raua- ja mangaanioksüüd ning ränidioksüüd) on metallist enam kui kaks korda kergemad ning ujuvad seetõttu viimase pinnal, moodustades koos räbustajatega vanni mittemetallilise osa — räbu. Happelise voodriga ahjudes kasutatakse happelisi räbustajaid (liiv), aluselise voodriga ahjudes — aluselisi räbustajaid (lubi). Sõltuvalt sulatamiseks kasutatavate toormaterjalide iseloomust ja seisukorrast eristatakse: vanarauaprotsessi, maagiprotsessi ja lõppeks, karborisaatorprotsessi. Sulatusprotsessi valik sõltub terasvalu tootmise iseloomust ja kohaliku tooraine olemasolust (metallimurd, malm). Terasvalutsehhid, mis lasevad välja fassongterasvalandeid, kuuluvad tavaliselt masinaehitustehaste süsteemi. Sellised tehased ei oma kõrgahjusid ning nende terasvalutsehhidel ei ole võimalik kasutada täiteks sulamalmi. Masinaehitustehase ettevalmistus- ja töötlemistsehhides (sepa, mehaaniline jne.) tekib tootmisprotsessis tunduval hulgal metallijäätmeid, mis on martäänahjudele tooraineks. Need sageli erineva keemilise koostisega jäätmed võivad sisaldada suuremal hulgal väävlit, fosforit ja vahest kroomi. Selliste jäätmete kasutamine on võimalik ainult vanarauaprotsessi rakendamisel aluselise voodriga martäänahjudes, mis on kõige ratsionaalsemaks terase sulatamise viisiks keskmistele ja suurekaalulistele fassongvalanditele individuaal-, väikeseeria- ja keskseeriatootmises.

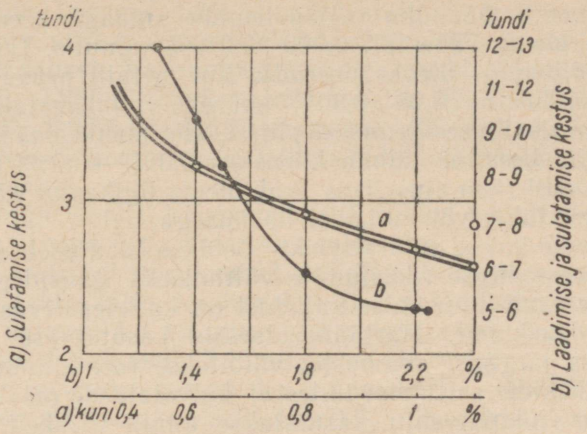
Martäänahju ettevalmistamine sulatamiseks algab enne täite sisselaadimist. Niipea kui paljastub (sulatise väljalaskmisel) ahjuseinte kokkupuutevöö räbuga, alustatakse tagumise seina ja nõlvade korrastamist (remonti). Kui kogu metall on välja lastud, korrastatakse võimalikult kiiresti ahju põrand. Terasvaluahjudes toimub korrastamine tavaliselt käsitsi — tulekindla materjali (dolomiit või magnesiit) viskamisega ühtlase kihina ahju põranda, seinte ja nõlvade vastavatele kohtadele.

Täitematerjalid laaditakse ahju laadimismasinaga ühtlaselt üle kogu põrandapinna. Kõige raskemakaalulisemad täiteosad laaditakse ahju keskele, tagumisele seinale lähemale, kuid mitte vastu väljalaskeava. Täitematerjalid laaditakse kindlas järjekorras. Laadimise ajal toimub raua ja temas asuvate lisandite oksüdeerimine. Nii sulatamisel kui ka laadimisel kasutatakse maksimaalset soojusvõimsust. Peale terase sulamist võetakse metalliproov tema keemilise koostise ja sitkuse määramiseks ekspress-laboratooriumis. Sulatamise oksüdeerimisperioodil toimub räni, mangaani, fosfori ja kroomi üleviimine metallist räbusse. Selleks et vältida fosfori osalist tagasiminekut metalli, samuti aga ka räbu koguse vähendamiseks ja metalli kuumutamistingimuste parandamiseks sulatamise järgneval taandamisperioodil, toimub räbu osaline eemaldamine ahjust. Tavaliselt maagi lisamine põhjustab räbu vahutamist ning viimane eemaldub ahjust isevoolu teel läbi renni, mis on asetatud keskmise laadimisakna juurde. Seejärel parandatakse ahju jäänud räbu, viies sellesse mõningal määral lupja ning vajaduse korral ka boksiiti.

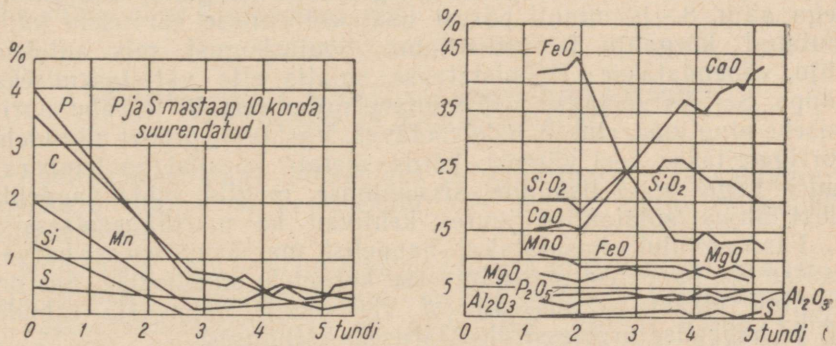
Järgneval sulatamise taandamisperioodil toimub keemine ja metalli viimine nõutava koostiseni. Keemise algperioodi, mille jooksul viiakse sisse rauamaaki, nimetatakse poleerimiseks. Sulatamise lõpul maagi sisseviimine ja metalli oksüdeerimine on lubamatu. Seetõttu toimub keemise viimane etapp ilma maagi viimiseta vanni ja kannab puhta keemise nime. Keemisperioodil on otsustav tähtsus terase omadustele, mistõttu ta nõuab pidevat metalli räbu keemilise koostise, temperatuuri ning viskoossuse jälgimist. Peale puhast keemist toimub metalli esialgne taandamine (raudoksüüdi kõrvaldamine) ferromangaani, ferrosiliitsiumi või silikomangaaniga. Puhta keemise lõpul toimub terase viimine nõutava keemilise koostiseni. Peale väljalaskmist hoitakse metalli kopas, et kõige suuremad mittemetalliliste lisandite ja räbu osakesed võiksid tõusta pinnale. Selliselt saadakse kõrgete mehaaniliste omadustega aluseline teras.

Happelisel martäänterasel nagu aluseliselgi on kõrged mehaanilised omadused ning ta on fassongvalanditele heaks materjaliks. Kuid happeline teras on võrdlemisi kallis, kuna nõuab väävlija fosforivabade täitematerjalide (puusöemalmi, puhta metallimurru jne.) kasutamist.

Diagrammil (joon. 226) on I. D. Semikini andmetel toodud sulatuskestuse sõltuvus süsinikusisaldusest. Joonisel 227 on too-



Joon. 226. Pehme terase süsinikusisalduse muutumine olenevalt sulatamise kestusest (*a*) ning süsinikterase süsinikusisalduse muutumine olenevalt laadimis- ja sulatusperioodi summaarsest kestusest (*b*).



Joon. 227. Metalli ja räbu koostise muutumine aluselises martäänahjus sulatamisel (V. P. Tunkov).

dud V. P. Tunkovi andmetel metalli ja räbu koostise muutumine aluselises martäänahjus sulatamise ajal. Fosfor ja süsinik põlevad välja sulatamise esimesel oksüdeerimisperioodil, väävel aga peaaegu välja ei põle ning läheb CaS näol üle aluselisse räbusse, kui viimane sisaldab vähe raud- ja palju kaltsiumoksüüdi. Terase vabastamiseks fosforist eemaldatakse oksüdeerimisperioodi räbu ühe laadimisakna kaudu räbukogujasse. Väljalastava räbu kogus sõltub eemaldatavast fosforihulgast. Mida rohkem on vaja eemaldada metallist fosforit, seda rohkem tuleb kõrvaldada räbu. Peale vana räbu eemaldamist valmistatakse uus, viies ahju lubjatükke või lubjakivi.

Sulatamisel energilise keemise kindlustamiseks lisatakse vanni aegajalt maaki. Süsiniku väljapõlemine «maagi keemise» perioodil peab olema vähemalt 0,006—0,010% minutis. Liiga nõrgal keemisel võib teras üleoksüdeeruda. Kui metalli proov näitab, et süsinikusisaldus on 0,25—0,30% suurem valmismetalli ettenähtud süsinikusisalduse ülemisest piirist, siis maaki enam ei lisata. Vanni puhas keemine jätkub kiirusega 0,005—0,008% C minutis. Sellel perioodil räbu aluselisus peab olema ligikaudu 2,5—3,0, mis saavutatakse lubja või lubjakivi lisamisega.

Kvaliteetse terase sulatamiseks võetakse kasutusele ettevaatusabinõud terase liigse rikastumise vältimiseks gaasidega. Tiheda metalliga valandite saamise vajadust on ka käesolevas raamatus rõhutatud korduvalt. Martäänprotsessis kasutatakse gaasidega võitlemiseks järgmisi abinõusid: välditakse roostetanud laastude ja metallitükkide sattumist täitesse, kuivatatakse maaki ja lupja enne nende andmist ahju, kasutatakse ainult värskelt põletatud lupja: keelatakse räbu absoluutne eemaldamine ja puhta metallipinna jätmine niiskust sisaldavate ahjugaaside mõju alla, kindlustatakse intensiivne keemisprotsess; toimub kõikide ferrosulamite lõõmutamine enne nende viimist vanni ning masuudi peenestamine suruõhuga, mitte aga auruga.

Sulatamise taandamisperiood algab ferromangaani sisseviimisega ahju. 8—10 minuti pärast lisatakse punase värvuseni kuumutatud kõrgahju ferrosiliitsiumi. Soojuskogust, mis antakse ahju, vähendatakse. Valmistatakse sulatis ette väljalaskmiseks koppa. Selleks võetakse veel viimane proov metalli ja räbu uurimiseks ning määratakse vedelvoolavus. Vastavalt proovi näitudele korrigeeritakse veel viimast korda metalli koostist ja temperatuuri. Legeerivate lisandite sisseviimise reeglid, mida vaadeldi elektriahjus sulatamise juures, kehtivad ka martäänprotsessis.

Fassongvaluks kasutatakse happelist martäänprotsessi harva, vaatamata happelise martäänterase kõrgetele omadustele. See on tingitud pikast sulatuskestusest viskoossete happeliste räbude all ja happelise protsessi ülemäärasest kallidusest.

TERASE SULATAMISE KOMBINEERITUD MEETODID

Valutsehhides kasutatakse terase sulatamise kombineeritud viise. Nende hulka kuuluvad dupleks-protsess (vagranka + martäänahi) ja tripleks-protsess (vagranka + küljelt õhupuhumisega konverter + kaarleekahi).

Dupleks-protsessi (vagranka + aluseline martäänahi) juures saavutatakse tunduv terase sulatusaja lühenemine, kuna martäänahju laaditakse mitte tahket täidet, vaid juba vagrankas sulatatud sulamalmi. Sellist protsessi kasutati Petrovski-Taga-Baikali tehases Tšugunlegir aastatel 1944—1945 (30-tonnine aluseline martäänahi ja kaks vaheldumisi töötavat vagrankat tootlikku-

sega 3 t malmi tunnis). Vagrankad töötasid ettekuumutamata õhuga. Täide koosnes 52%-st peenestatud teraslaastudest ja 48%-st toormalmist. Seejuures oli koksikulu 18% ja lubjakulu 5% metallilisest täitest. Vagrankast väljalaskmisel oli malmi temperatuur 1380—1400° C. Sulamalmi koostis: 3% C; 0,5% Si; 1,0% Mn; 0,12% P; 0,08% S; üldine lisandite põlemiskadu vagrankas oli 8%. Vagranka voodri materjaliks oli šamott. Malm vagrankast anti martäänahju.

Martäänahju laaditi kõigepealt 40% tahket metallimurdu, kuumutati seda 1 tund ning lisati siis sulamalm.

Dupleks-protsessi võrdlemisel tavalise tüüp-protsessiga tuleb märkida, et tahke täite laadimiseks ja sulatamiseks kulutatakse 3 t 50 min üldisest 5 t 40 min-lisest sulatusajast, mis võimaldab sulatusprotsessi ligikaudu 2 tunni võrra lühendada.

Tripleks-protsessi (vagranka + konverter + aluseline kaarleekahi) kasutati esmakordselt Ameerika Ühendriikides. Vagrankas sulatatud malm viiakse konverterisse ja puhutakse seal teraseks. Osa malmi, umbes 60%, antakse aluselisse elektriahju, segatakse seal terasega konverterist ja rafineeritakse väävli eemaldamiseks. Elektriahjus korrigeeritakse metalli koostis räni- ja mangaanisisalduse, samuti ka temperatuuri suhtes. Tripleks-protsessi võib kasutada mitmesuguste süsinik- ja legeeritud teraste tootmiseks kolme ahju sünkroonsel tööl.

MITMESUGUSTE SULATUSAGREGAATIDE EELISED, PUUDUSED JA KASUTAMISALAD

Käsitlemiselt kõige lihtsamaks ja sobivamaks terasvaluagregaadiks on happeline kaarleekahi, mis on ka kõige levinenum valutsehhides.

Happeliste ahjude põhiliseks puuduseks üldse on vajadus töötada puhaste täitematerjalidega, mis on fosfori- ja väävlivabad.

Väike bessemerprotsess on juhtimiselt samuti lihtne, kuid nõuab vähese fosforisisaldusega malmi, mida leidub küllaldasel hulgal ainult mõningates Ukraina ja Uraali rajoonides. Selle vedamine kaugematesse rajoonidesse ei ole otstarbekohane. Viimastes on kõige otstarbekohasem toota terast aluselises martäänahjus, aluselises kaarleekahjus või küljelt puhumisega aluselises konverteris. Viimane meetod peab leidma laiemat kasutamist tulevikus.

Suurte valandite tootmisel on martäänsulatusmeetod ainukeseks, mis võimaldab saada üheaegselt suurel hulgal metalli.

Kõrgeltlegeeritud terasest valandite tootmisel on induktsioonahjud asendamatuteks sulatusagregaatideks, kuna nendes on väärtuslike legeerivate elementide põlemiskadu kõige väiksem. Suuremate valandite valmistamisel legeeritud terastest kasutatakse suure mahuga kaarleekahjusid.

Konverterid võimaldavad kergesti ja kiiresti toota kuuma terast õhukeseseinalistele valanditele ja leiavad laialdast kasutamist põllumajandus-, tekstiil- ja teemasinaehituse valutsehhides. Terasvaluahjude valik sõltub valutsehhi tootmisvõimsusest, valandite keskmisest kaalust ja gabariidist, terase keemilisest koostisest ning valanditele esitatavaist nõudeist, samuti aga valandite tootmise ökonoomilistest ja tehnoloogilistest tingimustest.

TERASVALANDITE TOOTMISE ISEÄRASUSI

VORMIMISMATERJALIDE VALIK

Terasvalu erineb värvilisest ja malmvalust metalli suhteliselt kõrgema valamistemperatuuriga, metalli suurema keemilise aktiivsusega valuvormis ja suurema kahanemisega. Terasvalandid valmistatakse peamiselt liiv-savi vormides. Viimasel ajal on suurte detailide valamiseks hakatud edukalt kasutama kroom-magnesiitaluselisi segusid.

Terase kõrge temperatuur soodustab valandite pinnale paksu külgepõlenud kihi tekkimist, mis on eemaldatav suurte raskustega. Puhta pinnaga terasvalandite valmistamine on üheks tähtsamaks valajate ülesandeks.

Suhteliselt suure pinnaga väikeste kergete terasvalandite juures kasutasid Taškendi Ekskavaatoritehase valajad külgepõlemise vähendamiseks edukalt halva kohaliku liiva ja süsinikuvaese grafiidi segu. Mudelisegu valmistati 98% kvartsliivast, 2% savist ja 2% sulfiitleelisest vahekorraga teralisse massi nagu vormimisel märga vormi [1]. Selle näitega kummutati väide, et grafiitse koostisosa kasutamisel terasvalu vormisegudes rikastab grafiit terast süsinikuga ja rikub valandit.

Keskmisekaalulistel süsinikterasest valanditel saavutatakse puhas pind, segades mudelimulda 10—20% kvartsjahu, mis moodustab vormil räbudele läbimatu ning külgepõlemist hästi vältiva pinnakihi.

Mida massiivsem on valand, seda aeglasemalt moodustub pinnal tahke koorik, seda kauem puutub sula teras kokku vormi pealmise kihiga ning seda tõenäolisem on metalli aluseliste oksüüdikilede kokkupõlemine vormi voodrimaterjali happeliste oksüüdidega ja järelikult, keemilise külgepõlemiskooriku tekkimine. Vastavalt külgepõlemise teooriale, mille töötasid välja I. B. Kumanin ja A. M. Ljass [2], on külgepõlemiskooriku eemaldamiseks vajalik, et kunstlikult moodustatud külgepõlemiskoorik oleks klaasitaoline. Möödapääsematuks nõudeks klaasitaolise kooriku moo-

[1] «Литейное производство», 1953, № 6.

[2] И. В. Куманин и А. М. Лясс. Связующие материалы для стрежней. Оборонгиз. 1949.

dustamiseks on aine kergeltsulavus, valuvormi hea soojusjuhtivus ja järelikult, kooriku «lähtematerjalide» täpselt valitud keemiline kostis. Selliste materjalide hulka kuuluvad vesiklaas, kaustiline magnesiit ning teised. Õieti valitud mudelisegu koostise või värvi puhul moodustub valandi pinnal koos teraseoksüüdide vedela kilega klaasisarnane külgepõlemiskiht, mis eemaldatakse valandist käsivasara kergete löökidega.

Segu koostise valikuga võib reguleerida mitte ainult külgepõlemise määra, vaid ka gaaside ja aurude äravoolu valandist, aga samuti reguleerida suunatud tardumist. Terase suurem kahanemine tekitab peaaegu paratamatult takistatud kahanemisel kuumpragusid, mida saab vältida vormi ja kärni väljaulatuvate osade hea järeleandlikkusega. Sellest järeldub, et terasvalanditele on vormi- ja kärnisegude koostamine suure tähtsusega. Eriline tähtsus on vormi- kui ka kärnisegude sidematerjalide valikul.

Terasvalandite kärnisegude sidematerjalid peab valima sõltuvalt kärni klassist.

Mangaan- ja teistest kõrgeltlegeeritud austeniitterastest valandite tootmisel muutub vormi- ja kärnisegude valiku küsimus eriti tähtsaks ja keeruliseks, kuna vormi happeline liiv-savi vooder moodustab kokkupuutumisel aluselisi oksüüdikilesid sisaldava metalliga raskelt eemaldatava külgepõlemiskooriku. Peale selle määrab vormi vooder ära terase vedelvoolavuse, soojuse ärajuhtivuse ja rida teisi tegureid, mis võtavad osa mitte ainult terasvalandite pinnaliste, vaid ka ruumiliste omaduste kujundamisest.

Terasvalanditeks mark 12X15H15B2M2 tuleb kasutada kroommagnesiit-segusid, mis on kõrge soojusjuhtivusega ja võimelised kiirendama soojuse äravoolu valandist. Sellised segud vesiklaasiga annavad kergelt eraldatava külgepõlemiskooriku, mistõttu valandid saadakse puhta pinnaga.

VORMIMINE JA VORMI TIHENDAMINE

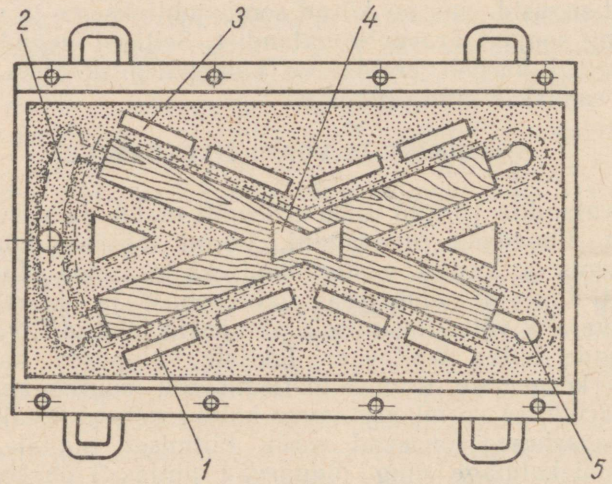
Terasvalandite vormid tuleb erinevalt malm- ja värvilise valu vormidest tihendada tugevamini. Vormi tööõõne kõrgendatud pinnatugevus on vajalik vastupidamiseks terasejoa uhtuvale toimele. Eriti tugevalt uhub teras valukoonust ja -kanaleid. Seetõttu on vajalik võtta kasutusele abinõusid uhutud liiva püüdmiseks. Nende hulka kuuluvad: lahtiste valupeade kasutamine, valandite kõrgemate osade töötlemisvaru suurendamine ning suuregabariidilise vormi asetamine kaldasendisse. Kaalult kergemad liivaosakesed tõusevad vormi täitmisel pinnale, suruvad vastu vormi kaldlage ning jagunevad ühtlaselt õhukese kihina valandi suurel pinnal, mistõttu nad ei halvenda selle välimust.

Vormimisprotsessis tuleb ette näha abinõud valuterase võimalike defektide — gaasi- ja kahanemispoorsuse, suurte kahanemise sisepingete, kuum- ning külmpragude jne. vältimiseks.

Selleks et kõrvaldada põhjused gaasitühimike moodustamiseks (liiga niiske segu; segu, mis sisaldab ülekülluses lenduvaid aineid) tuleb terasvalandites kõige pealt püüda saavutada, et valmisvorm ei sisaldaks liigselt gaaseeraldavaid aineid vormi sügavuses, eriti aga pindkihis. Mitteküllaldaselt niiske või kuivanud segu pudeneb vormimisel ja vormijal tuleb kulutada palju jõudu, et tihendada vormi nõuetava määrani ning teha selle seinad ja kärnid tugevatena. On teada, et mida niiskem on vormisegu, seda paremini ta tiheneb. Märgade vormide vormimisel ei tohi niiskust olla üle 4,0—5,0%, kuivadel vormidel — 5,0—6,0%. On vajalik kõrvaldada kriit ja teised süsihappesoolad, mis kõrgel temperatuuril lagunedes tekitavad süsihappegaasi. Valmisvormid tuleb reeglina kohe peale koostamist valada metalliga. Kauaaegsel seismisel vormid tuulduvad ja pudenevad või niiskuvad niiskes atmosfääris. Esimesel juhul põhjustab praaki valandite risustumine, teisel juhul gaasitühimikud.

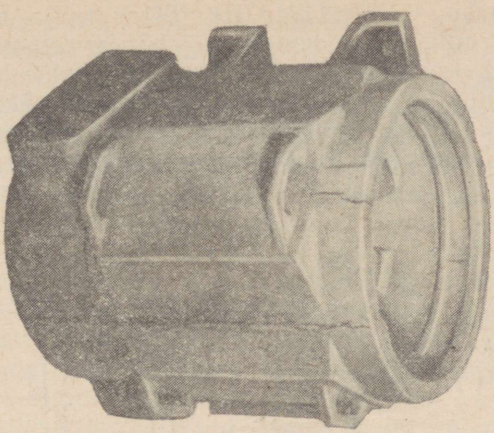
Vastutusrikaste terasvalandite vormidel tuleb kontrollida niiskust, gaasiläbitavust, vormisegu gaasieraldatavust ja vormide täitmise tihedust. Täitmise tihedus peab olema ühtlane. Vormi peab olema tehtud küllaldaselt torkeid gaaside ja aurude läbilaskmiseks. Terasejoa suhteliselt kõrgelt langemise korral tuleb vastavatesse kohtadesse vormida tulekindlast tellisest alused või kuivad kärnid, mis ei luba uhtumist ja uhutud liiva kandmist valandisse.

Kahanemispoorsuse vältimiseks valupea all olevas osas ja sõlmelistes paksendustes on vaja kindlustada suunatud tardumine.



Joon. 228. Mangaanterasest valandite takistatud kahanemise soodustamine õõsi moodustavate puuliistude abil (P. A. Gontšarov):

1 — õõned; *2* — valukanal; *3* — liistud; *4* — kärnmark; *5* — tõusupea.



Joon. 229. Kärnikarkassidega takistatud kahanemisest tingitud kuumpraod.

Viimane saavutatakse väliste ja sisemiste jahutajate asetamisega ning kroommagnesiitpulbrist (tellisepuru) vormisegude kasutamisega, vormi valupea osa soojustamisega, milleks lisatakse vormisegule termiitainet (oksüüdi alumiiniumipulbriga jne.), vale jahutusribide lõikamisega paksemate ja õhemate osade liitumiskohtadele. Suunatud tardumist soodustab metalli valandisse sissevoolu õige koha valik.

Terase suurem kahanemine, eriti aga väljaulatuvate osadega takistatud kahanemine põhjustab valandis kuumpragude tekkimist. Vormimisel tuleb seepärast ette näha sellised täiendavad abinõud, mis tagaksid kahanemisel valandi väljaulatuvate osade vaheliste mõõdete vaba vähenemise. Nii näiteks trammi rööpmeristide vormimisel asetatakse vormi puust liistud (joon. 228), mis hiljem eemaldatakse. Valandi kahanemisel segu puruneb, kahanemistakistus langeb ära ning kuumpragusid ei teki.

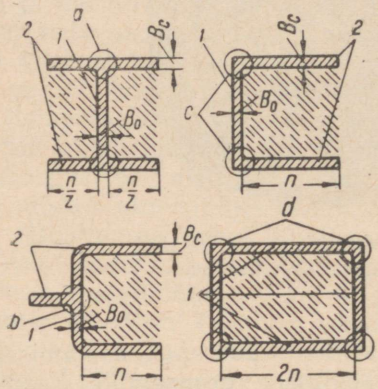
Kärnide valmistamisel ei tohi asetada metallkarkassi liiga pinna lähedale, kuna seetõttu suureneb takistus ning valandis võivad tekkida kuumpraod (joon. 229).

Vormisegude järelandlikkuse suurendamiseks lisatakse nendesse 15—30% puu- või turbajahu, mis kuivatamisel põleb välja ning moodustab kahanemist kergendavaid õõnsusi. Kärnidele lisatakse samal otstarbel siirupit, dekstriini ja teisi väljapõlevaid lisandeid.

Kuumad rebestused võivad tekkida nii sulametalli valest juhtimisest valandi õõnesse kui ka valest valandi toitmisest kahanemise ajal.

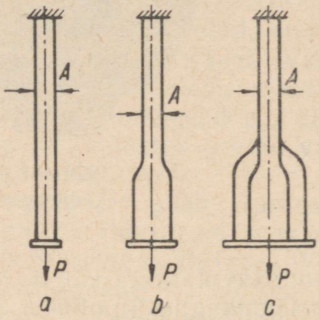
Kuumpragude moodustamise vältimiseks terasvalandis on enam-vähem kindlaks vahendiks jäikusribide kasutamine, mis eemaldatakse raiumise ajal.

V. N. Saveiko (ЦНИИТМАШ) töötas välja meetodi ribide asukoha määramiseks ja nende mõõdete arvutamiseks[1]. Kuumpraod tekivad tavaliselt metalli kuhjumiskohtades (joon. 230, *a*, *b*, *c*, *d*). Kui pragude moodustumise momendiks paksenduste (temperatuuril allpool nullvedelvoolavust) tugevus on suurem takistatud kahanemisel tekkivatest pingetest, siis pragu ei teki.



Joon. 230. Tüüpilised valandi elementaarristlõiked, kus metalli kuhjumiskohtades võib tekkida kuumpragusid:

a, *b*, *c*, *d* — sõlmelised paksendused: *1* — põhisein; *2* — kõrvutiasetsevad seinad.



Joon. 231. Kahanemist takistavate jõudude mõjumisskeem valandi seinas kuuma sõlme lähedal (V. N. Saveiko).

Selle alusel võib oletada, et kui metalli vastupanujõud (metalli tõmbetugevuse korrutis kuuma sõlme pinnaga) on suurem vormi vastupanujõust (vormi tõmbetugevuse korrutis vormi selle pinnaga, mis takistab kahanemist), siis pragu ei teki.

See tingimus väljendub järgmiselt:

$$\sigma_m \cdot F_m > \sigma_v \cdot F_v ,$$

kus σ_m — terase tõmbetugevus kuumpragude moodustumise temperatuuril kg/cm²;

F_m — valandi «kuuma» sõlme ristlõige, mis on risti kahanemist takistavate jõududega cm²;

σ_v — valuvormi materjali survetugevus kg/cm²;

F_v — kahanemist takistava vormi massiivi pindala tasapinnas, mis on risti valandi kahanemise suunaga cm².

Oletame, et valandil on karbikujuline ristlõige (joon. 230). Kui on juba tekkinud pidev kristalliline skelett ja algab verti-

[1] Современная технология получения высококачественных стальных отливок. ВНИТОЛ, Машгиз, 1953.

kaalse ühendava seina *1* mõõdete kahanemine, hakkab vormi massiivne osa (joonisel viirutatud kriips-joonega), mis asetseb kõrvutiolevate *n* pikkusega horisontaalsete seinte vahel, takistama kahanemist ja osutab kõrvutiolevatele seintele vastusurvet.

Sõlmede vertikaalsed seinad kujutame joonisel kolmes variandis nii, et nende otsad on liikumatult kinnitatud, ning vaatleme siis kahanemist takistavaid jõude ning tugevust (joon. 231). Seinal *b* on allpool massiivsem osa ja ta erineb seinast *a* sellepoolest, et peale vormi valamist on massiivsem osa seina kõige nõrgemaks kohaks, milles kahanemisjõudude arenedes tekkivad kuumpraod. Seinal *c* on massiivne osa ümbritsetud ribiga, mis tardub kuumast sõlmest varem, muutub sellest tugevamaks ja jäigistab valandi seina, hoides teda võimalikest kuumpragude tekkimisest. On ilmne, et seina *c* alumisel osal koos ribiga peab olema ühesugune tugevus seina õhema osaga, mistõttu ribi mõõdete arvutus on lihtsam.

Kui asetada *n* jäikusribi ning kui ribide materjalil on ühtlane tugevus σ_r ja valandi seina õhemal osal $\sigma_{\tilde{o}}$, siis võime kirjutada võrrandi:

$$n \cdot \sigma_r \cdot F_r = \alpha \cdot \sigma_{\tilde{o}} \cdot F_{\tilde{o}},$$

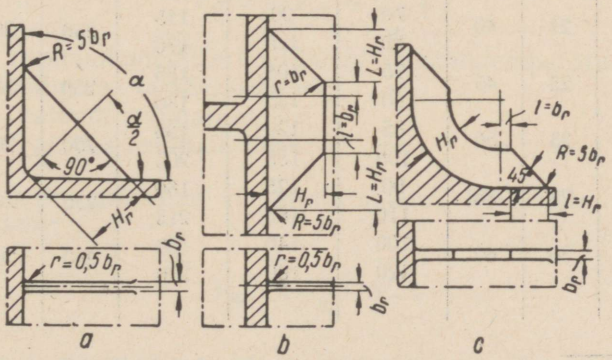
kus *n* on ribide arv;

F_r — ribide ristlõige pinnas, mis on risti kahanemist takistava jõuga *P*;

α — valandi massiivsema osa tugevuse suurenemise koefitsient jäikusribide kasutamise tõttu.

Jäikusribide paksuseks võetakse 10 kuni 30% valandi seinapaksusest. Peale seda võetakse kõrguse suhe paksusesse suurte kahanemisjõudude korral 2—8, väikeste kahanemisjõudude korral aga 2. Koefitsient α on esimesel juhul 1, teisel aga 0,25.

Lahendades eelmise võrrandi F_r suhtes, võib määrata ribide arvu ja nende vahekauguse.



Joon. 232. Jäikusribide tüüpkonstruktsioone:
a — nurkmised; *b* — pikisuunalised; *c* — ümardatud.

Jäikusribide mõõted ja vahekaugused
(V. N. Saveiko)

Valandi põhiseina paksus mm	Ribi paksus mm	Ribi kõrgus mm				Ribide vahekaugus mm		
		Valandi horisontaalse seina õlapikkuse suhe vertikaalse seina paksusesse				Valandi horisontaalse seina paksuse suhe vertikaalse seina paksusesse		
		Kuni 8	8—16	16—24	üle 24	Kuni 1	1—2	2—3
6—8	2,5	5	9*/10	12*/16	16*/20	35	30	20
8—10	3,5	7	10/13	15/20	20/25	50	40	25
10—12	4	8	12/15	18/22	22/30	60	50	30
12—16	5	10	17/20	23/30	30/40	80	65	45
16—20	6	12	20/24	28/36	36/48	100	80	55
20—25	7	15	25/30	35/45	45/60	110	90	60
25—30	8,5	17	28/34	40/50	50/70	130	100	70
30—40	11	20	35/45	50/60	65/85	170	140	90
40—50	12	25	45/50	60/75	75/100	190	150	110
50—60	14	30	50/60	65/85	85/115	200	160	110
60—80	16	35	55/70	75/100	100/135	220	180	120
80—100	18	35	60/75	85/110	110/145	240	190	140
100—140	21	40	70/80	90/125	115/170	250	200	150
140—180	23	45	75/90	105/135	135/180	250	200	150
180—220	25	50	85/105	120/155	155/205	250	200	150
220—260	28	55	90/110	125/160	160/215	250	200	150
260—300	30	60	100/120	140/180	180/240	250	200	150

* Kui valandi kõrvuti olevad seinad on põhiseinast vähem kui kaks korda paksemad, siis tuleb võtta lugeja, kui rohkem kui kaks korda — nimetaja.

Joonisel 232 on toodud jäikusribide tüüpilised konstruktsioonid, tabelis 67 aga ribide mõõted ja vahekaugused.

Ribide mõõted ja vahekaugused on praktiliselt kontrollitud Kramatorski linnas asuvas Novo-Kramatorski tehases.

VALUPEADE PAIGUTAMINE TERASDETAILIDE VALAMISEL

Terasvalandite suur ruumkahanemine tekitas vajaduse kasutada tiheda metalli saamiseks valupeasid ja parandada suunatud tardumise selgeilmelisust.

Valupeade asukoha, kuju ja mõõdete õige valik võimaldab mitte ainult defektideta terasvalandite saamist, vaid parandab ka üht peamist valutootmise näitajat — kõlblike valandite saagist.

VALUPEA MÕÕDETE ARVUTUS

V. I. Ivanovi meetod [1] on üheks uuemaks atmosfääri rõhu all töötavate valupeade mõõdete arvutamisel. See meetod põhineb valutühimiku $V_õ$ ja valandi toidetava osa V_v ruumalade suhte eksperimentaalsel määramisel.

Lahtistele valupeadele on leitud keskmine suhe

$$V_õ : V_v = 1 : 10,$$

suletud, külgmistele aga

$$V_õ : V_v = 1 : 8.$$

Ruumala leitakse võrrandist:

$$V_õ = \beta(V_v + V_{vp}),$$

kus β on ruumkahanemise koefitsient valamistemperatuurist kuni nullvedelvoolavuse temperatuurini,

V_v — valandi ruumala dm³,

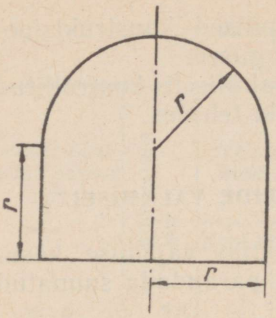
V_{vp} — valupea ruumala dm³.

Lahendades mõlemad võrrandid suletud külgmiste valupeade jaoks, leiame:

$$V_{vp} = \frac{1 - 8\beta}{8\beta} V_v .$$

---

[1] «Сборник материалов по обмену опытом заводов Минтрансмаша», под ред. проф. А. А. Горшкова, 1949 г., ning Tšehhoslovakkia professori Josef Přibyl'i raamat «Tuhnuti a nálitkováni odlitku», SNTL, Praha, 1954.



Joon. 233. Külgmiste valupeade mõõted (L. I. Fantalov ja L. I. Levi).

Valupea ruumala (joon. 233) avaldub võrrandiga

$$V_{vp} = \frac{2}{3}\pi r^3 + \pi r^3 = \frac{5}{3}\pi r^3 ,$$

kust raadius

$$r = 0{,}575\sqrt[3]{V_{vp}} = 0{,}575\sqrt[3]{\frac{1-8\beta}{8\beta}\,V_v}$$

või valupea kõrgus

$$h = d = 1{,}15\sqrt[3]{\frac{1-8\beta}{8\beta}\,V_v} .$$

Võttes terase erikaaluks tardumise temperatuuril

$$\gamma_t = 7{,}3 \text{ kg/dm}^3,$$

saame

$$h = d = 1{,}15\sqrt[3]{\frac{1-8\beta}{8\beta\gamma_t}\,G_v} ,$$

kus G_v on valandi kaal kg.

Terasel, mis sisaldab 0,35% C, on koefitsient $\beta = 0{,}03$. Lahtistel võrdkülgse silindri kujulistel valupeadel on suhe $V_{\bar{o}} : V_v = 1 : 10$, siit

$$V_{vp} = \frac{1-10\beta}{10\beta}\,V_v = 2\pi r^3$$

ning

$$r = 0{,}54\sqrt[3]{V_{vp}} = 0{,}54\sqrt[3]{\frac{1-10\beta}{10\beta}\,V_v} ;$$

$$h = d = 1{,}08\sqrt[3]{\frac{1-10\beta}{10\beta\gamma_t}\,G_v} .$$

Kui valupeal $h = 1{,}3\ d$, siis võrrand võtab vastavalt teise kuju:

$$V_{vp} = \frac{2}{3}\pi r^3 + 1{,}6\pi r^3 = 2{,}27\pi r^3 ;$$

$$r = 0{,}52\sqrt[3]{V_{vp}} ;$$

$$d = 1{,}04 \sqrt[3]{V_{vp}} = 1{,}04 \sqrt[3]{\frac{1-8\beta}{8\beta} V_v};$$

$$h = 1{,}3d = 1{,}35 \sqrt[3]{\frac{1-8\beta}{8\beta} V_v};$$

$$d = 1{,}04 \sqrt[3]{\frac{1-8\beta}{8\beta\gamma_t} G_v};$$

$$h = 1{,}35 \sqrt[3]{\frac{1-8\beta}{8\beta\gamma_t} G_v}.$$

Suhte $h : d$ muutumine muudab koefitsienti kuupjuure ees vastavalt järgmistele andmetele:

$h:d$	Koefitsient kuupjuure ees
1	1,15
1,1	1,11
1,2	1,07
1,3	1,04
1,4	1,01
1,5	0,985

Tšehhoslovakkia valajate kogemuste alusel võib eeldada, et kõrgema rõhu all töötavate valupeade kasutamise koefitsient, võrreldes atmosfääri rõhu all töötavatega, on alati suurem, valutühimik aga paremini koondunud [1]. Seetõttu võib suhte $V_õ : V_v$ võtta võrdseks 1 : 6 (Josef Přibyl). Siis valupea kõrgus ja läbimõõt on võrdsed

$$h = d = 1{,}15 \sqrt[3]{\frac{1-6\beta}{6\beta} V_v} = 1{,}15 \sqrt[3]{\frac{1-6\beta}{6\beta} \frac{G_v}{\gamma_t}};$$

Kui $h : d = 1{,}3$, siis

$$d = 1{,}04 \sqrt[3]{\frac{1-6\beta}{6\beta} \frac{G_v}{\gamma_t}};$$

kui $\beta = 0{,}03$ ja $\gamma_t = 7{,}3$ kg/dm³, siis

$$h = d = 0{,}7 \sqrt[3]{V_v};$$

$$h = d = 0{,}32 \sqrt[3]{G_v}.$$

[1] J. Přibyl «Tuhnuti a nálitkovàni odlitku», SNTL, Praha, 1954, lk. 216.

Kriidilaengu arvutus padrunile, mis asetatakse kõrgendatud rõhu all töötavasse valupeasse, põhineb järgmisel: normaalsel rõhul 1 at ja normaalsel temperatuuril 25° C eraldab 100 g puhast kriiti 22,4 dm^3 süsihappegaasi. Selle gaasi ruumala kõrgematel temperatuuridel määratakse lähtudes Gay-Lussac'i seadusest:

$$V_t = 22{,}4\ (1+\alpha t),$$

kus α on gaasi paisumiskoefitsient, mis on võrdne $\frac{1}{273}$ ühe kraadi kohta;

t — gaasi keskmine temperatuur (Jamšanovi järgi: 1230° C — terasel ja 1100° C — malmil).

$$V_t = 22{,}4\ (1+\frac{1230}{273}) = 123\ dm^3.$$

Ühest grammist $CaCO_3$ tekib järelikult CO_2

$$V_{tCaCO_3} = \frac{123}{100} = 1{,}23\ dm^3,$$

ning n grammist $CaCO_3$-st

$$V_{tCaCO_3} = n \cdot 1{,}23\ dm^3.$$

Kuna aga tehniline kriit sisaldab vähem kui 100% $CaCO_3$, siis, tähistades kriidi puhtuse tähega r, saame:

$$V_{t_{kriit}} = n \cdot r \cdot 1{,}23\ dm^3.$$

n grammi segu, mis koosneb 100 g kriidist ja 12 g süsinikust, s. t. ühest gramm-molekulist kriidist ja ühest gramm-molekulist söest, tekitab gaasi

$$V_{t_s} = \frac{2 \cdot 22{,}4(1+\frac{1230}{273})}{112} \cdot n \cdot r = 2{,}2\,nr\ dm^3.$$

Vastavalt Boyle-Mariotte'i seadusele

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_õ}{V_t},$$

kus p_1 on atmosfääri rõhk (1 ata)

p_2 — gaasi rõhk valupeas

V_t — valutühimiku ruumala 1 atü rõhu juures ja kahanemistühimiku sisemise ruumi temperatuuril, dm^3

$V_õ$ — kahanemistühimiku ruumala.

Kuna $p_1 = 1$, siis

$$p = \frac{V_t}{V_{\delta}} \cdot$$

Tühimiku V_{δ} ruumalaks võib Jamšanovi [1] ja Krausi [2] järgi võtta 3% valandi ruumalast; sel juhul

$$p_{kriit} = 41 \frac{r \cdot n}{V_v},$$

ning kriidi ja koksi segu puhul

$$p_{kriit+koks} = 73{,}3 \frac{r \cdot n}{V_v}.$$

Sõltuvalt soovitavast gaasi rõhust valupeas on kriidi kaaluline hulk

$$n_{kriit} = \frac{p_{kriit} \cdot V_v}{41r} \text{ g},$$

ja segu hulk

$$n_s = \frac{p_s \cdot V_v}{73{,}3r} \text{ g}.$$

V. I. Ivanovi järgi

$$p = \frac{n \cdot r \cdot 22{,}4 \cdot 10^3}{\mu \cdot V_{\delta}} \left(1 + \frac{t}{273}\right),$$

kus μ on laengu molekulkaal.

Laengu kaal

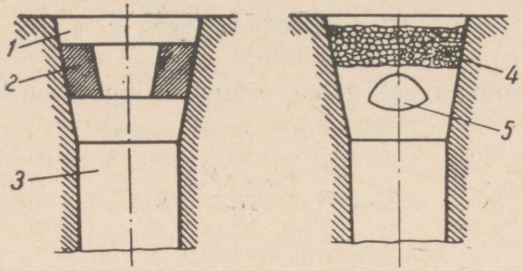
$$n = \frac{p \cdot V_{\delta} \cdot \mu}{r \cdot 22{,}4 \cdot 10^3 \left(1 + \frac{t}{273}\right)} \text{ g}.$$

V. G. Gruzini ja teiste katsete järgi on kõige suurem gaasi rõhk valupeas, mille puhul kuivas liiv-savi vormis saadakse veel valandi lubatav paisutamine, kõigest 4,5 atü. P. N. Bidulja,

[1] П. М. Ямшанов. Искусственное давление в прибылах отливок. Машгиз, 1949.
[2] И. Краус. Гутницке листы, пг. 2 ja 3, 1952.

I. I. Bobrovi ja K. N. Smirnovi katsete järgi peab rõhk, mille juures terases 15—45Л üldse ei moodustu kahanemistühimikku, olema vähemalt 700 at (templi surve vedelstantsimisel sulametallile, mis on valatud hüdraulilise pressi stantsi matriitsi).

Valupea metalli kasutamine paraneb tunduvalt valupea kuumutamisel. Et aga kuumutamine kaarleegiga või gaasipõletiga on erineva kujuga valandite puhul käsitlemiselt ebamugav, kuna nõuab suurt hulka rakiseid, siis puistatakse valukausis ja valupeas sulametalli pinnale temperatuuri hoidmiseks kuiva liiva. Puuduseks on seejuures asjaolu, et vedelale metallile moodustuva kooriku tõttu tekib valupeas kahjulik osaline vaakuum, mis takistab metalli liikumist kahanemise ajal mööda kapillaarseid kanaleid valandi toidetavatesse kohtadesse.



Joon. 234. Eksotermiliste segude paiknemine valupeas.

Palju aastaid tagasi prooviti valupeadesse puistata termiitseid segusid, mida sakslased nimetasid lunkeriitideks. Termiidi põlemisel eraldub soojust, valupea ülemine koorik sulab ning atmosfääri õhk hakkab avaldama sulametallile kasulikku rõhku. P. Bidulja ja A. Manakini uurimised ЦНИИТМАШ-is näitasid, et lunkeriidi pealeraputamisel on soojuslik kasutegur kõigest 5%. Suur hulk soojust kiirgub ruumi ja hajub kasutult.

Sellel põhjusel valmistati eksotermiline segu, mis koosnes 75% alumiiniumtermiidist, 25% portlandtsemendist 400 ning 6—8% veest kuivaine kohta. Peale segamist kollersegajas vormitakse segu kärnkastis, mis vastab valupea *1* mõõdetele (joonis 234). Segu kõveneb keemiliselt ja peale 8 tunni möödumist saadakse kastist puks *2*, mis asetatakse valupeasse. Puksi pole vaja kuivatada, kuna tema tugevus peale kõvenemist on 3—4 kg/cm².

Erinevate mõõdetega valupeadele valmistatakse igale oma puks.

Valupeade ja pukside mõõted võib normaliseerida ja kasutada mass- või individuaaltootmise tingimustes.

Peale vormi ja valupea täisvalamist metalliga kuumeneb järk-järgult puksi termiitsegu, süttib ja sulab. Puks puruneb ning

tõuseb poorilise räbuna valupea pinnale, kus moodustab paksu soojusisolatsioonikihi *4* (joon. 234). Valupea metall kuumeneb seejuures täiendavalt ja soodustab sulaterase liikumist dendriitide vahel valandi toidetavasse kohta *3*. Tänu termiitpuksi tugevdatud mõjule on ta soojuslik kasutegur umbes 50%, s. t. kümme korda suurem kui lunkeriidil, kahanemistühimik *5* tekib valupeas ning sellel on lamava läätse kuju, mille kumerus ülal on natuke suurem kui all.

Katsed toimusid ЦНИИТМАШ-is, V. I. Lenini nimelises Nevski Masinaehitustehases Leningradis ja Venjukovski Masinaehitustehases Moskva oblastis. Nii süsinik- kui ka legeeritud terastel oli valupea metalli kaalu vähenemine 30—40%. Valupeaalune valandi osa saadi tihe.

Valmissegu kulu arvestatakse soojusbilansi järgi: valupea kuumutamiseks vajalik soojus Q_t peab olema võrdne soojushulgaga, mis eraldatakse eksotermilise puksi poolt (Q_p).

$$Q_t = Q_p$$

1 g-mooli alumiiniumi põlemisel reaktsiooni järgi $2\,Al + Fe_2O_3 = Al_2O_3 + 2\,Fe$, eraldub 213,6 g termiidist 197 cal soojust. Muutes need andmed valmissegu P kaalu arvutamiseks, saame võrrandi:

$$P_s = \frac{P_n(1-B)[c(t_v - t_s) + \varrho] \cdot k}{A \cdot q},$$

kus P_s on segu kaaluline kulu kuumutamiseks kg;

P_n — tavalise valupea kaal enne kuumutamist kg;

B — vähendatud ja tavalise valupea kaalude suhe: 0,6—0,7;

c — sulaterase erisoojus solidustemperatuuri lähedal $\frac{\text{kcal}}{\text{kg °C}}$;

ϱ — sulamissoojus $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$;

t_v — terase temperatuur valupeasse valamisel °C;

t_s — solidustemperatuur °C;

A — valupea soojuslik kasutegur, mis võetakse 0,50;

q — eksotermilise segu erisoojus, mis võrdub $197 : 213{,}6 = 0{,}94\,\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$;

k — koefitsient, mis arvestab soojusvahetuse muutumist kuumutatava valupea ja ümbritseva keskkonna vahel.

Heade tulemuste saavutamiseks võetakse $k = 0{,}75$. Kui $k = 1$, siis kahanemistühimik võib jääda valandisse. Mida madalam on terase valamistemperatuur, seda väiksem on segu kulu. Katsete

alusel on koostatud lihtsam empiiriline valem termiitsegu kaalu arvutamiseks:

$$P_s = 0{,}25\, P_v\, (1-B).$$

Viga on kõigest mõne protsendi piirides.

Valandil läbimõõduga 100 mm ja kõrgusega 500 mm oli valupea kõrgus 150 mm ja läbimõõt 110 mm. Metall oli valandis täiesti tihe. Seejuures valandis, mida toideti 300 mm kõrguse ja 120 mm läbimõõduga valupea abil, kuid ilma termiitpuksita, tekkis valupea alla kahanemistühimik. Mõningatel juhtudel kontrolliti valupea all oleva osa tihedust gammakiirtega. Valupeade kaalu vähendamine legeeritud terastel üle 40—50% ja madalaltlegeeritud ning süsinikterastel üle 70—80% põhjustab taandatud metalli tungimise valupeast valandisse, mistõttu väävli- ja fosforisisaldus viimases tõuseb nende elementide likvatsiooni piirini normaalses valupeas. Kui $B = 0{,}5—0{,}6$ (normaalse valupea vähendamine ainult 50—40%), siis valupea all on märgata nii väävlikui ka fosforisisalduse alanemist, kuna need tõusevad konvektsiooniprotsessis valupeasse.

Terasvalanditele valupeade paigutamine ja suunatud tardumise kindlustamine teeb vormimise ja valamise keerulisemaks. Sageli on valandid mitteõige vormimistehnoloogia tõttu poorilised. Üheks abinõuks vormimise lihtsustamiseks ja metalli vormi juhtimiseks ja kahanemise ajal valandite toitmise parandamiseks on ümberpööramisviis, mida vahel nimetatakse ka reversiivseks.

Selle viisi puhul valand vormitakse nagu tavaliselt, kuid vormi valamisel asuvad valupead allpool; peale valamise lõppemist pööratakse vormi 180° ja valand kristalliseerub normaalses asendis, s. t. valupeade asetumisega ülal. Selle viisi eeliseks on metalli hea soojenemine valupeas.

Pikkade valandite korral pööratakse vormi peale valamist 15—30°. Sellist viisi nimetatakse poolpööratavaks. Peale valatud vormi pööramist valupea sulametalli surve valandi suhtes suureneb ja valupea võib paremini täita oma otstarvet. Poolpööratav viis leiab laialdast kasutamist Tšehhoslovakkia tehastes terasarmatuuri detailide valamisel.

Vormi pööramisel 90° võrra asetseb valupea valamisel küljel, peale pööret aga ülal. Selline viis kergendab vormijate tööd, suurendab tootlikkust, vähendab metallikulu valupeale ja parandab fassongvalandi omadusi.

Terasvalandid valatakse tavaliselt stopperkopast, kui aga teras on happeline ning räbu paks ja kergesti kopas hoitav, siis ka tila kaudu. Terase valamisel vormidesse läbi sulgurava peab valamise järjekord olema rangelt määratud: algul valatakse kaalult raskemad vormid, lõpupoole — väiksemad. Teras valatakse täielikult avatud sulguri juures katkematu ja rahuliku joana, vältides pritsmeid ja katkestusi joas.

Teras tuleb valada vormidesse ranges vastavuses temperatuuridega, mis on näidatud tsehhi juhendis.

Valandite hoideaeg enne väljalöömist määratakse samuti tsehhi juhendiga.

LEGEERITUD TERASEST VALANDITE TOOTMISE ISEÄRASUSI

Mida rohkem on terases alalisi ja legeerivaid lisandeid, seda väiksem on tema soojusjuhtivus, seda suurem on temperatuuri langus kristalliseeruvas ja jahtuvas valandis ning tõenäosem kuum- ja külmpragude tekkimine.

Legeeritud terased erinevad süsinikterastest valuomaduste, nagu vedelvoolavuse, esmase kristalliseerimise, joon- ja ruumkahanemise, külgepõlemise, kilemoodustamise ja teiste tähtsate omaduste poolest, mis sõltuvad peamiselt terase koostisest, sulatamise ja valamise tingimustest ning vormivalamise temperatuurist.

Legeeritud terasel on madal soojusjuhtivus, halb vedelvoolavus ja suur joonkahanemine.

Valatud legeeritud terase kõige iseloomulikemaiks defektideks on kilemoodustamine, kuumpraod ja külgepõlemine.

Legeeritud terasest valandite valmistamine on kallim kui samade valandite valmistamine süsinikterasest.

Eesrindlike tehaste ning ЦНИИТМАШ-is viimase viie aasta kestel teostatud uurimiste põhjal on allpool järgnevalt antud põhireeglid legeeritud konstruktsiooni- ja kuumustugevatest terastest valandite tootmiseks.

Legeeritud terasest valandite tootmisel saavutatakse parimad tehnilis-ökonoomilised näitajad järgmiste tingimuste täitmisel:

1) terase vedelvoolavus peab olema nii kõrge, et sulametall ei täidaks hästi mitte ainult valuvormi (makrovedelvoolavus), vaid ka interkristalliitsed praod (mikrovedelvoolavus), mis tekivad joonkahanemisel nullvedelvoolavusest madalamatel temperatuuridel;

2) selleks, et vältida õõnte tekkimist suurte dendriitide vahele, mida A. A. Rõžikov nimetas «deformatsiooni poorsuseks», peavad esmased terad olema peened, et mikropraod võiksid täituda vedela sulami jääkidega natuke kõrgemal solidustemperatuurist;

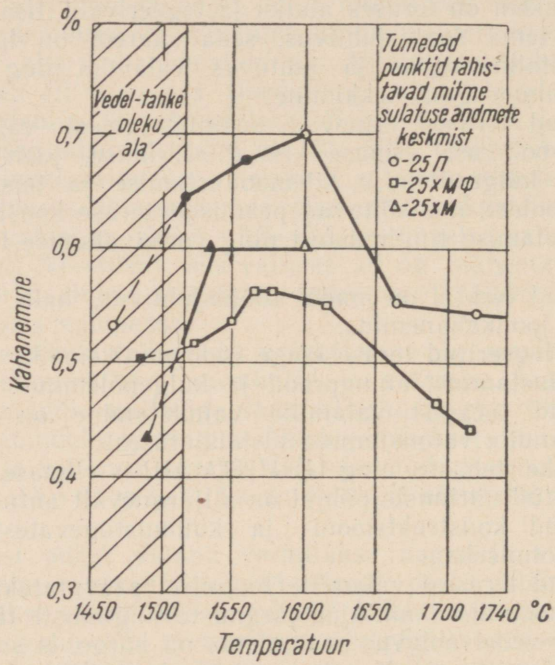
3) teras peab olema lisanditeta, mis annavad eutektikume ning millel on kõrge «mikrovedelvoolavus» ja kuumrabedus; solidustemperatuuri lähedal on võõraste vedelike olemasolu terases oksüüdide ja sulfiidide kujul täiesti soovimatu;

4) terase kristalliseerimisvahemik peab olema lühike, et saada koondatud, mitte aga hajutatud kahanemistühimikku;

5) terase joon- ja ruumkahanemine peab olema väike.

Terase vedelvoolavus on seda suurem, mida peenem on esmane kristalliseerimine. Kui sulamis on kõvad disperssed osakesed, siis peaaegu sõltumatult tera suurusest vedelvoolavus ala-

neb. Oksüdeerunud terase vedelvoolavus on tunduvalt madalam taandatud terase vedelvoolavusest. Hapnik, väävel, lämmastik, titaan ja kroom alandavad tunduvalt vedelvoolavust. Alumiinium, vask, räni, vanaadium, nioobium, süsinik ja fosfor suurendavad vedelvoolavust. Nikkel kuni 0,5%-ni ja mangaan kuni 2% alandavad vedelvoolavust, edasi aga suurendavad seda.



Joon. 235. Terase (25Л, 25ХМЛ ja 25ХМФЛ) koostise ja valamistemperatuuri mõju joonkahanemisele kuumpragude võimaliku moodustumise temperatuuri piirkonnas (V. G. Gruzin ja V. N. Saveiko).

V. G. Gruzini ja V. N. Saveiko uurimised näitasid, et kolmest terase margist (25Л, 25ХМЛ ja 25ХМФЛ) on ühesuguse valamistemperatuuri juures kõige parem vedelvoolavus terasel 25ХМФ, kõige madalam vedelvoolavus spiraalproovi järgi aga jämedateralisel terasel 25ХМ. Kõige suurem kahanemine tardumise algusest kuni võimalike kuumpragude tekkimise temperatuurini oli terasel 25Л, kõige väiksem aga terasel 25ХМФ (joon. 235).

Pehmel ja kõval süsinikterasel kuumpragusid peaaegu ei teki. 0,15 kuni 0,25% C sisaldavatel terastel on pragude tekkimise oht kõige väiksem.

Pragude tekkimise ohtu vähendavad sellised karbiide moodustavad elemendid, nagu nikkel, mangaan, kroom, titaan. Terases,

milles kristalliseerimisel moodustuvad karbiidid, tekivad γ-raua ja karbiiditerade piirjoonel mikropraod ja teras muutub hapraks.

B. B. Guljajev'i uurimiste järgi alluvad mitmesugused süsinik- ja legeeritud terased solidustemperatuuri lähedal elastsetele deformatsioonidele. Kõige väiksem tugevus on kõrgendatud mangaani- ja niklisisaldusega terastel [1].

Sellest järeldub, et terase valikul ei saa otsustada tema omaduste üle ainult vedelvoolavuse järgi. Terasel Г13Л on kõrge vedelvoolavus, kuid ta kuulub teraste hulka, milles kergesti tekivad praod. Nikli ja kroomiga legeeritud terasel 18Н8Х on hea vedelvoolavus, kuid ta ei anna pea kunagi pragusid. Arvestades antud küsimuse keerulisust, tuleb igal juhul kõrvutada kõik antud terasemargi valuomadused, samuti aga arvestada ka tootmise tingimusi.

Legeeritud terasest kõlblike valandite saamiseks tuleb peale valamistemperatuurist täpse kinnipidamise kasutada ka kõrgendatud rõhuga valupeasid, teha takistatud kahanemise nõrgestamiseks vormi õõnsusi ja valida vormisegud, mis ei anna külgepõlemist.

---

[1] Б. Б. Гуляев. Доклад в институте металлургии им. А. А. Байкова, АН СССР, 10 июня 1955.

VÄRVILISTEST METALLIDEST JA SULAMITEST VALANDITE TOOTMINE

ÜLDANDMEID

Sulameid raua alusel nimetatakse mustadeks. Ülejäänud sulameid nimetatakse värvilisteks; see nimetus on tingitud nende värske murde värvusest ja mustrist. Värvilisi metalle ja sulameid toodetakse tavaliselt maakidest, mis sisaldavad palju aherainet. Selliste maakide ümbertöötlus on seotud suure töö- ja energiakuluga. Puhta värvilise metalli hind on mitu korda kõrgem raua hinnast. Värvilisi metalle kasutatakse rahvamajanduses võrdlemisi laialdaselt. See on tingitud nende reast väärtuslikest spetsiaalsetest omadustest. Kuid sellele vaatamata kasutatakse valamiseks malmi ja terast 5—6 korda rohkem, kui kõiki värvilisi sulameid kokku.

Sageli asendatakse värvilisi metalle malmi ja terasega.

Värvilise sulami nimetus määratakse metalli järgi, mis moodustab sulami aluse. Tootmises valmistatakse vase alusel pronksi ja valgevase sulameid, aga samuti sulameid alumiiniumi, magneesiumi, plii, tina, tsingi jt. alusel.

Tehnikas kasutatakse kõrge sulamistemperatuuriga sulameid titaani, molübdeeni, volframi, uraani ja teiste alusel.

Värvilisi sulameid liigitatakse ka erikaalu järgi. Sulamid plii ja vase alusel kuuluvad raskete, magneesiumi, alumiiniumi alusel aga kergete värviliste sulamite hulka.

VALATAVATE VASESULAMITE KOOSTIS JA OMADUSED

Puhtal vasel (erikaal 8,93) on punane värvus, sulamistemperatuur 1083° C, soojusjuhtivus — 0,923 cal/cm sek° C. Punane vask sisaldab kahjulikke lisandeid: vismutit (umbes 0,005%) ja antimoni (0,005—0,01%). Nende sisaldust suurtes hulkades vases ei lubata, kuna nad alandavad vase alusel valmistatud sulami tugevust ja plastilisust.

Vase sulamit tinaga nimetatakse p r o n k s i k s ning vase sulamit tsingiga — v a l g e v a s e k s. Rida vähelegeeritud vasesulameid kannavad punase vase nimetust; neid kasutatakse näiteks kõrgahjude furmide valamiseks.

Vase alusel moodustatud sulamitest valandite väärtuslikkudeks omadusteks on nende kõrge soojus- ja elektrijuhtivus, mille poolest nad jäävad maha ainult hõbedasulamitest. Värvilised sulamid on parema korrosioonikindlusega kui malm ja teras.

VALUPRONKS

Valupronks — vase sulam tinaga — oli tuntud juba muinasajal. Tänu pronksi headele valuomadustele ja vastupidavusele niiskes atmosfääris kasutati teda juba ammu kunstiliste esemete ja kaunistuste, kellade jne. valamiseks. Hilisemal ajal on teda hakatud kasutama ainult armatuuri detailide ning pukside ja laagrite materjalina.

Tina on valge või halli värvusega metall, mille erikaal on 7,28, sulamistemperatuur 232° C ja soojusjuhtivus 0,157 cal/cm sek° C (18° C juures). Tina toodetakse mineraalidest, mille varud on piiratud; seetõttu kasutatakse teda pronksi või laagrisulami tootmiseks üsna vähe. Tänapäeval tinapronksi peaaegu ei kasutata ja see asendatakse vase alusel saadud keerulisemate sulamitega.

Iga pronks markeeritakse kahe algtähega Бр, peale seda tulevad sulamisse minevate elementide nimetuse algtähed, vastavalt protsentuaalse sisalduse vähenemise järjekorrale (О — tina, С — plii, Ц — tsink, Ж — raud, А — alumiinium, Мц — mangaan, Н — nikkel, Су — antimon). Arvud, mis vastavad elemendi protsentuaalsele sisaldusele, asuvad samas järjekorras nagu tähed, näiteks: БрО10, tähistab tinapronksi, mis sisaldab 10% tina ning ülejääk vask; БрАЖМц10-3-1,5 — 10% alumiiniumi, 3% rauda ja 1,5% mangaani, БрОЦС10-1-1 — 10% tina, 1% tsinki ja 1% pliid jne.

Valutööstuses leidsid kasutamist paljukomponendilised pronksid, nagu tina-tsink-plii teisesed pronksid, mida nimetatakse selliselt seepärast, et nad on saadud vase aluseliste laastude ja jäätmete ümbersulatamisel. Peale selle leiavad kasutamist veel niinimetatud spetsiaalsed pronksid ja valgevased — punase vase sulatamisel tinaga saadud kalli tinapronksi asendajad.

Üldkasutatavate keeruliste tinapronkside (tinasisaldus väiksem kui pronksidel БрО10 või БрОФ10) keemiline koostis on antud tabelis 68, mehaanilised omadused ja kasutamisalad aga tabelis 69.

Lisaks sellele, et pronksarmatuur on malm- ja terasarmatuurist kergem, on ta ka mehaaniliselt kergemini ja puhtamini töödeldav (pronksi keskmine kõvadus $H_B=60$) ning suurema vastupidavusega korrosioonile. Magedas ja merevees pronks ei roosteta ja seetõttu valmistatakse temast laevakruvisid, aurupumpasid, inžektoreid, auru- ja õlijuhtmete ühendusosi ja muud.

Laagripronksist valatakse laagriliudasid, pukse, mõningaid tiguratta põidasid ja teisi detaile, mis töötavad hõõrdele määrdega

Valatavate tinapronkside keemiline koostis

Sulami nimetus	Mark	Elementide sisaldus %-des, ülejääk vask				Lisandeid %-des, mitte üle			
		Sn	Zn	Pb	Ni	Sb	Fe	Al	Kokku
Tina-tsink-pliinikkel-pronks	БрОЦСН3-7-5-1	2—4,5	6—9	3—6	0,5—1,5	0,5	0,4	0,02	1,3
Tina-tsink-pliipronks	БрОЦС3-11-5	2—4	9—13	3—6	—	0,5	0,4	0,02	1,3
	БрОЦС6-6-3	5—7	5—7	2—4	—	0,5	0,4	0,05	1,3
	БрОЦС5-5-5	4—6	4—6	4—6	—	0,5	0,4	0,05	1,3
	БрОЦС4-4-17	3,5—5,5	2—6	14—20	—	0,5	0,4	0,05	1,3
Teisene pronks	БрОЦС3-11-4	2—4	8—14	2—6	—	0,5	0,4	0,02	1,3
Tina-tsink-pliipronks	БрОЦС3-7-4	2,5—5	5—10	2—6	—	0,5	0,4	0,02	1,3
	БрОЦС5-7-4	4—6	5,5—8	2—6	—	0,5	0,4	0,05	1,3
	БрОЦС5-8-4	5—7	7—5	2—6	—	0,5	0,4	0,05	1,3

ja ilma. Laagripronksid on antifriktsioonsulamite keskel esimesel kohal hõõrdumisel tekkiva soojushulga ärajuhtimise poolest: peale selle kulub pronks esimesena, hoides kulumise eest väärtuslikumat temaga kokkupuutuvat detaili — võlli.

Tinapronkside puudustest tuleb peale kalliduse nimetada veel valandi tardumist laias temperatuurivahemikus, mille tulemusena moodustub hajutatud kahanemistühimik. Tinapronksi omadusi halvendavad tunduvalt kõvad ja raskeltsulavad alumiiniumoksüüdid. Valutsehhides, kus valatakse paralleelselt nii tina- kui ka alumiiniumpronkse, tekib jäätmete halvasti organiseeritud hoidmisel, eriti ühe ja teise pronksi laastude segiajamisel mehaanikatsehhides, valanditel suur praak poorilisusest. Seetõttu tuleb teisesed sulamid enne nende kasutamist täiteks tinapronksi sulatamisel puhastada alumiiniumist. Lähemalt peatutakse sellel pronkside sulatamist käsitlevas peatükis.

Näidatud puuduste tõttu kasutatakse tänapäeval tinapronksi asemel laialdaselt selle asendajaid.

Nii näiteks raskeltkoormatud laagrites kasutatakse mangaanvalgevaske ЛМцС58-2-2 ja alumiinium-raud-pliipronksi БрАЖС 7-1,5-1,5.

Merelaevaehituses kasutatakse merevees töötavate koormatud detailide valmistamiseks valgevaske ЛМцЖ 55-3-1.

Tabel 69

Valatavate tinapronkside mehaanilised omadused ja kasutamisalad

Pronksi mark	Mehaanilised omadused			Kasutamisala
	σ_b kg/mm²	δ %	H_B	
БрОЦСН3-7-5-1	18	18	60	Mere- ja magedavee tingimustes töötav armatuur; auruarmatuur rõhkudele kuni 25 atü.
БрОЦС3-11-5	18	8	60	Magedas vees töötav armatuur ja auruarmatuur rõhkudele kuni 25 atü.
БрОЦС6-6-3	15	6	60	Detailid, mis töötavad hõõrdele määrdega
БрОЦС5-5-5	18	4	60	
БрОЦС4-4-17	15	5	60	
БрОЦС3-11-4	Ei anta			Täide sulamile БрОЦС3-11-7
БрОЦС3-7-4				Täide sulamile БрОЦСН3-7-5-1
БрОЦС5-6-4				Täide sulamile БрОЦС5-5-5 ja 4-4-17
БрОЦС5-8-4				Täide sulamile БрОЦС6-6-3

Hammasrataste, tigude ja tiguratаste, klappide, pumbakerede ning veeturbiini ja tsentrifugaalpumpade detailide jaoks kasutatakse alumiiniumpronksi, millel on väike tardumisvahemik ning mis annab koondatud kahanemistühimiku, järelikult aga ka tiheda struktuuri valandi valupea all olevas osas.

Alumiiniumpronksil on kulla värvus, mille poolest teda on kerge eraldada tuhmimatest ja tumedamatest tinapronksidest. Tänapäeval kasutatakse laialt pronkse БрАЖ9-4, БрАЖН10-4-4 ja БрАЖМц10-3-1,5, mis asendavad «merepronksi» БрО10.

Kallite värviliste sulamite laastude utiliseerimine on suure rahvamajandusliku tähtsusega ülesanne. Laastud tuleb hoolikalt koguda, sorteerida nad pronksi ja valgevase markide järgi ja saata eraldi partiidena NSVL Värvilise Metallurgia Ministeeriumi tehastesse. Nendes tehastes laastud sulatatakse suure mahuga (30—40 t) ahjudes, et puhastada saadav metall kahjulikest ja mittesoovitavatest lisanditest ning saada ühtlase koos-

tisega teisene «passikohane» pronks. Passikohast pronksi kasutatakse täitematerjalina valupronksi tootmisel.

Tinapronksi kasutatakse selliste väga vastutusrikaste detailide tootmiseks, nagu auru- ja veeturbiinide pealaagrid. Pronksidel БрОФ10-1, БрОЦ10-2, БрО10, БрОЦ8-4 ja БрОС7-17 on kõige väiksem hõõrdekoefitsient nii õli kasutamisel kui ka ilma.

Pronkse БрОЦС3-11-5 ja БрОЦС4-4-4 kasutatakse auru- ja veearmatuuri detailide valamiseks rõhkudele kuni 25 atü.

Pronks ja valgevask ei anna sädemeid, mis on eriti tähtis mehhanismide ja masinate juures, mis töötavad plahvatusohtlikkudes ruumides, nende hulgas ka magneesiumvalu-tsehhide puhastusosakondades.

Pronksi БрОС8-12, mida varem kasutati valtspinkide raskete laagriliudade valamiseks, asendatakse mittemetalliliste materjalidega — tekstoliidi, lignofooli ja lignistoniga. Määrimiseks (õlitamiseks) kasutatakse sel juhul vett.

VALATAV VALGEVASK

Valgevaseks nimetatakse vasesulamit tsingiga. Arv, mis tähistab vase protsentuaalset sisaldust valgevases, kirjutatakse kohe peale tähti, mis märgivad sulami komponente; näiteks ЛК80-3, tähendab ränivalgevaske, mis sisaldab 80% vaske ja 3% räni, ülejäänud tsink; ЛМцА57-3-1 tähendab valgevaske, mis sisaldab 57% vaske, 3% mangaani ja 1% alumiiniumi. Vahel asetatakse margi lõppu täht Л, mis näitab, et antud sulamit kasutatakse valamiseks.

Valgevase erinevuseks on kõrged valuomadused. Peale tsingi viiakse valgevaske mitmesuguste ekspluatatsiooniliste omaduste tõstmiseks teisi lisandeid. Plii tõstab näiteks valgevase vedelvoolavust. Valatud olukorras on valgevasel kõrge plastilisus.

Üldiselt kasutatavate valatavate valgevase markide keemiline koostis on toodud tabelis 70 ning füüsikalis-keemilised näitajad tabelis 71.

Massiivsete masinadetailide armatuuri, laagrite ja muu sellise valamiseks kasutatakse valgevaske mark ЛМцЖ55-3-1 ja ЛМцЖ52-4-1 või pronksi mark БрОЦС3-7-4 ja БрОЦС3-11-4. Suurte laevakruvide valmistamiseks kiirekäigulistele merelaevadele kasutatakse tinavalgevaske, mis sisaldab 61—63% Cu, ligikaudu 35% Zn, 0,7—0,11% Sn, 0,10% Pb, 0,1% Fe, 0,005% Sb, 0,002% Bi, 0,01% P. Selle valgevase omadused on järgmised: $\sigma_b = 50—65$ kg/mm², δ_5 — mitte alla 18%; $H_B = 130—170$; 30×30 mm-lise ruudukujulise varda paindenurk ümber 30 mm läbimõõduga silindri kuni pragude ilmumiseni on ligikaudu 45°. Metallilõikepinkide laagrid, hüdropresside mutrid silindri töörõhule 380 kg/cm², friktsioon-rõngaste, laagrikausside ja teiste detailide valandid valmistatakse tinapronksi asemel valgevasest

Tabel 70

Valatavate valgevaskede keemiline koostis

Nimetus	Mark	Keemilised elemendid, ülejääk—tsink, %-des							Lisandid %-des, mitte üle							
		Cu	Al	Fe	Mn	Si	Sn	Pb	Pb	Sn	Sb	Mn	Fe	Al	P	Kokku
Alumiiniumvalgevask	ЛА67-2,5	65—68	2—3	—	—	—	—	—	1	1	0,1	0,5	0,8	—	—	3,4
Alumiinium-raud-mangaan-valgevask	ЛАЖМц66-6-3-2	64—68	6—7	2—4	1,5—2,5	—	—	—	1	1	0,1	—	—	—	—	2,1
Raud-alumiinium-valgevask	ЛАЖ60-1-1Л	58—61	0,75—1,5	0,75—1,5	0,1—0,6	—	0,2—0,7	—	0,4	—	0,1	—	—	—	0,01	0,7
Räni-valgevask	ЛК80-3Л	79—81	—	—	—	2,5—4,5	—	—	0,5	0,3	0,1	1	0,6	0,1	—	2,8
Räni-pliivalgevask	ЛКС80-3-3	79—81	—	—	—	2,5—4,5	—	2—4	—	0,3	0,1	—	0,6	0,3	—	2,0
Mangaan-pliivalgevask	ЛМцОС58-2-2	57—60	—	—	1,5—2,5	—	—	1,5—2,5	—	0,5	0,1	—	0,8	1	—	2,5
Mangaan-raud-valgevask	ЛМцЖ55-3-1	53—58	—	0,5—1,5	3—4	—	—	—	0,5	0,5	0,1	—	—	0,6	—	2,0
Pliivalgevask	ЛС59-1Л	57—61	—	—	—	—	—	0,8—1,9	—	—	0,05	—	0,8	—	—	2,0

Mark	Erikaal g/cm³	Voolavuspiir σ_s kg/mm²	Joonpaisumise koefitsient $\times 10^6$	Kõvadus H_B	Löögitug. kgm/cm²
ЛА67-2,5	8,5	15,2	—	90	—
ЛАЖМц66-6-3-2	8,5	—	—	160	—
ЛАЖ60-1-1Л	8,5	25	—	90	—
ЛК80-3Л	8,3	16	17	95—110	12
ЛКС80-3-3	8,6	14	17	90—100	4
ЛМцС58-2-2	8,5	21	—	70—90	7
ЛМцОС58-2-2-2	8,5	26	—	90—110	—
ЛМцЖ55-3-1	8,5	28	—	90—120	—
ЛМцЖ52-4-1	8,3	30	22,7	100—140	—

ЛКЖС70-2-0,7-1,7. Sulamil σ_b = 23—35 kg/mm², δ_5 = 8—12%, H = 80—120.

Kõrgahju furmide ja vaateavade valamiseks kasutatakse punase vase kõrge soojusjuhtivusega sulameid, mis sisaldavad kuni 97—99% Cu ning mis tavaliselt taandatakse fosforvasega. Mida vähem on lisandeid, seda suurem on sulami soojusjuhtivus ja seda paremini töötavad veejahutusega furmid. Kõikide vasealuseliste valandite puuduseks on gaasilise päritoluga poorilisus. Sulatust käsitavas peatükis on toodud sulami ja täite lähtematerjalide gaasidest vabastamise viisid. Teiseks abinõuks valandi tiheduse tõstmiseks on valamine metallvormi.

VASEALUSELISTE SULAMITE VALAMISE ISEÄRASUSI

Vasesulamite valamisel tuleb kasutada minimaalse gaasieraldavusega vormimaterjale. Vormi ja kärnide üleniisutamine avaldub eriti kahjulikult gaasipooride tekkimise läbi valandis.

Vasesulamist valandite tootmisel kasutatakse väiksema tulekindlusega liivasid ja savisid (kollased ja punased), mida leidub looduses sagedamini kui valget liiva ja tulekindlat savi. Vasesulamite valamisel kasutatavate liivade süsihappesoolade sisaldus ei tohi olla üle 1%, kuna soolad 700—800° C juures dissotsieeruvad, andes süsihappegaasi.

kalis-mehaanilised näitajad

Soojusjuhtivus cal/cm sek°C	Hõõrdekoefitsient		Joonkahanemine %	Vedelvoolavus cm	Sulatamistemperatuur	Valamistemperatuur
	õliga	õlita				
—	—	—	1,25	57	1000—1150	1000—1100
—	—	—	—	—	1000—1150	940—1050
—	—	—	—	—	1000—1150	940—1050
0,10	0,01	0,19	1,7	80	1000—1150	950—1100
0,098	0,009	0,15	1,7	60	1000—1150	950—980
0,11	0,016	0,24	1,8	22	1000—1150	1000—1100
0,118	—	—	—	—	1000—1150	930—1050
—	0,047	—	1,6	60	1000—1150	940—1050
0,18	0,055	0,32	—	—	1000—1150	950—1060

KÄRNISEGUDE VALIK

Kärnisegud valitakse sõltuvalt kärni klassist, kooskõlas ЦНИИТМАШ-i andmetega (tabel 72 [1]).

Vesiklaasiga segud sisaldavad 95—97% kvartsliiva ja 3—5% savi, 5—7% vesiklaasi, 0,5—1,5% sööbenaatriumi 10%-list lahust.

Tinapronksist valandite vormidele ja kärnidele soovitatakse normaalse koostisega ТБ — värvi, mis koosneb 60% talgist, 40% bentoniidist ja 30% veest (kaalu järgi). Värvi erikaal 1,25. Alumiiniumpronksist või ränivalgevasest valandite kuivade vormide ja kärnide värvimiseks soovitatakse värvi, mis koosneb mahuliselt 82% grafiidist või puusöest, 8—10% savist, 6—8% sulfiitpraagast (erikaal 1,27) ja 25—30% veest. Värvi erikaal 1,2—1,3.

VORMIMISVIISID

Vasesulamist valandite vormimisel koostatakse mudelisegu 80%-st töötanud segust ja 15—18%-st värskest segust, peamiselt rasvasest liivast kuivade ja lahjast — märgade vormide puhul. Vormisegude survetugevus peab kuivadel vormidel olema 0,5—0,6 kg/cm², gaasiläbitavus 15—20 ja niiskusesisaldus 5—6%, märgadel aga — survetugevus 0,4—0,5 kg/cm², gaasiläbitavus mitte alla 30—40 ja niiskusesisaldus mitte üle 3—4%.

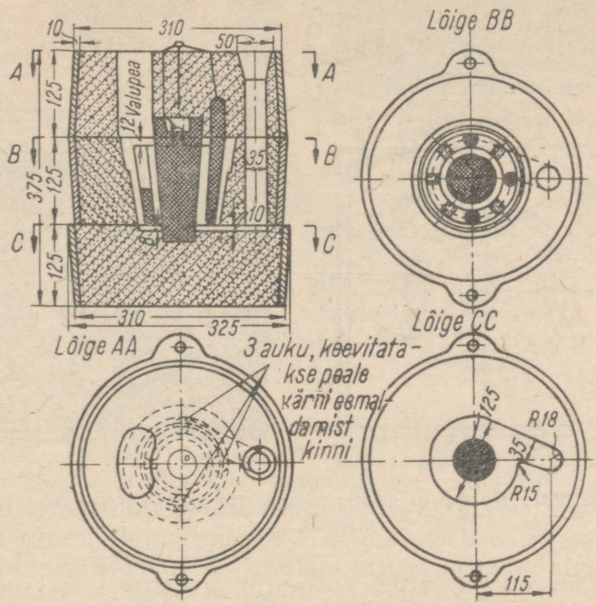
[1] А. М. Лясс. Современные связующие материалы и область их применения, Машгиз, 1955, lk. 56.

Tabel 72

Vasesulamist valandite kärnisegude tüüpilised koostised
(*A. M. Ljass*)

Kärni klass	Segu koostis								Segu iseloomustus						
	Segu teraline koostis %-des				Sideained kaalu %-des teralise segu koost.									Tugevus kg/cm²	
	Töötanud segu või kärnipuru	Värsked materjalid			Veevabad ained arvestatud grupi aluste kohta			Vett sisaldavad ain.							
		Kvartsliiv	Savi	Savine liiv	A-1	A-2	A-3	Sulfiitpiirituse praak (erikaal 1,27)	Puujahu %	Teralisus	Savisisaldus	Gaasiläbitavus	Niiskus %-des	Survele märjas olekus	Tõmbele kuivas olekus
I	—	100	—	—	1,2—1,5	—	—	—	—	50/100 70/140	Kuni 2	120	2—3	0,03—0,06	7
II	—	97	3	—	—	1,5—2,0	—	2,0—4,0	—	50/100 70/140	3—5	90	3—4	0,06—0,10	5
III	—	96—97	3—4	—	—	—	2,0—4,0	2,5—3,5	—	—	3—6	90	3—4,5	0,10—0,20	4
IV	0—40	—	—	60—100	—	—	Kuni 3,0	2,0—3,0	Kuni 30	50/100	6—8	70	4—5,5	0,20—0,35	2
V	20—60	—	—	40—80	—	—	—	Kuni 3,0	„ 30	50/100	8—12	60	5—6	0,30—0,50	1,5

Tinapronksist või valgevasest valandite vormimine ei erine millegagi malmvalandite vormimisest peale valusüsteemi ehituse mõningate iseärasuste. Selleks et kompenseerida pronksi ja valgevase võrdlemisi suurt kahanemist (keskmiselt 1,25—1,50%), kasutatakse kaks korda väiksemaid valupäid kui terasvalanditel või massiivsemaid toitekanaleid, mida vahel ekslikult nimetatakse valupeadeks. Alumiiniumpronksist valanditele asetatakse samuti valupead, nagu terasvalanditelegi, kuna massiivsemad

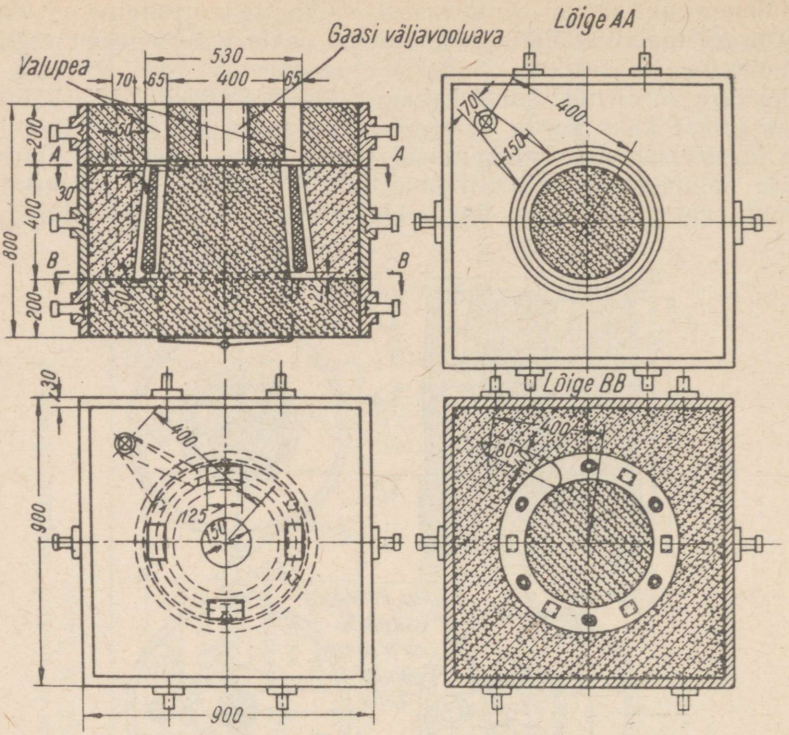


Joon. 236. Kõrgahju punasest vasest räbufurmide vormimine.

toitekanalid ei taga valandi kristalliseerimise teatud momendil vedela sulami andmist kahanemise kompenseerimiseks, mille tulemusena sõlmelistes paksendatud kohtades tekivad kahanemispäritoluga poorid.

Joonisel 236 on toodud kõrgahju räbufurmi vormimise näide.

Vesijahutuseks ettenähtud õõnsuse saamiseks kasutatakse rõngaskärni, mis kinnitatakse ülemisse kasti. Samasse riputatakse ka tsenterkärn, mis kindlustab valandi küllaltki õhukeste seinte (8—10 mm) ühtlase paksuse. Püstkanal, mis on ühtlasi toitekanaliks, tehakse kolm korda paksem valandi seintest. Ülemisse ossa asetatakse lahtist tüüpi valupea. Vormi uhtumise vältimiseks juhitakse metall juurde puutujat mööda. Valmisvalandid proovitakse 5—7 atü rõhu all.

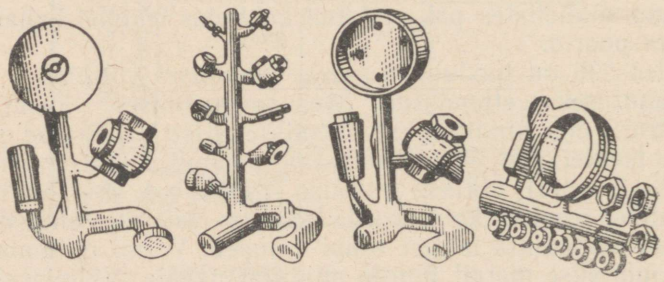


Joon. 237. Kõrgahju vaateavade vorm (Makejevski tehas).

Joonisel 237 on näidatud kõrgahju armatuuri valandi vormi lõige. Rõngaskärnil on neli suurt kärnmarki, mille kaudu juhitakse eemale vormi valamisel tekkivad gaasid ja aur.

Kuna värvilised sulamid sisaldavad räbu, mis kergesti satub valamisel vormiõõnde, siis tuleb valusüsteemis kasutada räbupüüdjaid.

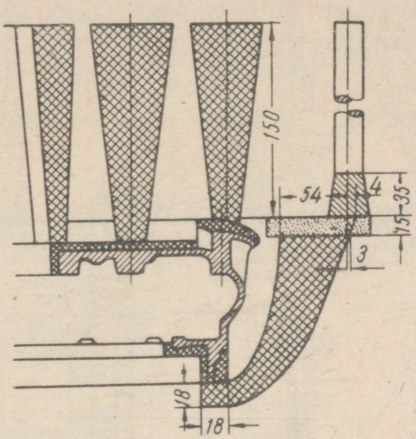
A. A. Botšvar ja A. G. Spasski võtsid kasutusele vertikaalse



Joon. 238. Pronksist valandite paigutamine ühte vormi.

pilulise valusüsteemi, mis väldib õhu kaasaimemist metalli poolt vormi valamisel ning peab hästi kinni räbu.

Valukanalite kaalu vähendamiseks väikeste valandite vormi-



Joon. 239. Alumiiniumpronksist kolmikklapi vorm.

misel ühes vormis asetatakse need ridadena ning varustatakse ühe üldise püstkanaliga (joon. 238). Mõnikord nähakse püstkanali juures ette üksikud paksendused, mis on valandi sõlmpaksendustele valupeadeks. Valupeadega vormi ehituse näiteks võib olla alumiiniumpronksist kolmikklapi kere (joon. 239). Alumiiniumpronks moodustab koondatud kahanemistühimiku, kuna ta kristalliseerub väikeses temperatuurivahemikus.

VASESULAMITE SULATUSAHJUD

Värviliste metallide ja sulamite sulatusahjud jagatakse:

1) tiigelahjudeks (statsionaarsed, kallutatavad, ümberpaigutatavad);

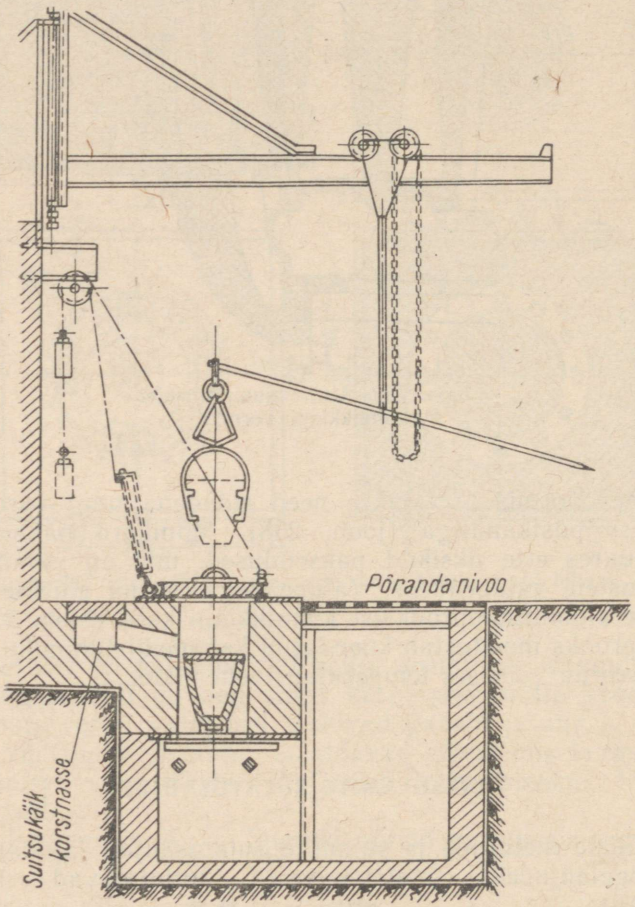
2) leekahjudeks (statsionaarsed, kallutatavad);

3) elektriahjudeks (kaarleek-, takistus-, induktsioonahjud).

Tiigelääsi ja leekahju köetakse koksi või masuudiga. Loomuliku tõmbega tiigelääs (joon. 240) on metallide ja sulamite lihtsamaks sulatusahjuks. Tiigelääsi köetakse koksiga, millega ümbritsetakse tööruumi asetatud tiigel: tiigel tõstetakse ääsilt pihtide abil. Tiiglid markeeritakse mahu järgi; tiigli margile vastab ligikaudu 9,2 kg. Tiiglid valmistatakse vähese savi lisandiga grafiidist. Tiigli maht kõigub 3 kuni 30 margini, s. t. 27 kuni 270 kg.

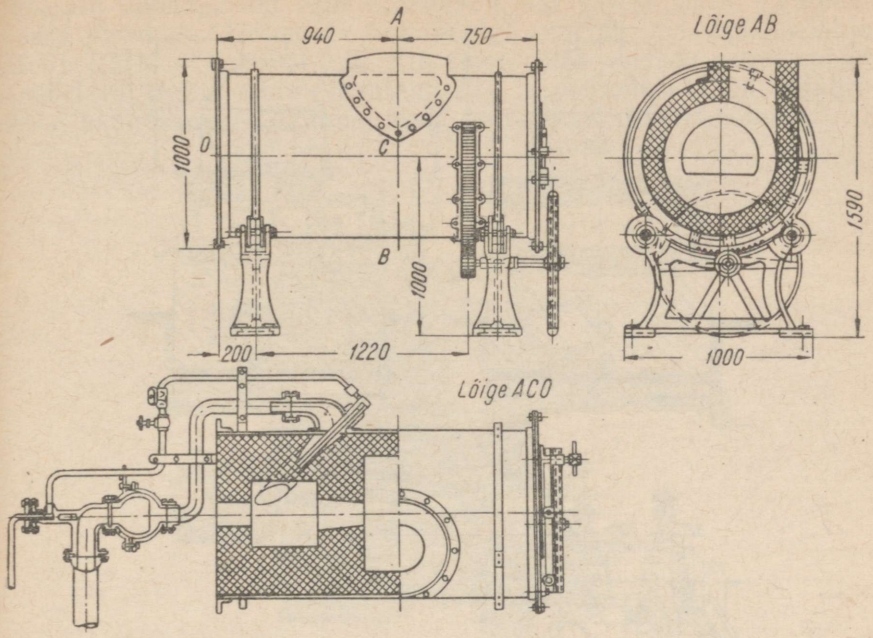
Väikestel ääsidel sulatamisel on küttekulu ligikaudu 50% metalli kaalust, suurtel ääsidel aga kuni 30%.

Tavaliselt sulatatakse tiigelahjudes värviliste metallide sulameid, harvemini — terast ja üsna harva — malmi; kui aga nõutakse üheaegselt suurt hulka metalli, siis kasutatakse sulatamiseks leekkiirgusahju.



Joon. 240. Loomuliku tõmbega tiigelääs.

Väikese tootlikkusega valutsehhides kasutatakse pronksi sulatamiseks masuudiga köetavat trummeltüüpi pööratavat ahju «Metšta», mahuga 500 kuni 2000 kg. Kütuse põletamiseks on sellel vasakul küljel kolle (joon. 241); tahke metall ja lisandid antakse ahju läbi suudme. Viimase kaudu valatakse välja ka valmismetall. Ahju pööramine toimub käsiratasseadme abil. Koldest tulev leek läbib kaldkanali, surutakse metalli pinna vastu ja väljub läbi suudme kummi alla.



Joon. 241. Pööratav ahi «Metšta» pronksi ja valgevase sulatamiseks.

Joonisel 242 on kujutatud Georgadze leekahi, mis konstruktsioonilt on sarnane ahjuga «Metšta», kuid on statsionaarne. Täide laaditakse ahju läbi suudme, metall väljub väljalaskeava kaudu. Ahi töötab suure masuudikuluga (kuni 150 kg 1 t sulametalli kohta) ja suure põlemiskaoga (8—10%). See on tingitud peamiselt gaaside ebarahuldavast liikumisest, mis määrab ette kütuse mittetäieliku põlemise.

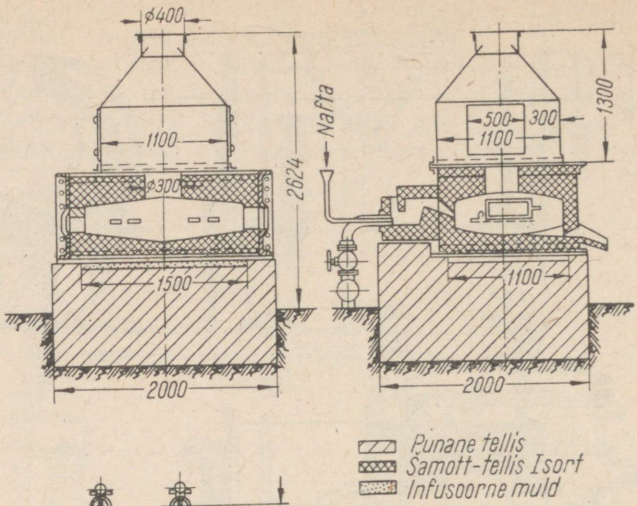
V. M. Tšastuhhini[1] ahjus ei ole põleti suunatud metallile, vaid ahju võlvi alla (joon. 243). Põleti on asetatud võlvi vasakpoolse otsa juurde. Leek suundub piki võlvi, lõpetab põlemise ja poolpööret tehes suundub tagasi ning uhub metalli, misjärel väljub lõõri. Ahi mahutab kuni 600 kg täidet. Gaasi-masuudipõleti ehitus on näidatud joonisel 244.

Masuudi pihustamine toimub suruõhu abil ejektoriga. Gaas siseneb põletisse ülalt. Masuuti antakse küttesegu kalorsuse tõstmiseks, kuna külma õhu korral generaatorgaas üksi tõstab liiga aeglaselt tööruumi temperatuuri. Peale selle helendab masuudi lisamine leeki.

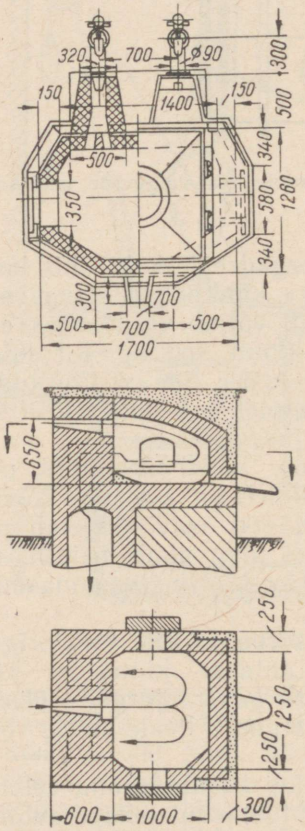
Ahju ökonoomsust võib tõsta, kui kasutada õhu eelsoojendamiseks suitsugaaside soojuse arvel töötavaid rekuperaatoreid.

Suurt küttekulu tiigelääsil või leekahjus, samuti aga ka

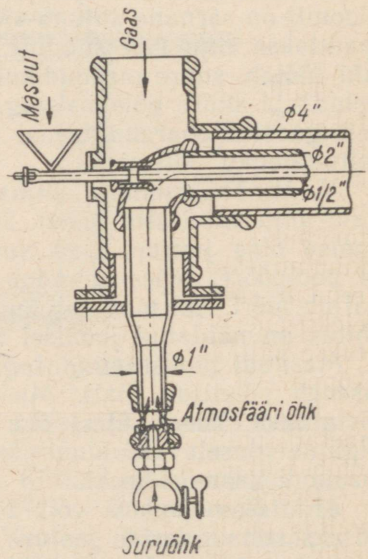
[1]. «Литейное производство» 1952, nr 6.



Joon. 242. Georgadze vasesulatamisahi.

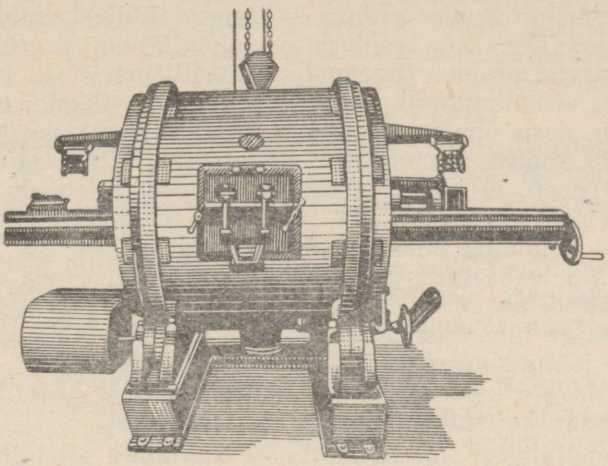


Joon. 243. V. M. Tšastuhhini vasesulatamise kiirgusahi.



Joon. 244. Gaasi-masuudipõleti.

metalli põlemiskadu võib vähendada, kui vasesulamite sulatamiseks kasutada sõltumata kaarleegiga ühefaasilist trummelahju tüüp ДМК — 0,25 või 0,50. Ahi (joon. 245) asetseb neljal vabalt pöörleval rullil. Ahju õõtsutamiseks ja pööramiseks on silindriline hammasratasülekanne, mida käitatakse elektrimootorilt.



Joon. 245. Sõltumatu kaarleegiga elektriahi ДМК vasesulamite sulatamiseks.

Vasesulamite sulatamise iseärasusi

Täide ja lisandid laaditakse ahju läbi luugi, mis seejärel suletakse. Väljalaskeava suletakse savist korgiga. Peale seda lülitatakse sisse ühefaasiline vool tavalisest jõuvõrgust pingega ligikaudu 120 V ja energiakulu järgi otsustatakse täite täieliku sulamisaja üle. Pärast täite sulamist lülitatakse tööle elektrimootor, mis kallutab ahju mõlemas suunas 180° võrra. Ahju põrandat kuumutatakse perioodiliselt kaarleegi kiirgussoojusega, mis kiirendab sulatamist. Kui on kulutatud ligikaudu 350—400 kWh elektrienergiat 1 t metalli kohta, siis lülitatakse vool välja, avatakse väljalaskeava ning valmismetall lastakse ühte või mitmesse koppa.

Kuna sulatamise ajal välisõhku peaaegu ahju ei pääse, siis metalli põlemiskadu on kõigest 0,4—0,7% täite kaalust. Laastude ümbersulatamisel on põlemiskadu mõnevõrra suurem — 1—1,5%.

Pronksist või punasest vasest tiheda valandi saamiseks tuleb valida puhtad, kahjulikke lisandeid mittesisaldavad täitematerjalid, eriti teisesed sulamid, omatootmise jäägid ja laastud, ning teostada sulatamist nii, et valmismetall oleks enam-vähem vaba gaasidest, peamiselt just vesinikust ja hapnikust.

Vesinik, mis eraldub lahusest molekulaarses olekus, võib interkristalliitsetes poorides tekitada metallis pingestatud olukorra, rikkuda valandi hermeetilisust ning vähendada tema tugevust ja plastilisust. Hapnik moodustab vases keemilise ühendi Cu_2O ja rida teiste lisandite oksüüde, nende hulgas Al_2O_3, SnO_2, ZnO jne. Mida rohkem on vasesulamis alumiiniumi ja tina, seda vähem lahustub temas vesinikku; teisest küljest, mida rohkem on hapnikujääke, seda rohkem on alumiinium- ja tinaoksüüde, mis alandavad pronksi tugevust ja plastilisust.

Sulami vesinikuga rikastumise põhiliseks allikaks on niiskus, mis satub sisse õhust, masuudist, ahju niiskest voodrist, valurennist või kopast, samuti aga ka niiskest täitest, puusöest jne. Sellest järgneb, et vasesulamite sulatamisel tuleb ahi, valurenn ja kopp eelnevalt kuumutada punase värvuseni, et kõrvaldada igasugune võimalus niiskuse sattumiseks metalli.

Selleks et vabastada metalli vesinikust, tuleb teda enne sulatamise lõppu oksüdeerida või puhuda barbotaasi tekitamiseks lämmastikuga läbi. Seejuures oksüdeerimist ei tule teostada õhu või auru läbipuhumisega, vaid teiste viisidega, mis põhinevad mittesoovitavate lisandite valikoksüdeerimisel ja kasulike sulamikomponentide kaitsmisel liigse põlemiskao eest.

Nii soovitatakse tina-tsinkpronksi kahjuliku alumiiniumisisalduse vähendamiseks kasutada tsinkoksüüdist räbustajat, võttes seda 6% metalli kaalu iga 1% alumiiniumi kohta.

Alumiiniumi kogus väheneb 1,04 kuni 0,01%-ni, tinasisaldus ei muutu, tsingikogus aga suureneb.

Väävel, antimon ja tina lähevad CaO ja baariumülihapendit BaO_2 sisaldavate aluseliste räbustajate lisamisel üle räbusse.

Pronksi kaitsmiseks liigse oksüdeerimise eest ja valandi poorilisusega võitlemiseks on vajalik lühendada sulatusaega, s. t. viia täitematerjalid hästi ettekuumutatud ahju, vähendada metalli ülekuumutust ning kaitsta metalli kaitseräbustajatega, millede sulamistemperatuur on metalli sulamistemperatuurist madalam.

Alumiiniumpronksi sulatamiseks kasutatakse kaitseräbustajaid, mis on koostatud 25 osast NaCl, 25 osast $MgCl_2$, 100 osast KCl ja 70 osast kriioliidist (kaaluliselt). Kokku peab räbustajat olema ligikaudu 0,20% sulametalli kaalust. Räbustajat tuleb hoida hermeetiliselt suletud purgis, kuna ta on hügroskoopne [1].

Ränivalgevaske sulatatakse kaitseräbustaja all, mis on koostatud klaasikildudest ja ümbersulatatud booraksist (kaaluline vahekord 3 : 1). Räbustajat võetakse 1—2% metalli kaalust. Täidet valitakse üsna hoolikalt.

Ränivalgevase [2] sulatamisel kasutatakse räbustajaid selleks, et alguses viia alumiinium üle alumiiniumoksüüdiks, seejärel aga

[1] В. А. Буталов Улучшение качества отливок ЛОВНИТОЛ, Машгиз, 1954, lk. 130.

[2] «Литейное производство» 1955, nr. 3.

siduda silikaatidega. Pärast seda, kui vorm on muutunud sulaks, eemaldatakse räbu ja lisatakse 3% metalli kaalust räbustajat nr. 1, mis koosneb 40% CaF_2, 30% Na_2CO_3 ja 30% MnO_2 või 30% CuO. Metalli segatakse 10—30 minutit. Seejärel eemaldatakse räbu ning lisatakse 2—3% metalli kaalust räbustajat nr. 2, mis koosneb 75% CaF_2 ja 25% Na_2CO_3. Metalli segatakse uuesti koos räbuga 10—30 minutit. Metalli alumiiniumisisaldus on peale sulami sellist töötlemist sajandik protsentides. Lisades peale nimetatud räbustajate veel tsinkoksüüdi, võib meie arvates alumiiniumisisalduse viia kuni 0,01%-ni ja vähem.

Peale seda viiakse sulamisse 90%-list ferrosiliitsiumi, arvestades räni 10%-lise põlemiskaoga. Üheaegselt ferrosiliitsiumiga lisatakse pliid hulgal, mis on vajalik tema nõutava sisalduse saamiseks valmistatavas metallis.

Värviliste sulamite sulatamisel, mis sisaldavad mitmesuguse sulamistemperatuuriga lisandeid, on üldiseks reegliks, et algul sulatatakse kõige raskemini sulav komponent ning peale seda järjekorras kergemaltsulavad komponendid.

Alumiiniumraud- või mangaanpronksi ja valgevase sulatamisel sulatatakse algul raud või ferromangaan, peale seda lisatakse väikestes kogustes vask, seejärel alumiinium ligatuuri kujul jne.

Kõige rohkem tarvitatavate värviliste sulamite elemendid võib asetada ritta hapnikuga suguluse alanemise järjekorras: Ca → → Be → Mg → Li → Al → Na → K → Si → Mn → Zn → P → Sn → Fe → Ni → Sb → → Pb → Cu. Iga eelmine element, mis on lisatud vedelale sulamile, on taandajaks järgnevatele elementidele; nii näiteks on magneesium tugevaks taandajaks kõigile järgnevatele elementidele: Li, Al, Na, K, Si, Mn jne. Tinaga taandatakse rauda, niklit, pliid ja vaske. Berüllium ja kaltsium taandavad magneesiumi jne.

Värviliste sulamite tootmisel on tähtis kasutada laaste, mida tekib suurel hulgal mehaanikatsehhides. Laastud tuleb sorteerida ja sulatada ümber brikettide kujul. Enne briketeerimist eemaldatakse õlid tsentrifuugis. Briketeerimiseks kasutatakse hüdraulilisi, pneumaatilisi ja friktsioonpresse. Briketid on läbimõõduga 100—150 mm, pikkusega 80—100 mm ja kaaluvad umbes 2—3 kg.

Laastude ümbersulatamisel lisatakse vanni kaitseräbustajaid, et vähendada vase ja tema lisandite põlemiskadu, näiteks räbustajat, mis koosneb 70% CaF_2, 12% klaasikildudest, 10% lubjast ja 8% kvartsliivast. Räbustaja kulu on ligikaudu 7% metalli kaalust. Laastude sulatamisel sulatatakse eelnevalt omatootmise jäätmed (valukanalid ja praagitud valandid) ning alles peale seda, kui need on sulanud, laaditakse pidevalt väikestes kogustes juurde laaste kuni vanni täieliku mahutavuseni. Kasutades sellist viisi võib vähendada põlemiskadu.

Tihti lisatakse vasevalutsehhides laaste sulametalli lahtiselt, ilma briketeerimata, mis tunduvalt alandab tootmise omahinda.

Laastude ümbersulatamisel tuleb vase põlemiskao vähendamiseks kasutada aluselise voodriga leekahjusid, kuna happelises ahjus on vask räbus seotud silikaatidena. Aluselistes ahjudes räbustuvad hästi alumiinium, antimon ja väävel.

Värvilised metallid — vask, tsink ja plii ning nende aurud — on kahjulikud tööliste tervisele. Seepärast on vajalik:

1. Ahjude laadimisavad varustada gaase väljatõmbava kummiga.
2. Eraldada sulatusagregaadid tsehhi teistest osakondadest.
3. Ehitada sulatusosakonda ja valuvormide valamise kohtadesse usaldatav juurdevoolu- ja väljatõmbeventilatsioon.
4. Rangelt kinni pidada töökaitse ja ohustustehnika kõikidest eeskirjadest, mis on ette nähtud spetsiaalsete tsehhiinstruktsioonidega.

VALATAVATE ALUMIINIUMISULAMITE KOOSTIS JA OMADUSED

ÜLDANDMEID

Puhas alumiinium on valge metall, mille erikaal on 2,70, sulamistemperatuur 660° C, soojusjuhtivus 0,3426 cal/cm sek °C. Alumiiniumi toodetakse elektrolüüsi teel. Saadud alumiinium sulatatakse ümber känkudeks, mis värvitakse vastavalt metalli puhtusele eri värvi.

Õhus oksüdeerub alumiinium peaaegu silmapilkselt ja kattub õhukese oksüüdikihiga, mis väldib ülejäänud metalli oksüdeerimist.

Puhtast alumiiniumist valandid ei ole kuigi tugevad, nad on lõiketeradega halvasti töödeldavad ning ei leia seetõttu vahetut kasutamist. Alumiiniumisulameid teiste elementidega kasutatakse aga rahvamajanduses laialdaselt, kuna nendel on rida eeliseid, näiteks kõrge eritugevus, või teisiti — mahuühiku kaalutugevus (tugevus jagatud erikaaluga), mis ei jää maha terase eritugevusest. Peale selle on need sulamid suure vastupidavusega korrosioonile, kõrge soojus- ja elektrijuhtivusega, hea vedelvoolavusega ning suhteliselt väikese kahanemisega ja väikese kalduvusega pragude moodustamisele. Need eelised võimaldavad valmistada alumiiniumisulamitest suhteliselt kergeid kõige keerulisemaid, tugevamaid ja tihedamaid valandeid. Seetõttu on alumiiniumisulamid teistest sulamitest eelistatumad, eriti lennukitööstuses.

Valatavate alumiiniumisulamite jagamine

Valatavad alumiiniumisulamid jagatakse viide gruppi:

1. Alumiiniumi-ränisulamid, mis sisaldavad üle 5% Si.

2. Alumiiniumi-magneesiumisulamid, mis sisaldavad üle 5% Mg.

3. Alumiiniumi-vasesulamid, mis sisaldavad üle 4% Cu.

4. Alumiiniumi-tsingisulamid, mis sisaldavad üle 5% Zn.

5. Keerulised alumiiniumisulamid, mis on mõeldud kõrgendatud temperatuuridel (200—300° C) töötavateks valanditeks.

Alumiiniumisulamitel räniga on tänu ränile — alumiiniumi taandajale — kõige paremad valuomadused. Saadavad valandid on tugevad ja tihedad ning kõrge korrosioonikindlusega nii õhus kui ka nõrgalt happelistes keskkondades. Sulam АЛ4 on selle grupi sulamitest kõige tugevam.

Alumiiniumisulamid magneesiumiga on halvema vedelvoolavusega kui eelmised, nad annavad valandites palju pragusid ning oksüdeeruvad vedelas olekus kiiresti, kuid neil on alumiiniumisulamitest kõige suurem korrosioonikindlus ja kõige väiksem erikaal.

Alumiiniumisulamitel vasega on alumiiniumoksüüdi juuresoleku tõttu halb vedelvoolavus (АЛ7 ja АЛ12), suur erikaal ja väike vastupidavus korrosioonile.

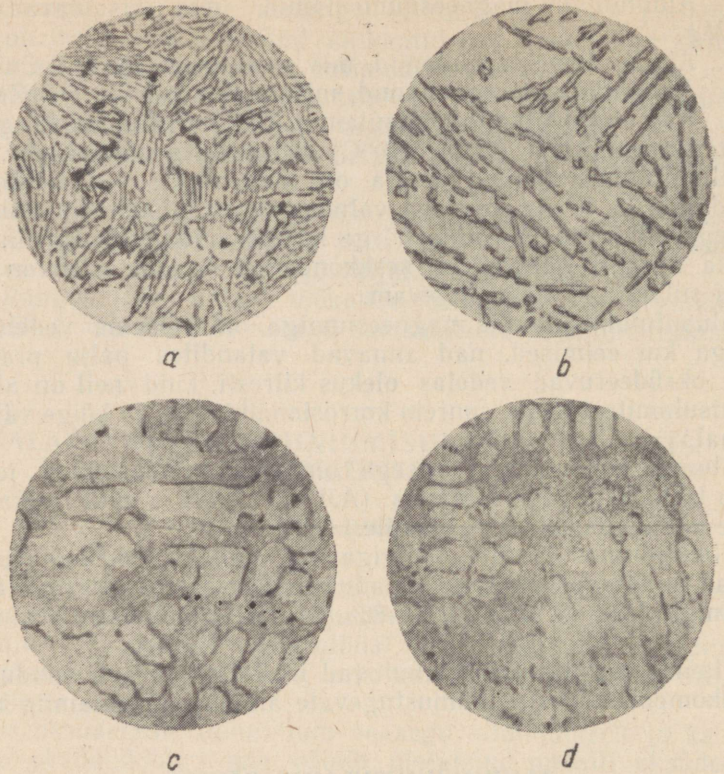
Alumiiniumisulamitel tsingiga on madal vedelvoolavus ja halvad antikorrosioonilised omadused, välja arvatud sulam tsingi ja räniga (10—12% Zn ja 6—8% Si), millel on head valuomadused.

Viienda grupi sulamid kuuluvad madalamate valuomadustega paljukomponendiliste kuumustugevate alumiiniumisulamite hulka.

ALUMIINIUMISULAMID RÄNIGA

Puhta räni erikaal on 2,4, sulamistemperatuur 1414° C ning soojusjuhtivus 0,155 cal/cm sek° C. Räni võib alumiiniumis lahustuda mitte üle 1,5—1,6% 577° C juures; sellel temperatuuril moodustubki eutektikum 11,6% Si-ga. Jahtumisel toatemperatuurini lahustuvus langeb kuni 0,10%-ni. Alumiiniumisulamitel räniga on tavalistes tingimustes jäme esmane tera ja madalad mehaanilised omadused. Temperatuuri alanedes eraldub räni lahustuvuse vähenemise tõttu alumiiniumist, soodustades gaaside neeldumist ja sageli ka pooride tekkimist, mis vähendavad tugevust ja plastilisust (sulam АЛ12).

Silumiini modifitseeritakse tera peenestamiseks 800—820° C juures seguga, mis koosneb $^2/_3$ osast NaF ja $^1/_3$ osast NCl või 730—750° C juures kolmikseguga, mis koosneb 62,5% NaCl, 12,5% KCl ja 25% NaF. Modifikaatoreid viiakse nii ühel kui ka teisel juhul sulamisse 2%-lises koguses sulametalli kaalust. Modifitseeritud sulami tugevus suureneb 25%, suhteline pikenemine aga kaks korda, võrreldes modifitseerimata sulamiga, mis sisaldab 7% ja üle selle räni. Modifitseeritud sulami struktuur peenestub (joon. 246). Kogu lihvi pind on kaetud alumiiniumi-



Joon. 246. Sulami АЛ2 mikrostruktuur:
a — modifitseerimata, 350x; *b* — modifitseeritud, 500x; *c* — modifitseeritud, 100x; *d* — liigselt modifitseeritud, 100x (I. F. Kolobnev).

dendriitidega ning nende vahel asuvate Al—Si eutektikumi pesadega.[1]

Silumiini АЛ4 mehaaniliste omaduste parandamiseks viiakse temasse räniga keemilist ühendit Mg_2Si andvat magneesiumi, mis on alumiiniumis lahustuv nagu ränigi. Kui hoida sulamit vanandamise temperatuuril, siis Mg_2Si langeb välja disperssel kujul ning silumiini tugevus suureneb 50% ja enam. Lisatava magneesiumi kogus peab vastama ränisisaldusele sulamis. Sulamile АЛ4 on vajalik lisada 0,7 kuni 0,3% Mg; sulamile АЛ9 — 0,25—0,40% ja sulamile АЛ5 — 0,3—0,5%. Kui magneesiumi sisaldus läheneb alumisele lahustuvuse piirile, siis tugevus väheneb, plastilisus aga suureneb, kui ülemisele piirile — siis vastupidi.

[1] И. Ф. Колобнев. Фасонное литье из алюминиевых сплавов. ВНИТОЛ, Машгиз, 1953.

Kaltsium, naatrium, kaalium ja liitium mõjuvad silumiinile negatiivselt, kui nende kogus sulamis on suurem modifitseerimisel vajalikust.

Tina mõjub veelgi halvemini, muutes valandi peale termilist töötlemist hapraks.

Raua lisamine silumiinile mõjub sulamile kahjulikult, kuna alandab järsult plastilisust.

Titaan ja tsirkoonium parandavad sulami plastilisust ja vähendavad esmast tera.

Raua kahjuliku mõju kompenseerimiseks silumiinis (sulam АЛ4, mis sisaldab 0,9% Si, 0,40% Mn ja 0,25% Mg) lisatakse mangaani, kroomi, niklit, vanaadiumi ja koobaltit. Sulami kuumustugevus nende lisandite tagajärjel suureneb.

Sulamist АЛ2 valandid termilist töötlemist ei nõua. Sulam АЛ5 on tugevuselt võrdne sulamiga АЛ4, kuid väiksema plastilisusega. Sulamist АЛ4 valanditel on kalduvus pooride moodustamiseks; seepärast asetatakse sellest sulamist valandid mõningatel vastutusrikastel juhtudel autoklaavi, kus nad peale valamist tarduvad 5—6 atü rõhu all (A. A. Botšvari ja A. G. Spasski uurimused). Sulamitest АЛ2 ja АЛ5 valandid tarduvad ilma nende paigutamiseta autoklaavi, kuna nad on vähempoorilised kui sulam АЛ4.

Sulamit АЛ5, mis sisaldab 5% Si, 1,2% Cu ja 0,5% Mg, kasutatakse koormatud masinaosade valamiseks. Keskmiselt koorma-

Tabel 73

Alumiiniumisulamite põhilised tehnoloogilised omadused

Sulami mark	Kristalliseerimistemperatuur °C	Valamistemperatuur °C	Joonkahanemine %	Vedelvoolavus 720 °C juures, spiraali pikkus mm	Märkused
АЛ1	630—540	720—770	1,35	375	Rafineeritud klooriga
АЛ2	590—570	680—780	0,90	820	Modifitseeritud
АЛ3	586—526	700—750	1,30	460	Rafineeritud klooriga
АЛ4	612—575	730—750	1,0	800	Modifitseeritud
АЛ5	578—540	690—720	1,10	750	Rafineeritud klooriga
АЛ6	578—540	690—730	1,20	650	Sama
АЛ7	630—540	720—750	1,30	400	—
АЛ8	530—449	640—700	1,30	420	Sulatatud räbustajate all
АЛ9	610—575	590—740	1,25	750	Rafineeritud klooriga
АЛ10	578—540	690—730	1,25	700	Rafineeritud klooriga
АЛ12	600—540	700—730	1,20	600	Sama
АЛ13	—	660—720	1,30	480	Sulatatud räbustajate all

Sulami mark	Keemiline koostis %-des (ülejääk alumiinium)					
	Si	Cu	Mg	Mn	Zn	Fe
АЛ1	(0,7)	3,7—4,5	1,25—1,75	1,75—2,25	(0,3)	(0,8)
АЛ2	10,0—13,0	—	—	—	—	(0,8)
АЛ3	4—6	1,5—3,5	0,2—0,8	0,2—0,8	(0,5)	(1)
АЛ4	8—10,5	(0,3)	0,17—0,3	0,25—0,5	(0,3)	(0,6)
АЛ5	4,5—5,5	1—1,5	0,35—0,6	0,5[3]	(0,3)	(0,7)
АЛ6	4,5—6	2—3	(0,1)	—	(0,3)	(1,3)
АЛ7	1,0	4—5	(0,03)	—	—	(1,0)
АЛ8	(0,3)	—	9,5—11,5	—	—	(0,3)
АЛ9	6,5—7,6	—	0,2—0,4	—	—	(0,6)
АЛ10	4,5—5,5	1,6—2,4	0,3—0,6	0,6—1,9	(0,3)	(0,6)
АЛ12	0,8—3	7—14	—	—	(1)	(1,3)
АЛ13	0,8—1,3	(0,1)	4,5—5,5	0,1—0,4	(0,2)	(0,5)

Märkused: 1) Sulgudes on toodud maksimaalne luba
3) Sulamile АЛ5 lisatakse mangaani sel juhul, kui ta tähistatakse eraldi valatud proovikehade katsetamise and proovikehade katseandmed.

tud detailidele soovitatakse kasutada sulamit АЛ9, millel on kõrged valu- ja mehaanilised omadused. Valandid allutatakse termilisele töötlemisele; autoklaavi nende tardumisprotsessis ei kasutata.

Alumiiniumi alusel saadud sulamite põhilised tehnoloogilised omadused I. F. Kolobnevi andmete alusel on toodud tabelis 73,

koostis ja mehaanilised omadused

Mehaanilised omadused						Sulami olukord
σ_b kg/mm²	σ_s kg/mm²	δ %	H_B	τ_{kesk} kg/mm²	E kg/mm²	
25*	20	0,5	120	—	7200	Karastatud ja vanandatud
20**	—	0,5	100	—	—	
18*	10	10	50	14	7200	Valatud ja modifitseeritud
20*	17	3	75	—	7200	Karastatud ja vanandatud
18**	—	2	65	—	—	
25*	20	4	70	—	7200	Karastatud, vanandatud ja modifitseeritud
23**	—	2	65	—	—	
22*	18	1—0,8	80	20	7200	Karastatud ja vanandatud
18**	—	—	70	—	—	
17*	11	3	50	14	7200	Valatud
15**	—	1,2	45	—	—	
22*	11	8	65	17	7200	Karastatud
18**	—	4	—	—	—	
30*	18	12	70	23	7200	
25**	—	5	—	—	—	
20*	12	5	—	—	—	Karastatud ja vanandatud
18**	10	4	55	—	—	
18**	10	4	55	—	—	Karastatud ja vanandatud
25*	20	1	90	—	7200	
20**	—	0,8	85	—	—	
14*	10	1	70	14	7200	
11**	—	0,5	50	—	—	Valatud
18*	—	4	65	—	—	
15**	—	1	55	2	—	

tud lisandi protsent. 2) Sulamil АЛ1 on näidatud niklisisaldus. sisaldab kõrgendatud protsendi rauda. 4) Ühe tähekesega * med; kahe tähekesega ** tähistatakse valanditest väljalõigatud

keemiline koostis ja tüüpilised mehaanilised näitajad — tabelis 74, ning soovitatav termiline töötlemine — tabelis 75.

Uurides andmeid, mis on esitatud tabelites 73, 74 ja 75, võib kergesti leida, et suure kristalliseerimis-vahemikuga (80—90° C) sulamitel, näiteks АЛ1, АЛ3, АЛ7, АЛ8 on kalduvus kuumpragude tekkimisele. Vastupidi, väikese kristalliseerimis-vahemikuga

Alumiiniumisulamist valandite soovitatavad termilise töötlemise viisid
(*I. F. Kolobnev*)

Sulami mark	Tinglik termilise töötlemise tähistusviis	Karastamine			Vanandamine ja noolutamine	
		Kuumutustemperatuur °C	Väljahoidmine tundides, mitte alla	Jahutav keskkond °C	Kuumutustemperatuur °C	Väljahoidmine tundides, mitte alla
АЛ1	Т 5	515±5	2—4	Vesi 50—100 või õhk	220±10	2—4
	Т 1	—	—	—	180±5	5
АЛ2	Т 6	515±5	4—6	Vesi 80—100	180±5	5
	Т 2	—	—	—	290±10	2—4
	Т 8	500±5	5—6	Vesi 50—100	330±5	3
	Т 1	—	—	—	175±5	15
АЛ4	Т 6	535^{+5}_{-10}	2—6	Vesi 50—100	175±5	15
	Т 1		—	—	180±5	15
АЛ5	Т 6	525±5	4	Vesi 50—100	180±5	5
	Т 5	525^{+5}_{-10}	4	Vesi 50—100	230±5	5
АЛ6	Т 2	—	—	—	290±10	3
АЛ7	Т 4	525±5	5—15	Vesi 80—100	—	—
АЛ8	Т 4	435±5	15—20	Vesi või õli 70—100	—	—
АЛ9	Т 4	535±5	12	Vesi 50—100	—	—
	Т 6	535±5	12	Vesi 50—100	150±5	1—3
АЛ10 (В9)	Т 5	525±5	4—6	Vesi 80—100	230±5	5

Märkused: 1. Väljahoidmise kestus on antud ilma ajata, mis on vajalik kuumutamiseks kuni karastustemperatuurini.
2. Jahutavaks keskkonnaks peale vanandamist või noolutamist on õhk.

(20—38° C) sulamid, nagu АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ6, АЛ9 ja АЛ10 on tihedad, kuid nende puhul tuleb ette näha väikesed valupead, et saavutada tihedat ehitust sõlmeliste paksenduskohtade keskel.

Silumiiniumi tootmisel on kõige tähtsamaks operatsiooniks modifitseerimine, mis koosneb järgmistest operatsioonidest:

1) modifikaatori (66,5% NaF + 33,5% NaCl) puistamine ühtlase kihina metalli pinnale; 2) soolade kihi all hoidmine; 3) räbu eemaldamine; 4) valamine.

Modifitseerimine kestab 800—820° C juures 30—40 minutit. J. A. Boom [1] töötas välja uue, progressiivsema modifitseerimise meetodi. Ta tegi ettepaneku kaksikmodifikaatori asemel kasutada kolmikmodifikaatorit, mis koosneb eraldi tiiglis 606° C juures sulatatud 25% NaF, 12,5% KCl ja 62,5% NaCl segust. Peenendatud modifikaatori puistamisel sulametalli pinnale tekib reaktsioon

$$3\,NaF + Al = AlF_3 + 3\,Na.$$

Alumiiniumfluoriid ühineb NaF üleliiaga ja moodustab krioliidi

$$3\,NaF + AlF_3 = 3\,NaF \cdot AlF_3.$$

Krioliit sulab 980° C juures ja moodustab tahke isoleeriva kihi, mis eraldab modifikaatori sulasilumiinist. Modifikaatori kontakti suurendamiseks vedela sulamiga, vastavalt A. A. Botšvari ja A. G. Spasski ettepanekule, raiutakse see kiht läbi. 6—7 minutit peale modifikaatori sulamist võib eemaldada soolad. Selleks et eemaldada modifikaatori jäägid, lisatakse metalli pinnale natuke naatriumfluoriidi: see kutsub esile modifikaatori paksenemise. Kui valamistemperatuur on 700—710° C, siis võib modifitseerida temperatuuril 720° C, selleks et omada väikest temperatuuritagavara tema alanemiseks modifitseerimise momendist kuni vormi valamiseni. Madalatemperatuuriline modifitseerimine hoiab ülekuumutatud metalli liigse oksüdeerimise ja vesinikuga rikastumise eest.

Silumiini gaasidest vabastamiseks töötas D. P. Lovtsov A. G. Spasski juhendamisel välja uue meetodi sulametalli töötlemiseks alalisvooluga. Vanni asetatakse grafiitelektroodid, milledest juhitakse läbi kuni 50 A vool pingega 80 V. Vesinik eraldub elektroodidel vabal kujul väikeste gaasimullidena ja metall hakkab «keema». Vanni ioniseerimiseks tuleb sinna lisada natuke naatriumfluoriidi. Valandid, mis on saadud sellisest metallist, on suure tihedusega ning peaaegu ilma poorideta.

ALUMIINIUMISULAMID MAGNEESIUMIGA

Magneesium on valge värvusega metall, erikaaluga 1,74. Magneesiumil on suur sugulus hapnikuga, millega ta moodustab üsna püsiva ühendi MgO isegi toatemperatuuril. Sulamagneesium

[1] Фасонное литье из алюминиевых сплавов. ВНИТОЛ, Машгиз, 1953, lk. 66.

põleb õhus ja nõuab eriliste ettevaatusabinõude kasutuselevõtmist, millel peatutakse allpool. Alumiiniumiga annab magneesium keemilise ühendi Mg_2Al.

Tehnikas leidsid kasutamist alumiiniumsulamid magneesiumiga: АЛ8 ja АЛ13 (vt. tabel 80). Mõlemal sulamil on kalduvus kuumpragude moodustamiseks ja nad nõuavad ettevaatusabinõude kasutuselevõtmist. Kumbagi sulamit ei modifitseerita. Sulamist АЛ 8 valanditel on peale karastamist kõrge tugevus ning plastilisus. Sulamil АЛ 13 on kõrge soojusjuhtivus — 0,30 cal/cm sek ° C, sulamil АЛ 8 aga 0,20 cal/cm sek ° C. Valandid saadakse hajutatud kahanemistühimikuga, mistõttu nad sageli ei ole hermeetilised. Mõlemaid sulameid valatakse muld- ja metallvormidesse ning surve all.

Sulamid АЛ 8 ja АЛ 13 paistavad silma kõrge vastupidavuse poolest korrosioonile.

Sulamitest АЛ 8 ja АЛ13 valandite tiheduse suurendamiseks soovitatakse sulametalli puhuda läbi klooriga, mis eemaldab lahustunud vesiniku. Kuna aga klooriaurud on mürgised, siis see tunduvalt piirab tema kasutamist.

Alumiiniumi-magneesiumisulameid sulatatakse räbustaja kihi all, mis koosneb 1 osast $CaCl_2$ ja 1 osast NaCl. Räbustajat antakse mitte üle 2% metalli kaalust. Mangaani lisatakse Al-Mn ligatuuri (8—10% Mn) näol, räni aga Al-Si ligatuurina (30—35% Si).

Rauast segajad ja lusikad värvitakse 10% vesiklaasist, 15% kriidist ja 75% veest segatud värviga ning peale seda kuumutatakse, et vältida raua lahustumist metallis. Sulatamise lõpul metall rafineeritakse räbustajaga, mis sisaldab 85% $CaCl_2$ ja 15% CaF_2.

Peale sulami puhastamist räbust raputatakse temale ühtlase kihina 1%-list sulatatud kaaliumtsirkoonfluoriidi K_2ZrF_6 pulbrit, metall segatakse ja peale sooladekihi eemaldamist valatakse vormidesse. Sulami АЛ 8 kuumutustemperatuur ei tohi olla kõrgem kui 720° C.

ALUMIINIUMISULAMID VASEGA

Alumiiniumisulamitel vasega (АЛ 7 ja АЛ 12) on suur kristalliseerimistemperatuuri vahemik ja nad annavad laialipillatud kahanemispoore. Seda tüüpi sulameid kasutatakse karburaatorikerede ja õhkjahutusega lennukimootorite detailide valamiseks.

Tänapäeva valutootmise tehnoloogia lubab saada alumiiniumisulameist valandeid, mille tugevus ja plastilisus ei jää maha süsinikterase omast, kuid kaalult on viimastest tunduvalt kergemad.

Seda tüüpi sulamite hulka kuuluvad АЛ 1, АЛ 10 ja teised.

ALUMIINIUMI ALUSEL SAADUD SULAMITE VALAMISE ISEÄRASUSI

Suuremal osal alumiiniumisulameist on gaasilise ja kahenemise päritoluga poorid, mis sunnib valajaid vormisegude koostamisel erilist tähelepanu pöörama nende gaaside eristatavusele.

VORMISEGUD

Alumiiniumvalandite mudelisegu koostatakse arvestusega, et alumiiniumisulamite jahtumiskiiruse suurendamiseks kasutatakse peamiselt märgi vorme. Detailide suhteliselt väike kaal lubab ilma riskita valada neid märgadesse vormidesse, mistõttu ainult erijuhtudel kasutatakse kuivi vorme.

Rebimisnähte tekkimise vältimiseks tuleb vormi tihendada ühtlaselt. Vormi tihendamine peab olema nõrk, et teradevahelised poorid võiksid kompenseerida vormimaterjali terade paisumise.

Tihendatud vormi pinnakihi gaasiläbitavus peab olema piirides 25—50. Märgade proovikehade survetugevus ei tohi ületada 0,25—0,40 kg/cm^2.

Valandi pinnal moodustub kiiresti raskestisulav tugev Al_2O_3-kile, mis ühest küljest hoiab ära gaaside tungimise vormist valandisse, teisest küljest aga takistab gaaside väljumist valandist. Seetõttu tuleb alumiiniumisulamid vabastada gaasidest sulatusprotsessi ajal, enne metalli valamist.

Tabelis 76 on toodud kärnisegude tüüpilised koostised alumiinium- ja magneesiumvalanditele.

KASUTATAVAD VALUKANALITE SÜSTEEMID

Kergete sulamite metalli ja räbu erikaalude väikese erinevuse tõttu on vajalik:

1) mitte lubada keeriste tekkimist valukanalite süsteemis; vastasel korral metall ja räbu segunevad;

2) võtta kasutusele abinõud räbu kinnihoidmiseks, mis satub valukanalite süsteemi, ette näha räbupüüdjad;

3) rangelt kindlustada suunatud tardumist.

Kergete sulamite valutsehhides kasutatakse kõige rohkem järgmist kolme valukanalite süsteemi:

a) alumine ehk sifoonne süsteem (joon. 247, *a*);

b) vertikaalne pilukujuline süsteem (joon. 247, *b*);

c) kombineeritud süsteem (joon. 247, *c*).

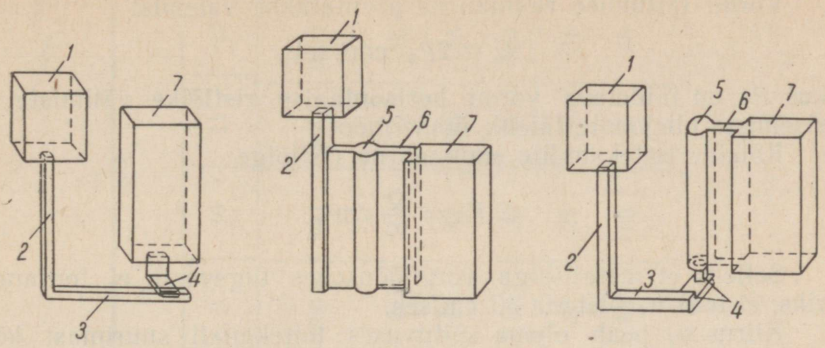
Läbi sifoonse valukanalite süsteemi valamisel satub metall kõige rahulikumalt vormi, kuid selle süsteemi juures kuumeneb vormi alumine osa, mis raskendab täpselt vormi kujule vastavate valandite saamist ja metalli suunatud tardumise teostamist.

Tabel 76

Alumiinium- ja magneesiumvalandite kärnisegude tüüpilised koostised
(*A. M. Ljass*)

Kärni klass	Segu koostis								Segu iseloomustus					
	Töötanud segu või kärnipuru	Segu teraline osa %			Sideained %-des segu teralise osa kaalust				Teralisus	Savisisaldus %-des	Gaasiläbitavus	Niiskus %-des	Tugevus kg/cm²	
		Värsked materjalid			Veevabad ained arvestatud grupi aluse kohta			Vett sisaldavad ained					survele märjalt	tõmbele kuivalt
		Kvartsliiv	Savi	Savine liiv	A-1	A-2	A-3	Sulfiitpiirituse praak, erik. 1,27						
I	—	100	—	—	0,6—1,2	—	—	—	50/100	Kuni 2	120	2—3	0,03—0,06	7,0
II	—	90	—	10	—	1,0—1,5	—	1,5—3,0*	50/100 70/140	3—5	90	3—4	0,06—0,10	5,0
III	—	80—85	—	15—20	—	—	1,5—2,5	2,0—3,0*	50/100 70/140	4—7	90	3—4	0,10—0,15	4,0
IV	0—30	50—60	—	40—50	—	—	Kuni 3,0	1,5—3,0*	50/100 70/140	6—8	70	4,0—5,0	0,15—0,25	2,0

* Magneesiumvalandite kärnidele — boorhapet 0,25—0,5% ja väävliõit 0,25—1,0%.



a *b* *c*

Joon. 247. Kergetest värvilistest sulamitest valandite valukanalite süsteemid: *a* — sifoonne või alumine süsteem; *b* — vertikaalne pilukujuline süsteem; *c* — kombineeritud süsteem; *1* — valukauss; *2* — püstkanal; *3* — kollektor; *4* — alumine toitekanal; *5* — kaev; *6* — vertikaalne pilukujuline toitekanal; *7* — valand.

Vertikaalne pilukujuline süsteem soodustab valandi kihilist täitumist, kuid samal ajal kindlustab valandi suunatud tardumise alumisest osast kuni valupeani. Kombineeritud süsteem mõnevõrra kõrvaldab sifoonse süsteemi puudused.

Valukanalite süsteemi arvutus

J. M. Notkin[1] soovitab valukanalite arvutamisel lähtuda metalli nivoo kriitlisest tõusukiirusest järgmise valemi järgi

$$v_{kr} = \frac{2}{R} \text{ cm/sek},$$

kus R on valukanali hüdrauliline raadius süsteemi kõige kitsamas kohas või teisiti — kanali ristlõikepinna suhe märgunud ümbermõõtu.

Õhukeseseinalistel ja suuregabariidilistel valanditel on

$$v_{kr} = \frac{4}{\delta} \text{ cm/sek},$$

kus δ on seinapaksus cm-tes.

Metalli liikumiskiiruse määramiseks toitekanalites kasutatakse valemit:

$$v_t = \frac{8{,}25}{R} \text{ cm/sek}.$$

[1] Фасонное литье из алюминиевых сплавов. ВНИТОЛ, Машгиз, 1953.

Vormi täitumise ruumkiirus arvutatakse valemist

$$Q = 2P_v \text{ cm}^3/\text{sek},$$

kus P_v on täidetava vormi horisontaalse ristlõike välimiste ja sisemiste piirjoonte täielik ümbermõõt.

Kõikide toitekanalite summaarne ristlõige

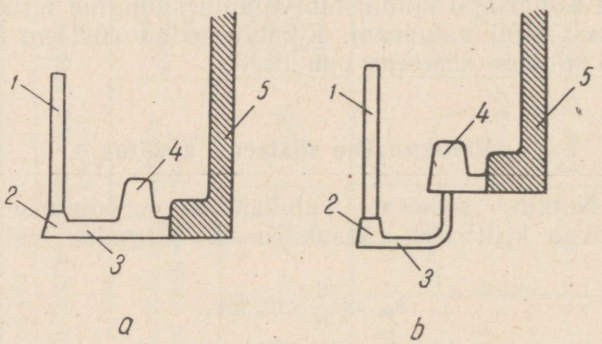
$$\Sigma F_t = \frac{Q}{v_t} \text{ cm}^2,$$

Selleks et metallijuga vormiõõnsuses tugevasti ei fontaneeriks, ei tohi v_t ületada 40 cm/sek.

Kiirus v_t peab olema sõltuvuses toitekanali suurimast kõrgusest:

v_t cm/sek	20	25	30	35	40
h_t mm	7,0	6,3	5,6	5,0	4,3

Metalli liikumiskiirus keeruliste fassongvalandite toitekanalites ei tohi ületada 30 cm/sek.



Joon. 248. Metalli juhtimine alumiiniumvalandi massiivsematesse osadesse külgmiste valupeade kaudu: *a* — lameda toitekanaliga; *b* — sarvekujulise toitekanaliga; *1* — püstkanal; *2* — kollektor; *3* — toitekanal; *4* — külgmine valupea; *5* — valand.

Sõlmeliste paksendustega valandil *5* juhitakse metall juurde külgmiste valupeade *4* kaudu (joon. 248). Sellistel juhtudel peab metalli liikumiskiirus toitekanalites olema 40 cm/sek. Toitekanalid tehakse fontaneerimise vähendamiseks vormi õõnsuse suunas laienevatena.

Selleks et räbuosakesed jõuaksid üles tõusta ja paigale jääda, peab räbupüüdjatel *2* (nad on ühtlasi ka kollektoriks) olema ristlõige, mis kindlustab metalli väikese liikumiskiiruse; samal ajal on vajalik vormi õõne kiire täitumine, et vältida sulami jahtumisel vajakvalu ja valuliiteid.

Räbupüüdjate ristlõige tehakse trapetsikujuline.

Tabel 77

Alumiiniumvalandite kollektorid

Iseloomustus	Kollektori number											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ruumikiirus cm^3/sek . .	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
Kollektori ristlõikepind cm^2	2,4	3,3	4,2	5,0	5,8	7,3	8,7	10,0	11,6	13,3	15,0	16,7
Ristlõike kõrgus mm . .	18	21	23,5	26	28	31	34	36,5	40	42	45	48
Alumine alus mm . . .	15	17,5	20	21,5	23	26	28,5	30,5	32,5	35	37	39
Ülemine alus mm . . .	12	14	16	17,5	18,5	21	23	24,5	26	28	30	31
Joa suurim kiirus cm/sek	42	45	48	50	53	55	58	60	60	60	60	60

Sõltuvalt arvutatud ruumkiirusest soovitab J. M. Notkin tabeli 77 alusel valida vastav kollektor.

Toitekanalite arv peab olema vastavuses nende omavahelise kaugusega, milleks on enam kui 30-kordne kollektori alumise aluse laius.

Püstkanali ristlõige määratakse valemist

$$\Sigma F_p = \frac{Q}{v_p},$$

kus Q on valukanalite süsteemi läbiva metalli ruumkiirus cm³/sek; v_p — suurim lubatud metallijoa kiirus püstkanalis cm/sek.

Suurus v_p määratakse katseliselt ja ei tohi alumiiniumvalanditel ületada 160 cm/sek ning magneesiumvalanditel 130 m/sek; kiiruse ületamisel hakkab metall vahutama ja valand läheb praaki.

Ümmarguse ja plaaditaolise kujuga püstkanalite ristlõige määratakse sõltuvalt joa kiirusest v_p püstkanalis.

Joa kiirus v_p cm/sek	100	110	120	130	140	150
Suurim püstkanali läbimõõt mm . .	30	27,0	25	23	21,5	20
Plaadikujulise püstkanali suurim paksus mm	15	13,8	12,5	11,5	10,8	10

Plaadikujulise ristlõikega püstkanali kaudu liigub metall rahulikumalt kui ümmarguse ühtlase ristlõike puhul, kuna esimese hüdrauliline raadius on väiksem.

Siugpüstkanal, mille keerdude kõikidel ristlõigetel on ühesugused mõõted (joon. 249), asetatakse kollektorile.

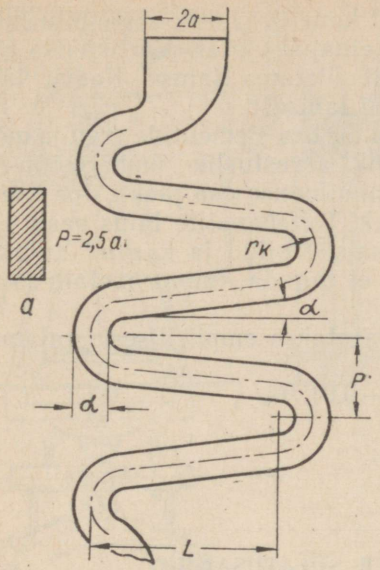
Tabelis 78 on toodud siugpüstkanalite mõõted.

Suuregabariidiliste valandite valmistamiseks, milledel kõrguse H suhe seinapaksusesse δ on 60, kasutatakse kombineeritud valukanalite süsteemi (joon. 250). Selle osa valukausist (kaasa arvatud sissejuhtivad kanalid) kuni vertikaalse kaevuni arvutatakse nagu sifoonne süsteem. Vertikaalse pilulise osa kaal ja mõõted arvutatakse valandi ja valupea summaarse kaalu järgi. Algul määratakse vertikaalse osa mõõted, misjärel asutakse süsteemi sifoonse osa ristlõike määramisele.

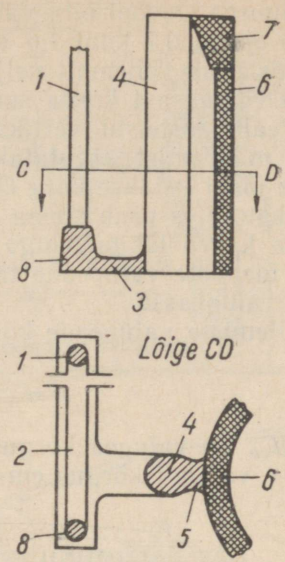
Kombineeritud süsteemi korral toimub suurima kulu arvutus tuntud valemiga

$$Q = 2 P_v;$$

seejuures kõikide vertikaalsete pilude summaarne laius ei tohi olla alla $\delta = 0{,}012 P_v$, kus P_v on valandi ristlõike täielik ümbermõõt cm-tes.



Joon. 249. Siugpüstkanal alumiiniumvalanditele.
Mõõted: $r_k = 2$ cm, poolkeeru samm $P=4,5$ cm; telgedevaheline kaugus laiuti (amplituud) $L=8$ cm.



Joon. 250. Valukanalite kombineeritud süsteemi skeem:
1 — püstkanal; *2* — kollektor; *3* — kaevu toitekanal; *4* — kaev; *5* — vertikaalne pilu; *6* — valand; *7* — valupea, *8* — tõusupea.

Siugpüstkanalite mõõted *Tabel 78*
(J. M. Notkin)

Püstkanali nr.	Suurim metalli kulu cm³/sek	Ristkülikukujulise ristlõikega püstkanali külgede mõõted		Siugpüstkanali pikkuse suhe suurimasse rõhku *H*
		a mm	*b* mm	
1	120	7	14,3	0,7 —0,75
1,5	180	8	19	0,7 —0,75
2	240	9	22,2	0,7—0,75
2,5	300	10	25,0	0,7 —0,75
3	360	11	27,3	0,7 —0,75
4	480	13	31	0,65—0,70
5	600	14	35,7	0,60—0,65
6	720	16	37,5	0,55—0,60
7	840	17	41,2	0,55—0,60
8	960	18	44,4	0,5 —0,55
9	1080	19	47,4	0,5 —0,55
10	1200	20	50	0,5 —0,55

Märkus. Ülejäänud mõõted: kanalitelje kõrvalekaldumise amplituud $L=8$ cm; kõveruse raadius v_k—2 cm; poolkeeru samm $P=4,5$ cm.

Suurus Q võib olla vähendatud kuni $Q = 1{,}5\,P_v$. Iga pilu laius peab olema 0,7 kuni 1,0 valandi seinapaksusest. Vertikaalse pilu pikkus peab vähemalt neljakordselt ületama laiuse. Kaevu läbimõõt võetakse 4 korda suurem pilu laiusest.

Peale süsteemi vertikaalse pilulise osa elementide arvu ja mõõdete määramist arvutatakse täielik arvestuslik ümbermõõt P_v, mille järgi leitakse kulu Q süsteemi sifoonse osa jaoks. Joa kiirus toitekanalites peab olema 40 cm/sek. Toitekanalite laius peab võrduma kaevu läbimõõduga. Vertikaalsed pilud ja kaevud tulevad viia ülemiste valupeade tasemeni, et tagada kuuma metalli andmist valupeasse.

Ülemiste valupeade kõrgus määratakse empiirilisest valamist

$$h_{vp} = 1{,}1\,H_v - 0{,}01\,H^2_v\ ,$$

kus h_{vp} on valupea kõrgus cm-tes;
H_v — valandi kõrgus cm-tes.

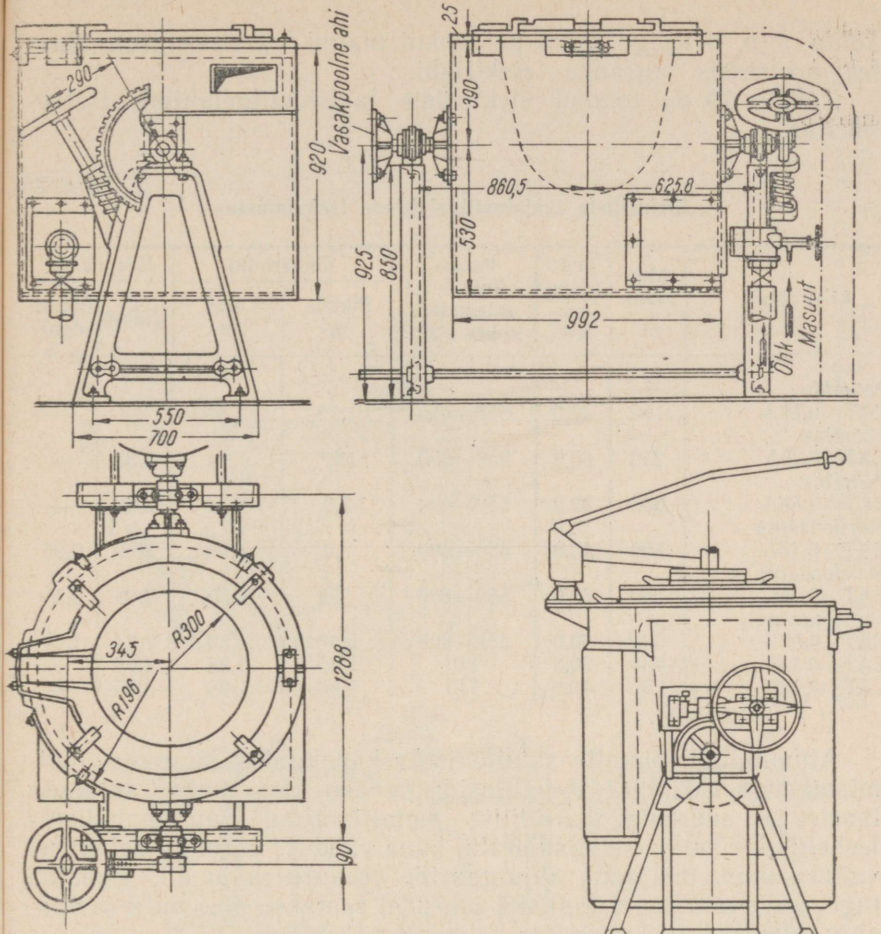
ALUMIINIUMISULAMITE SULATUSAHJUD

Alumiiniumisulameid sulatatakse tiigel- ja leekahjudes, elektrilistes takistusahjudes ja metallsüdamikuga induktsioonahjudes.

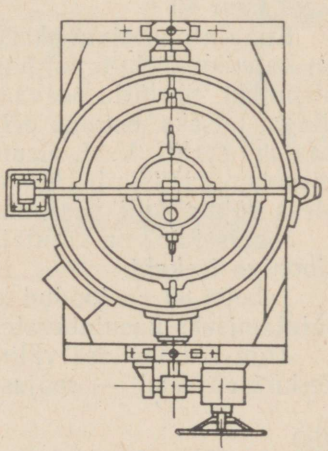
Tiigelahjusid kasutatakse väikese tootmismahuga valutsehhides. Tiigelahje köetakse koksi, masuudi või gaasiga. Ajakohasemates konstruktsioonides kuumutatakse tiiglit elektrivooluga. Tiiglid valmistatakse grafiidist ja malmist. Grafiittiigleid kasutatakse raskestisulavate sulamite valmistamiseks. Selleks et tiigli raud ei läheks üle alumiiniumisulamisse, vooderdatakse tiigli sisepinnad õhukese segukihiga, mis koosneb 6 osast kvartsliivast, 3 osast tulekindlast savist ja 1 osast vesiklaasist või 6 osast kroommagnesiidi pulbrist, 2 osast tulekindlast savist, 1 osast grafiidist ja 1 osast vesiklaasist. Tugeva oksüdeerimise vältimiseks oksüdeeriva leegi mõjul tiigli välisosa alliteeritakse.

Malmtiiglite maht on 150 kuni 300 kg. Sulatuskestus on 50—70 minutit. Joonisel 251 on toodud pööratava tiigelahju skeem, milles kasutatakse malmtiiglit. Leegi liikumine ahjus toimub kruvijoont mööda. Need ahjud võivad olla sulatamiseks ja jagamiseks. Metalli põlemiskadu tiigelahjudes on võrdlemisi väike. Ahjud tootlikkusega 120—150 kg/tunnis tarvitavad kütust 30—40 kg/tunnis.

Alumiiniumisulamite ümbersulatamiseks kasutatakse laialdaselt pööratavaid elektritiigelahjusid CAT (joon. 252). Ahju kuumutamiseks kasutatakse nikroom- või kromaalküttekehi. CAT ahjude maht on 0,15; 0,25 ja 0,5 t. Metalli põlemiskadu nendes ahjudes on väike. Elektrienergia kulu on võrdlemisi suur ja moodustab 550—600 kWh 1 t metalli kohta. Metalli kuumutamiseks seda tüüpi jaotusahjudes kulutatakse 100—120 kWh 1 t metalli



Joon. 251. Malmtiigliga pööratav ahi.



Joon. 252. Pööratav elektritiigelahi CAT.

kohta, s. o. peaaegu sama palju, kui malmi kuumutamiseks dupleks-protsessis vagranka—elektriahi.

Tabelis 79 on toodud elektriliste takistustiigelahjude iseloomustus.

Tabel 79

Elektriliste takistustiigelahjude iseloomustus

Ahju tüüp	Ahju maht kg	Trafo võimsus kW	Voolukulu 1 t sulametalli kohta kWh	Gabariidid		Kõrgus m	
				Pikkus m	Laius m	Üldine	Põrandani
Pööratav CAT—0,15A	150	40,0	550—600	1,75	1,34	2,3	—
Pööratav CAT—0,25A	250	60,0	550—600	1,87	1,44	2,38	—
Pööratav CAT—0,50A	500	80,0	550—600	2,0	1,59	2,62	—
Statsionaarne CAT—0,15Б	150	40,0	550—600	2,0	1,20	2,09	0,96
Statsionaarne CAT—0,25Б	250	60,0	550—600	2,2	1,30	2,05	0,76
Statsionaarne CAT—0,50Б	500	80,0	550—600	2,43	1,50	2,34	1,04
CAT—0,15B	150	30,0	110	1,50	1,38	1,05	—
CAT—0,25B	250	40,0	110	1,50	1,38	1,05	—

Alumiiniumisulamite sulatamiseks kasutatakse suurema tootmismahuga tsehhides leekahjusid; nendes võib ümber sulatada laaste ja suuremagabariidilist metallimurdu. Suuremahulistes leekahjudes sulameid ei sulatata, kuna väikeste vormide valamisel valmissulam, mis asub ahju-gaaside veeauru mõju all, rikastub tugevasti vesinikuga. Sellistel juhtudel seatakse üles mitu jaotusahju, kus metalli kaitstakse kaitseräbustajatega.

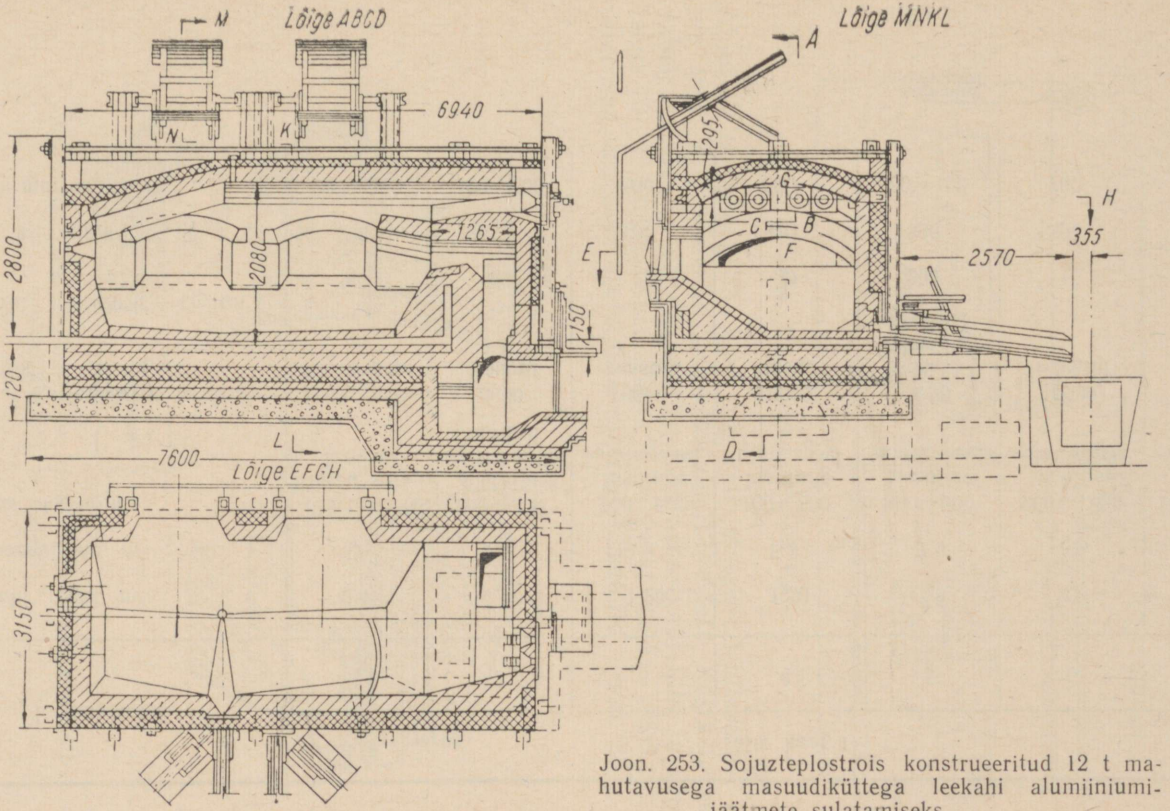
Lähtudes nendest kaalutlustest, ehitatakse masuudiga köetavaid leekahje tavaliselt mahutavusega 1 kuni 15 t ning mõnikord isegi kuni 40 t.

Kuna alumiinium oksüdeerub kiiresti ja taandub raskelt, siis on hapniku ülehulk ahjugaasides sama kahjulik nagu vesiniku ülehulkki. Seetõttu peavad leekahjud esiteks töötama vähima õhuliiaga, teiseks, omama eelpõlemiskambrit, et tööruumis oleks ülekaalus (prof. V. J. Grum-Gržimailo väljenduse järgi) «tsementiitimis-palavus» ja kolmandaks, et väljuvate gaaside soojus oleks võimalikult paremini rekuperaatorites ära kasutatud.

Joonisel 253 on kujutatud 12-tonnine Sojuzteplostroi konstruktsiooniga leekahi.

Tabelis 80 on toodud alumiiniumijäätmete ja -laastude ümbersulatamiseks kasutatavate leekahjude üldandmed.

Ahju alumise osa välimised read laotakse punasest tellisest, keskmised read — soojustisoleerivast ja sisemine vanni vooder-



Joon. 253. Sojuzteplostrois konstrueeritud 12 t mahutavusega masuudiküttega leekahi alumiiniumijäätmete sulatamiseks.

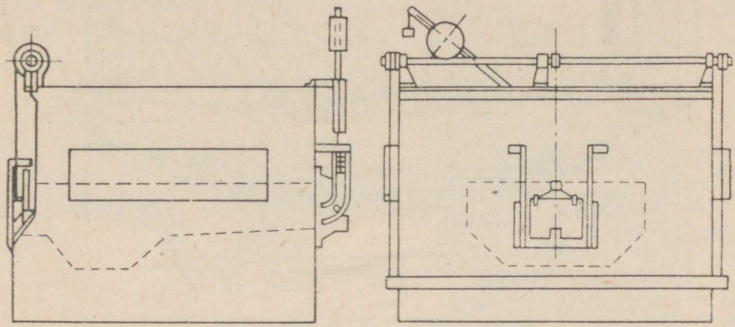
Tabel 80

Alumiiniumisulamite sulatamise ning -laastude ja -jäätmete ümbersulatamise leekahjude iseloomustus

Iseloomustus	Täite kaal t						
	1	2	3	4	5	6	7
Sulametalli maht m^3	0,45	0,80	1,20	1,50	2,8	4,0	5,0
Vanni peegelpind m^2	3,0	3,5	4,2	5,3	7,0	8,5	10,8
Tootlikkus kg/tunnis	400 metalli-murru sula-tamisel	700—800 metalli-murru sula-tamisel	500—600 laastude sulatamisel	700—800 laastude sulatamisel	800—900 laastude sulatamisel	900—1000 laastude sulatamisel	1000—1250 laastude sulatamisel
Kütus ja kütteväärtus kcal/m^3 või kcal/kg	1100, gene-raatorgaas	10000, masuut	10000, masuut	10000, masuut	2780, Moskva-lähedane kivisüsi	10000, masuut	10000, masuut
Kütusekulu m^3/tunnis, kg/tun-nis	49	90	75	60	200	115	144
Õhukulu m^3/tunnis	590	1000	1100	1270	1380	1520	1730
Õhu rõhk mm vs	200—300	400—500	500	500	80—100	700	800

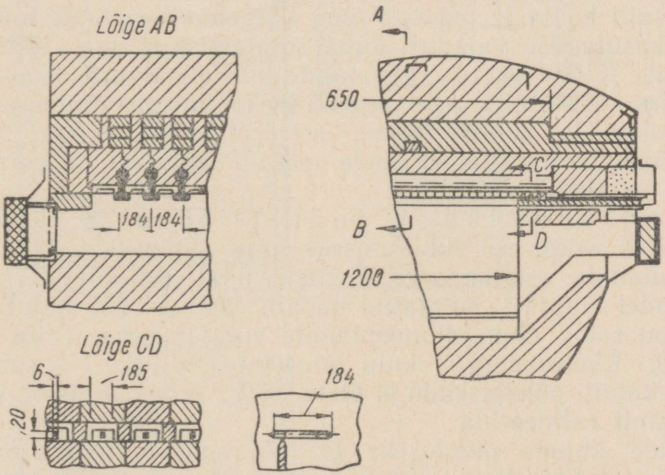
duskiht — tulekindlast kivist. Põranda vastupidavus on parim kroommagnesiit- ja magnesiitkivide korral.

CAK-0,15 ja CAK-0,25 tüüpi jaotusahjud ehitatakse statsionaarsetena. Ahju kuumutatakse takistusküttеelementidega.



Joon. 254. Takistusjaotusahi CAK.

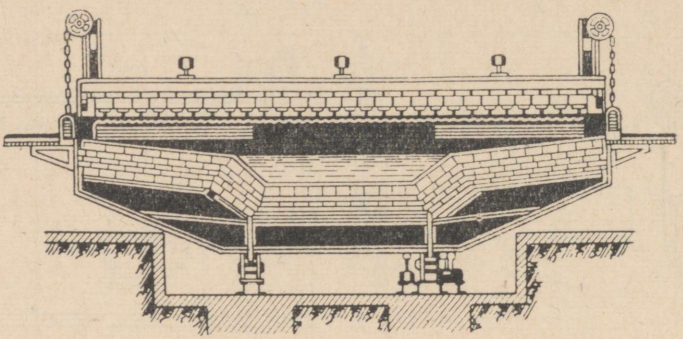
Ahjul on neljanurgeline kest, mis valmistatakse lehtterasest (joonis 254). Ahju sisemus laotakse šamott-kividest. Kesta ja kivide vahele asetatakse soojusisolatsiooniks asbestpapi kiht ja raputatakse 40—45 mm paksuse kihina infusoorset mulda. Võlvi tehakse õnarused, millesse asetatakse takistuselemendid (joon. 255).



Joon. 255. Takistuselementide kinnitus ahju võlvis alumiiniumisulamite sulatamisel.

Peaaegu analoogiliselt on ehitatud ahi CAH, mis on pööratavat tüüpi, poolsilindrikujulise kestaga ning võlviga kaetud (joon. 256). Valmismetalli väljalaskmisel kallutatakse ahju elekt-

rimootori ja reduktoriga. Ahjus on kaks sulatuskambrit, mis paiknevad äärtel, kuna keskel on metallivastuvõtja. Põrand ja eelkambrid vooderdatakse massiga, mis koosneb 65% jahvatatud šamotist, 35% savist ja 3--5% vesiklaasist.



Joon. 256. Takistusahi CAH.

Küttekehi toidetakse 380 või 220 V kolmefaasilise vahelduvvooluga. Küttekehade temperatuur on 1000° C.

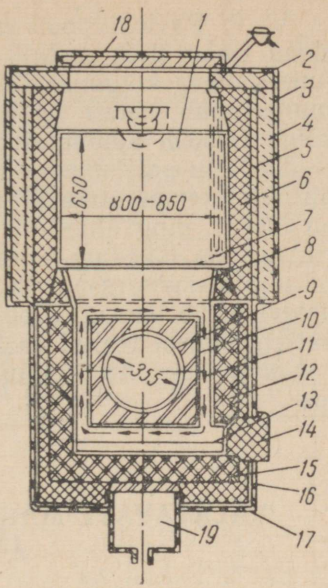
Ahjudes CAK ja CAH sulatamisel metall ei rikastu vesinikuga, sest ahju tööruum on isoleeritud niiskest õhust. Metalli põlemiskadu ahjudes on väike ega ületa 1—1,5%.

Nende ahjude puuduseks on müürituse kuivatamise suur kestus peale remonti, kõrge elektrienergia kulu — 500—700 kWh 1 t sulametalli kohta ja puhaste ning kõrgekvaliteediliste täitematerjalide kasutamise vajadus, kuna sulatamist ei saa küttekehade riknemise tõttu teostada räbustajate kihi all. Suurte tehaste valutsehhides kasutatakse neid ahjusid leekahjudega. Viimastes metall sulatatakse ja rafineeritakse, seejärel antakse aga CAK- või CAH-tüüpi jaotusahju, et hoida metalli temperatuur vormi valamiseks vajalikul kõrgusel.

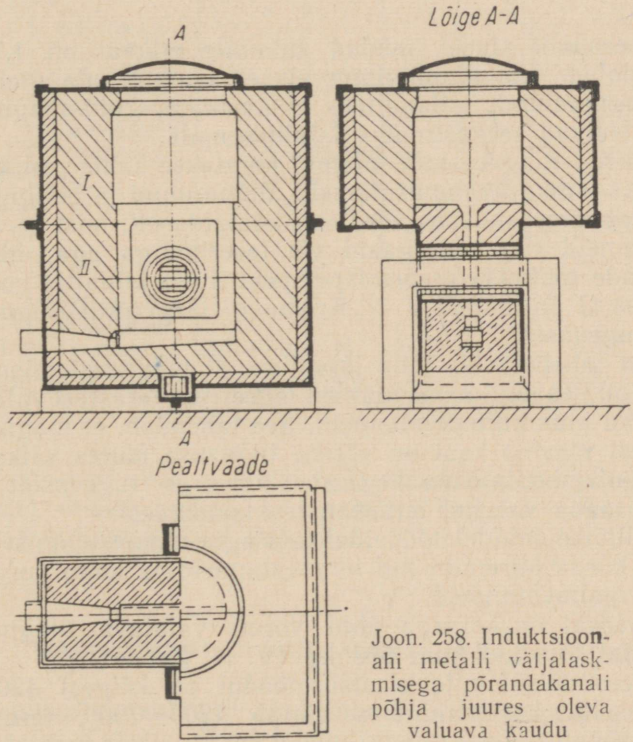
Raudsüdamikuga induktsioonahje kasutatakse pronksi ja valgevase sulatamiseks ning viimasel ajal ka alumiiniumisulamite sulatamiseks. Transformaatori sekundaarmähiseks on nendel ahjudel sulatatud metall. Joonisel 257 kujutatud ahi ИЛО on sobiv alumiiniumisulamite sulatamiseks. Täite kaal on 500 kg. Elektrienergia kulu on 400—500 kWh 1 t sulametalli kohta. Metalli põlemiskadu ei ületa 0,5%. Selles ahjus on võimalik ka sulamit rafineerida.

Nende ahjude puuduseks on põrandakivi valmistamise ja remontimise keerulisus, vajadus olla eriti ettevaatlik ahju laadimisel, et mitte vigastada põrandakivi, alumiiniumoksüüdidega ummistuvate kanalite puhastamise keerulisus, põrandakivi sage vigastamine, mida on raske vältida ja rida teisi.

Ahju tootlikkus on ligikaudu 300 kg/tunnis, sulatuskanali ristlõige 80×100 mm.



Joon. 257. Induktsioonahi ИЛО-0,5 alumiiniumisulamite sulatamiseks:
1 — ahju kasulik osa; *2* — kaanealune šamottkivi, *3* — ahju kest; *4* — soojusisolatsioon; *5* — šamottmass; *6* — šamottmüüritis; *7* — ahju põranda nivoo; *8* — kanali osa; *9* — asbest-tsemendist silinder; *10* — auk transformaatori jaoks; *11* — vertikaalne sulatuskanali osa; *12* — tihendatud tulekindel mass; *13* — räbu setteruum; *14* — kork setteruumi puhastamiseks; *15* — asbest-tsemendist plaat; *16* — vanni soojusisolatsioon; *17* — ahju vanni kest; *18* — ahju kaas; *19* — ahju transformaatori pesa.



Joon. 258. Induktsioonahi metalli väljalaskmisega põrandakanali põhja juures oleva valuava kaudu (V. P. Pavlov).

V. P. Pavlovi poolt on esitatud induktsioonahju konstruktsioon (joon. 258) metalli väljalaskmisega põrandakanalite põhja juures oleva külgmise valuava kaudu. Sellise väljalaskmise viisi juures uhub metall vertikaalseid kanaleid. Metalli võetakse ahju kõige rohkem kuumutatud kanalitest.

Seetõttu pole nimetatud ahjudes tarvis metalli üle kuumutada nii kõrge temperatuurini, nagu ahjudes, kus metalli väljalaskeava on üleval, ning alumiiniumisulamit võib välja lasta temperatuuril, mis on lähedane vormi valamise temperatuurile. Ahi ehitatakse statsionaarsena, ilma kallutusvõimaluseta, mistõttu põrandakivi püsib kauem. Ülemise kaane hermeetilisus tekitab sulatise väljalaskmisel teatud vaakuumi, mis on vajalik metalli gaasidest vabastamiseks. Ahju ehituse lihtsus tagab täielikult tema töökindluse.

VALATAVATE MAGNEESIUMISULAMITE KOOSTIS JA OMADUSED

ÜLDANDMEID

Magneesiumi alusel saadud sulamite erikaal on 1,78—1,86, s. t. madalam, kui alumiiniumi alusel saadud sulamitel. Puhtal kujul magneesiumit valanditeks ei kasutata, kuid magneesiumisulamid levivad seevastu üha laialdasemalt.

Valatavad magneesiumisulamid jagatakse kahte gruppi, milledest ühte — magneesiumisulameid alumiiniumi ja tsingiga, kasutatakse rahvamajanduses võrdlemisi laialdaselt, teist — magneesiumisulameid räni, mangaani või tseeriumiga aga harvemini, ehkki nende tootmise arenemisperspektiiv on küllaltki soodus.

Tabelis 81 on toodud V. N. Krõmovi [1] järgi mitmesuguste sulamite eritugevused.

Sellest tabelist võib teha järelduse, et magneesiumisulamitest valandid on peaaegu samaväärsed legeeritud terastest valanditega ja ületavad alumiiniumivalandeid. See tähendab, et magneesiumivalanditest masina kaal on võrdse tugevuse juures väiksem alumiiniumisulamist masina kaalust, kusjuures tugevuselt ei jää valandid maha valatud teraskonstruktsioonidest.

Metallilõikepinkidel töödeldakse magneesiumisulamist valandeid viis korda kiiremini kui terasvalandeid ja kolm korda kiiremini kui malmvalandeid.

Tänapäeval on korraga ühte vormi valatava magneesiumisulami kaal tõusnud kuni 500 kg (V. N. Krõmov).

Magneesiumisulamite elastsusmoodul on kõigest 4200—4500 kg/mm^2, sellal kui malmil ta ulatab 7200—7900, terasel aga

[1] «Литейное производство», 1951, nr. 4, lk. 26.

Terase, magneesiumi- ja alumiiniumisulamite eritugevus
(V. N. Krõmov)

Sulami mark	Sulami nimetus ja olukord	Erikaal γ g/cm³	Mehaanilised näitajad: Tõmbetugevus σ_b kg/mm²	Väsimustugevus σ_{-1} kg/mm²	Löögitugevus a_K kgm/cm²	Eritugevus: tõmbetugevus $\frac{\sigma_b}{\gamma}$	väsimustugevus $\frac{\sigma_{-1}}{\gamma}$	löögitugevus $\frac{a_K}{\gamma}$
	Magneesiumisulamid							
	Valatud ning termiliselt							
МЛ4	töödeldud	18	21—25	7,5	0,5	11,5—11,3	4,2	0,3
МЛ5	Sama	1,8	21—26	7,5	0,5	11,5—14,4	4,2	0,3
	Alumiiniumisulamid							
	Valatud ning termiliselt							
АЛ4	töödeldud	2,65	23—26	10	0,5	8,7—10,0	3,8	0,2
АЛ5	Sama	2,67	20—22	10	0,2	7,5— 8,3	3,8	0,1
АЛ9	„	2,66	18—20	4,5	—	6,8— 7,5	1,7	—
	Teras							
	Karastatud ja noolutatud							
40Г2Л	valandid	7,75—7,85	75	11,5	2,5	9,5	4,0	0,3
30ХГСАЛ	Sama	7,75—7,85	100	11,5	2,5	13,0	4,0	0,3

21 000 kg/mm². See ei ole magneesiumisulamite puuduseks, vaid ennemini eeliseks, kuna nad seetõttu taluvad terasest paremini löök- ja vibratsioonilist koormust.

MAGNEESIUMISULAMID ALUMIINIUMI JA TSINGIGA

Magneesiumisulamid alumiiniumi ja tsingiga ei erine mitmekesisusega. Tabelis 82 on toodud magneesiumisulamite tüüpilised keemilised koostised ning tabelis 83 mehaanilised näitajad.

Tabel 82

Valatavate alumiiniumi ja tsingiga magneesiumisulamite keemiline koostis
(V. N. Krõmov)

Sulami mark	Valamise viis	Põhikomponendid %-des				Lisandid %-des, mitte üle			
		Al	Zn	Mn	Mg	Si	Cu	Fe	Kokku lisandeid
МЛ3	Muldvormid	2,5—3,5	0,5—1,5	0,15—0,5	Jääk	0,25	0,15	0,15	0,60
МЛ4	Sama	5—7	2—3	0,15—0,5	„	0,25	0,15	0,15	0,60
МЛ5	Muld-ning metallvormid ja rõhu all	7,5—9,3	0,2—0,8	0,15—0,5	„	0,25	0,15	0,15	0,60
МЛ6	Muld- ja metallvormid	9—11	Kuni 2,0	0,15—0,5	„	0,25	0,15	0,15	0,60

Tabel 83

Muldvormi valatud alumiiniumi ja tsingiga magneesiumisulamite mehaanilised omadused
(V. N. Krõmov)

Sulami mark	Termiline töötlemine	Mehaanilised omadused ГОСТ 2856-46 järgi (mitte alla)			Tüüpilised näitajad		
		σ_b kg/mm²	δ_5 %	H_B	σ_b kg/mm²	δ_5 %	H_B
МЛ3	—	16	6	40	18	8	45
МЛ4	—	16	3	50	16—18	4—5	50—55
	Karastatud	21	4	50	25—26	8—10	50—55
	Karastatud ja vanandatud	22	2	60	25—26	3—5	60—65
МЛ5	Karastatud	21	4	50	26—27	8—10	50—55
	Karastatud ja vanandatud	22	2	65	26—27	3—4	65—70
МЛ6	Karastatud ja vanandatud	21	1	65	26—27	2—3	75—80

Sulamit МЛ5 kasutatakse kõige rohkem. Mehaaniliste omaduste parandamiseks kasutatakse kahte termilise töötlemise viisi — karastamist ja karastamist järgneva vanandamisega. Peale karas-

tamist ja vanandamist voolavuspiir tõuseb. Sulam МЛ5 on kõige suurema tugevusega.

Sulamil МЛ4 on head mehaanilised, kuid halvad tehnoloogilised omadused.

Magneesiumisulamitest võib valmistada auto või traktori peaülekande kartereid, kiirusekasti kartereid, raudteevagunite piduritrumleid, supordeid, rataste kettaid, käepidemeid, konsoole ja konkse, raiumisvasarate ja kantavate suruõhutööriistade keresid ning, lõpuks, laiatarbekaupu nagu uksekäepidemeid, lukke, klambertooteid ja muud [1]. Laialt kasutatakse magneesiumvalandeid lennukiehituses.

Metallilise magneesiumi tootmise toorainetagavarad on üsna suured. Maakera mitmesugustes kohtades leidub palju magneesiumi sisaldavaid mineraale — karnaliiti, dolomiiti ja magnesiiti. See avab laiad võimalused magneesiumdetailide kasutamiseks.

MAGNEESIUMISULAMID RÄNI JA MANGAANIGA

Magneesiumisulamid räniga (МЛ1 — 1,0—1,5% Si) ja mangaaniga (МЛ2 — 1,0—2,0% Mn) ei ole leidnud laialdast kasutamist, kuna nende sulamistemperatuur on kõrgem, tugevus aga ei ületa alumiiniumi ja tsingiga sulamite tugevust. Magneesiumisulameid lantaniididega kasutatakse reaktiivlennukiehituses [2].

Magneesiumisulamite kuumustugevus 250—270° C juures on kõrgem kui alumiiniumisulamitel. Temperatuuri tõusmisel magneesiumi tugevus väheneb, plastilisus aga suureneb.

MAGNEESIUMI ALUSEL SAADUD SULAMITE VALAMISE ISEÄRASUSI

ÜLDANDMEID

Magneesiumisulamitest valandite tootmine erineb teistest sulamitest valandite tootmisest hapniku suurema neeldumisega. Magneesiumi valamisel tavalisse vormi põleb magneesium mõne minuti jooksul ja muutub magneesiumoksüüdi valgeks pulbriks. Teiseks vedelate magneesiumisulamite iseärasuseks on nende kergus (magneesium on poolteist korda kergem alumiiniumisulamitest). Vorme, milles vormisegu on tihendatud tugevuseni 0,2—0,22 kg/cm², sulamagneesium ei «aja lõhki». Magneesiumisulamitel on kõrgetel temperatuuridel madal tugevus, mistõttu magneesiumvalandites tekivad takistatud kahanemisel kuumpraod

[1] В. Н. Крымов. Цветное литье. ВНИТОЛ, Машгиз, 1954, lk. 8—20
[2] М. В. Шаров. Литье магниевых сплавов. ВНИТОЛ, Оборонгиз, 1952.

seda sagedamini, mida suurem on sulami kristalliseerimisvahemik.

Magneesiumisulam, mis sisaldab 9% Al, kristalliseerub ligikaudu 160° C juures, magneesiumisulam 3,5% Zn lisandiga — 275° C juures, järelikult nende valandite kalduvus kuumpragude moodustamisele on veelgi suurem.

VORMI VALMISTAMISE ISEÄRASUSI

Muldvormid kuumenevad vedela magneesiumisulamiga kokkupuutumisel väikese sügavuseni (ligikaudu 10 mm) ning võrdlemisi aeglaselt. Seetõttu magneesiumvalu juures intensiivset gaaside eraldumist vormidest ei märgata. Segude gaasiläbitavus ligikaudu 30 on täiesti lubatav.

Sulamagneesiumi suur sugulus hapnikuga teeb eriti keeruliseks metalliga ümberkäimise sulatamise ja valamise ajal. Selleks, et ära hoida magneesiumi põlemist vormis, tuleb viimase voodrikihti viia erilisi aineid: väävlit, boorhapet ja fluoriühendeid, mis tekitavad neutraalsete gaaside kihi ning väldivad sellega valandi kokkupuutumist hapnikuga. Lisaks õeldulé moodustavad nad ka valandil endal kaitsekile. Fluoriühendid ja väävel halvendavad tugevasti valajate töö hügieenilisi tingimusi, mis kohustab otsima abinõusid nende puuduste vältimiseks.

Vormisegusse võib lisada selliseid aineid, mis suurendavad vormi soojusjuhtivust ja kiirendavad valandi tardumist. Siis võib läbi saada ilma fluoriühendite lisamiseta, kuna magneesium nendes tingimustes ei põle.

Kuivade vormide segusse lisatakse 4 kuni 7% väävliõit ja 0,5—1,0% boorhapet. Segu niiskusesisaldus on 3—4%, gaasiläbitavus 30—40, märgtugevus 0,3 kg/cm², savisisaldus 7—10%. Täiteseguks kasutatakse 100%-liselt töötanud segu.

VALUKANALITE SÜSTEEMID

Magneesiumisulamite valukanalite süsteemid ei erine peaaegu millegagi alumiiniumvalu süsteemidest. Joonisel 259 on näidatud valandi kuju vertikaalse pilukujulise valukanali korral. Ülemist metalli juurdevoolu ei kasutata ja ei lubata.

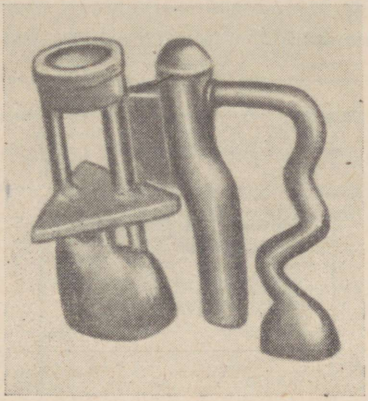
Magneesiumvalu korral kasutatakse märgi kärne ja märgi vormiosi.

Vormi valamine peab toimuma sulametalli rahuliku, ilma keeristeta juurdevooluga. Valukausid peavad olema mahukad, et nendesse sattuv räbu ei läheks püstkanalisse ja valandisse.

Kahanemispäritoluga poorilisuse kõrvaldamiseks tuleb kiirendada valandi tardumist, püüda saavutada selgeilmelist suunatud

tardumist, kasutada välimisi jahutajaid, õieti juurde juhtida metalli ja mitte valada vormi tugevasti ülekuumutatud sulamit.

Sulami põlemise vältimiseks pritsitakse kärnid ja vormid üle 20%-lise fluorilahusega koos vormi järgneva kuivatamisega.



Joon. 259. Magneesiumisulamist valand vertikaalse pilukujulise valukanali ja siugpüstkanaliga.

MAGNEESIUMISULAMITE SULATAMINE

Magneesiumil on hapnikuga suurem sugulus kui alumiiniumil, ränil, mangaanil, tsingil ja teistel, kuid väiksem kui berülliumil ja kaltsiumil. Oksüüdikiled ei kaitse metalli põlemise eest, kuna magneesiumoksüüd moodustab poorilise kihi, millest hapnik vabalt tungib läbi sulametalli pinnani. Vask ja nikkel kiirendavad, tseerium, lantaan ja berüllium aga aeglustavad magneesiumi oksüdeerimist. Oksüdeerimist kiirendavad veeaurud, kuna süsihape ja vääveldioksüüd (SO_2) vastupidi aeglustavad ja peaaegu katkestavad sulamagneesiumi oksüdeerimise.

Sulami kaitsmiseks kasutatakse laialdaselt kaht meetodit: a) soolaga katmist, mis mõjub sulamagneesiumile mitte ainult kaitsvalt, vaid ka rafineerivalt; b) vähese koguse berülliumi lisamist, mis takistab teatud temperatuuril sulamagneesiumi süttimist [1].

Katteräbustaja sulamistemperatuur peab olema madalam magneesiumisulami sulamistemperatuurist. Katteräbustaja peab olema voolav ja mitte segunema sulametalliga. Peale rafineerimist räbustaja peab paksenema ja moodustama tahke kooriku.

[1] С. М. Воронов. Литье магниевых сплавов. ВНИТОЛ, Оборонгиз, 1952, lk. 96.

Tabelis 84 on toodud räbustajate koostised magneesiumisulamite sulatamiseks statsionaarsete tiiglitega ahjudes.

Räbustaja nr. 1 on võrdlemisi kallis. Karnaliiträbustaja on liiga voolav ja eraldub halvasti metallist.

Tabel 84

Räbustajad magneesiumisulamite sulatamiseks statsionaarse tiigliga ahjudes
(V. N. Krõmov)

Räbustaja koostis	Kasutamisala	Märkusi
60% $MgCl_2$ 40% NaCl	Sulami valmistamiseks fassongvalule. Jäätmete ümbersulatamiseks. Räbutiigel.	
40—48% $MgCl_2$ 34—40% KCl 7—8% $BaCl_2$ 3—4% CaF_2 6% ($CaCl_2$+NaCl)	Sama	Keskmise voolavusega ja sitkusega Rafineerib sulamit hästi
34% $MgCl_2$ 35% KCl 9% $BaCl_2$ 2% CaF_2	Sama	Sama
43% $MgCl_2$ 33% KCl (Sulatatud karnaliit)	Laastude ümbersulatamiseks, räbutiigel	Sama
60% $MgCl_2$ 35% KCl 5% CaF_2	Puhta magneesiumi ning jäätmete ja laastude ümbersulatamiseks	Väga voolav ja kergelt sulav; väikese erikaaluga

Räbustaja nr. 2 ei ole defitsiitne; teda koostatakse Solikamski karnaliidist. Kloorbaarium tõstab tema erikaalu. Kaltsiumfluoriid suurendab viskoossust. See räbustaja on kõrge rafineeriva aktiivsusega, puhastab sulamit hästi oksüüdidest ja on ise kergesti eraldatav metalli pinnalt.

Laastude ümbersulatamiseks ja räbustajana koppade ja teiste sulatustööriistade läbipesemiseks räbutiiglis kasutatakse räbustajat nr. 4 — sulatatud karnaliiti, mis on looduslikuks saaduseks ja kõige odavam kõikidest räbustajatest.

Magneesiumisulamite ümbersulatamiseks väljavõetavates tiiglites kasutatakse räbustajaid, mis on toodud tabelis 85.

Põrandaräbu ja sulatatud karnaliiti ei saa kasutada räbusta-

jatena magneesiumisulamite sulatamisel väljavõetavates tiiglites, kuna nad ei moodusta tihedat koorikut. Kõige rohkem kasutatakse väljavõetavates tiiglites sulatamisel räbustajat nr. 3.

Tabel 85

Magneesiumisulamite sulatamiseks kasutatavad räbustajad väljavõetava tiigliga ahjudes
(V. N. Krõmov)

Räbu koostis	Märkused
60% $MgCl_2$ 40% NaCl	Kaltsiumfluoriidi lisatakse katteräbustajasse eraldi peale metalli rafineerimist koguses 5—10% aluselisest räbust
27,6—31,9% $MgCl_2$ 27,1—29,5% KCl 20,5—24,1% CaF_2 4,9—6,7% $CaCl_2$ 4,3—7,5% NaCl 4,6—5,9% MgO 0,9—5,0% H_2O	Kasutatakse rafineerimiseks ja katmiseks
34—40% $MgCl_2$ 30—36% KCl 15—20% CaF_2 7—10% MgO	Kasutatakse sulami sulatamisel ja ülekuumutamisel. Moodustab tiheda kooriku, mis on valamisel kergesti kõrvaldatav
50% $MgCl_2$ 20% KCl 15% CaF_2 15% MgO	Kasutatakse sulatamisel, rafineerimisel ja sulami ülekuumutamisel

MAGNEESIUMISULAMITE SULATAMISE SEADMED

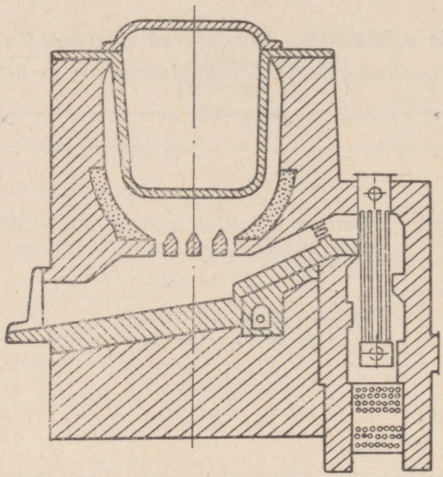
Magneesiumoksüüd, millel on aluselised omadused, räbustab šamotist ja diinasest ahjuvoodri ränimulla happelised oksüüdid. Aluselise voodriga ahjus on katteräbustajad vähemagressiivsed. Terasest tiigel peab vastu 50 kuni 120 magneesiumisulami sulatust.

Joonisel 260 on toodud masuudiga köetava tiigelahju ehitus.

Magneesiumi sulatamise eeliseks räbustajate all tiiglis on metalli kokkupuutumatus voodri niiskusega, õhu hapnikuga ja ahjugaasidega. Täide asetatakse tiiglisse ning kaetakse ühtlasi räbustajaga, millega edaspidi kaetakse esimesed sulametalli kogused. Tiigel suletakse hermeetiliselt kaanega.

Alumiinium ja tsink viiakse tiiglisse vahetult. Raua kahjuliku mõju neutraliseerimiseks lisatakse vähesel hulgal mangaani mangaan-alumiiniumligatuuri kujul. Kui sulamisse on vaja viia kuni

2% Mn, siis lisatakse seda soolana $MgCl_2$, peale sulami temperatuuri tõusmist 780—800° C-ni. Kui on vajalik legeerida magneesiumisulamit tsirkooniumiga, siis lisatakse seda $ZrCl_4$ või naatriumtsirkoonfluoriidi kujul.



Joon. 260. Sulatusahi magneesiumi sulatamiseks 90 kuni 250 kg mahutavusega terastiiglis.

Berülliumi lisatakse väheses koguses — 0,02 kuni 0,01%. Berülliumi kasutamisel pole katteräbustajat tarvis ning samuti langeb ära vajadus magneesiumijoa tolmutamiseks väävlipulbriga.

S. M. Voronov soovitas lisada berülliumi naatriumberülliumfluoriidi kujul või peenestatud kloorberülliumi pulbri ja metallilise magneesiumi pressitud seguna.

Alumiiniumi-magneesiumisulami esmase tera peenestamiseks töötasid A. A. Botšvar ja S. I. Spektorov välja meetodi sulami töötlemiseks mitmesuguste süsinikku sisaldavate ainetega. Parimaks nendest osutus peenestatud marmor ($CaCO_3$), mille viimine sulamisse МЛ5 soodustas tugevuse tõusmist kuni 27,5 kg/mm² ja suhtelise pikenemise suurenemist kuni 11,3%-ni, kui lisatav kogus oli 0,3% sulami kaalust, ning $MgCO_3$—0,52%. Sulami temperatuur ei tohi ületada 800° C.

Tsingi-magneesiumisulamile mõjub kloor nõrgalt. Tunduvalt mõjutab tera peenestamist 0,5—0,7% Zr lisamine. Ilma alumiiniumita, kuid tsingi ja 3% Zr olemasolul tekib kõrgete mehaaniliste omadustega peeneteraline sulam.

Magneesiumisulamite sulatamisel statsionaarses tiiglis tuleb kinni pidada järgmistest reeglitest:

1. Enne metalli võtmist pestakse lusikat tiiglis räbustajaga, ja

pöörates teda põhjaga üles, koputatakse räbustaja jääkidest vastu seina puhtaks.

2. Metalli võtmisel lükata tiiglis olev räbustaja lusika-lauaga eemale.

3. Võtnud terve lusikatäie metalli, valada seda mõningal määral tiiglisse.

4. Vormi valades ei valata kogu metalli välja, vaid jäetakse natuke lusikasse, mis valatakse metallvormi.

5. Katkestada metalli laialivalamine, kui tiiglisse on jäänud 50—60 kg metalli, kuna metalli võtmisel võib lusikasse sattuda räbustajat ja räbu.

Kui metall hakkab lusikas põlema, siis räbustajatega seda kustutada ei tohi. Sellisel juhul tuleb kasutada väävliõit või selle segu boorhappega.

Sulamite sulatamisel väljavõetavas tiiglis tuleb kinni pidada järgmistest reeglitest:

1. Rafineerimise ajal puhastada tiigli seinad ja tila räbustajatest ja oksüüdidest.

2. Kui sulami pikaajalisel väljahoidmisel kõrgetel temperatuuridel räbust koorik muutub hapraks ja hakkab pudenema, siis tuleb ta roobiga eemaldada ja valmistada uus räbu.

3. Kui räbust koorik muutub ebatihedaks, siis tuleb teda tolmutada kaltsiumfluoriidiga.

4. Tiigli väljavõtmisel ahjust võib koorik seinte küljest lahti tulla ning metall süttida. Põlev metall tuleb kustutada boorhappe ja väävliõie seguga.

5. Enne vormi valamist tuleb tiigli tila hoolikalt puhastada räbustajatest ja oksüüdidest.

6. Vormi valamisel tuleb metalli räbukate lükata tiigli tagumise seina juurde ja kallutades tiigli tila, alustada valamist, üheaegselt hoides räbukoorikut roobiga.

7. Ühe vormi valamise lõpetamisel ei ole soovitav muuta tiigli asendit (asetada teda vertikaalselt), vaid tuleb jatkata teise ja järgmiste vormide valamist sellest asendist, millises lõpetati eelmise vormi valamine.

8. Tingimata tolmutada voolavat metallijuga boorhappe ja väävliõie seguga.

9. Tiiglist ei tohi valada metalli ja räbustajate jääke vormi, vaid need tuleb valada metallvormi. Jäägiks loetakse 10—15% üldisest metalli hulgast tiiglis.

MAGNEESIUMISULAMITE KAITSMINE KORROSIOONI EEST

Magneesiumisulamid alluvad vees, neutraalsete soolade lahustes ja mineraalsetes hapetes korrosioonilisele purunemisele, kusjuures eraldub vesinik. Magneesiumisulamid moodustavad kõrgemate kroomoksüüdide, molübdeeni ja permanganaadi hapete

lahustes passiveerivaid kilesid, mis on vastupidavad aluselistele lahustele. Korrosiooni eest kaitsmiseks puhastatakse magneesiumisulamid lisanditest, mis alandavad vastupidavust korrosioonile, või töödeldakse lisanditega, mis kõrgendavad vastupidavust korrosioonile. Valandid kaetakse lakiga või oksüüdikihtidega.

Eriti kahjulikeks lisanditeks, mis suurendavad valandite korrosioonilist purunemist, on vask, nikkel ja raud. Magneesiumisulamites rauasisalduse vähendamine 0,4 kuni 0,04%-ni suurendab korrosioonilist vastupidavust keedusoola lahuses mitu korda, samuti aga vastupidavust niiskes atmosfääris. Mangaan suurendab vastupidavust korrosioonile merevees.

Magneesiumisulamist valandid puhastatakse liivaga, keedetakse soodalahuses, pestakse ja peale seda oksüdeeritakse 70—80° C juures vannis, mis koosneb lämmastikhappest (erikaal 1,4) 120 g/l, kaaliumdikromaadist $K_2Cr_2O_7$ — 40—50 g/l ja kloorammooniumist NH_4Cl — 0,75—1,25 g/l.

Vannis hoitakse valandeid 15 sek. kuni 2 min., misjärel neid pestakse külmas ja kuumas vees ning kuivatatakse.

Elektrokeemiliselt oksüdeeritakse vannis, mis koosneb kaaliumdikromaadist (100 g/l) ja naatriumdihüdrofosfaadist NaH_2PO_4 (50 g/l), alalisvooluga 1,5—2 A/dm², 5—6 V, temperatuuril 50—55° C 30—40 min. jooksul raudkatoodidega [1].

Kile ei tohi olla hõre, nii et metall sellest läbi paistaks.

Oksüüdikiled kaetakse kolmekordse lakikihiga, näiteks krunditakse lakiga АЛГ-1, teine kord lakiga АЛГ-5, misjärel emailitakse.

Magneesiumitolm, mis koguneb magneesiumvalandite puhastamise osakondades, on plahvatusohtlik. Seetõttu tuleb puhastusosakondades:

1) sagedamini eemaldada tolmu;

2) varustada käiad eri tolmuimemise ja -püüdmise süsteemidega;

3) varustada ruumid üldise tugeva juurdevoolu-väljatõmbe ventilatsiooniga.

4) kõik tööpingiosad, mis võivad põhjustada sädemete tekkimist ja magneesiumitolmu plahvatust, varjata värvilisest metallist lehtedega, mis ei anna sädemeid.

5) põrandad katta riffelkummist tahvlitega.

---

[1] М. А. Тимонова. Литье магниевых сплавов. ВНИТОЛ, Оборонгиз, 1952, lk. 250.

SPETSIAALSED VALAMISMEETODID

VALU METALLVORMIDESSE (KOKILLVALU)

Valu metallvormidesse on üheks kõige progressiivsemaks valutootmise meetodiks, mis võimaldab järsult tõsta tootlikkust ning parandada valandite mehaanilisi omadusi, töö sanitaar-hügieenilisi tingimusi jne.

Metallvormidest saadud valandite töötlemisvaru (mehaaniliseks töötlemiseks) on minimaalne, sest et sulametalli rõhul vorm ei «paisu».

Metallvormidesse valamisel langeb ära vormimine, mistõttu kokillvalu töömahukus on väiksem kui valul muldvormidesse. Valandite väljalöömisel ei teki tolmu ja seetõttu on töö hügieenilised tingimused tunduvalt paremad. Märkimisväärselt kergeneb ka valupuhastajate töö, kuna kraadide hulk valanditel väheneb. Metallvormide konstruktiivne vormistamine on väga mitmekesine ja sõltub valandi kujust, valatavast metallist, tootmise iseloomust, ekspluatatsioonilistest tingimustest, milles hakkab töötama valatud detail jne.

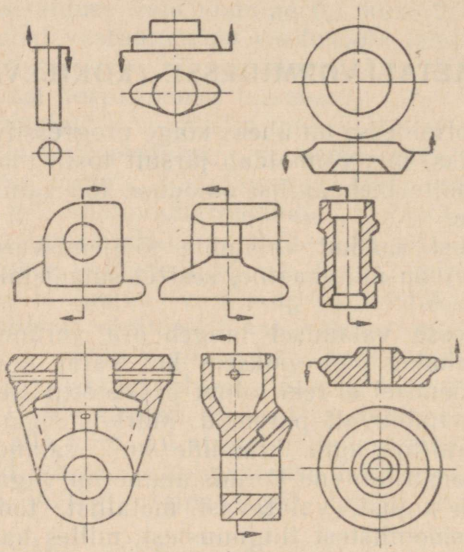
Küsimus ühe või teise detaili valamisest ühekordsete vormide asemel metallvormides tuleb igal konkreetsel juhul otsustada eraldi, lähtudes tellimuse täitmise tingimustest: seeria- või masstootmine, täitmise tähtaeg, valandi tehnoloogilisus, metalli iseloom jne.

Valandid, mis viiakse üle valamiseks metallvormidesse, peavad vastama järgmistele tingimustele: a) olema võimalikult lihtsa väliskujuga; b) ei tohi olla suure arvu väljaulatuvate osadega, mis takistaksid vaba kahanemist vormis kuni väljalöömiseni; c) ei tohi olla teravaid üleminekuid paksematelt osadelt õhematele; d) olema optimaalse seinapaksusega (lähtudes sellest, et seinapaksusel on oma kriitiline suurus, mida ületades seina tugevus väheneb); e) metallvormi välis- ja sisenurkade ümardusraadiused ei tohi olla väiksemad kui 3 mm; f) omama nõutavaid valukaldeid (mitte alla 1°, sisemised metallkärnid aga mitte alla 6°)[1], et kergendada valandi väljavõtmist vormist.

Sõltuvalt eralduspinna asetusest jagunevad metallvormid järgmistesse liikidesse:

[1] Н. П. Дубинин. Производство кокильного литья, Машгиз, 1947, lk. 8.

1) tervik- ehk väljaraputatavad;
2) vertikaalse eralduspinnaga;
3) horisontaalse eralduspinnaga;
4) kaldse eralduspinnaga;
5) poolmetega, mis võivad olla kujundatud kas vertikaalse, horisontaalse või kaldse pöörlemisteljega.



Joon. 261. Valandite tüüpilised eraldusjooned metallvormis.

Joonisel 261 on näidatud metallvormide tüüpilised eraldusjooned. Valandi mõõdete tolerantsid on toodud tabelis 86.

Malmvalandite vaba kahanemiseks võib võtta 1,2%. Valandite kasv lõõmutamisel — 0,6%.

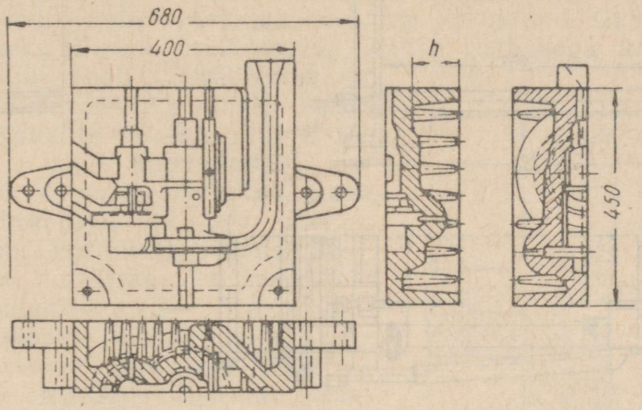
Tabel 86

Metallvormides toodetud malmvalandite tolerantsid
(N. P. Dubinin)

Valandite mõõted mm	Suurim kõrvalekaldumine mm	
	Klassid	
	I	II
Kuni 25	±0,3	±0,5
25—40	±0,4	±0,6
40—100	±0,5	±0,8—1,0
100—250	±0,6—0,8	±1,0—1,2
250—500	±1,0—1,2	±1,2—1,4
500—1500	±1,2	±1,5

Tänapäeval valatakse metallvormides värvilistest sulamitest, malmist ja terasest detaile. Metallvormide kasutamine võtab üha suurema ulatuse seeria- ja masstootmises.

Valu tehnoloogiline protsess metallvormides langeb ühte ühekordsete vormide valu tehnoloogilise protsessiga, erinedes viimasest mõnede spetsiifiliste iseärasuste poolest, mis on tingitud nii vormi materjali omaduste kui ka valandi tardumise erinevusest.

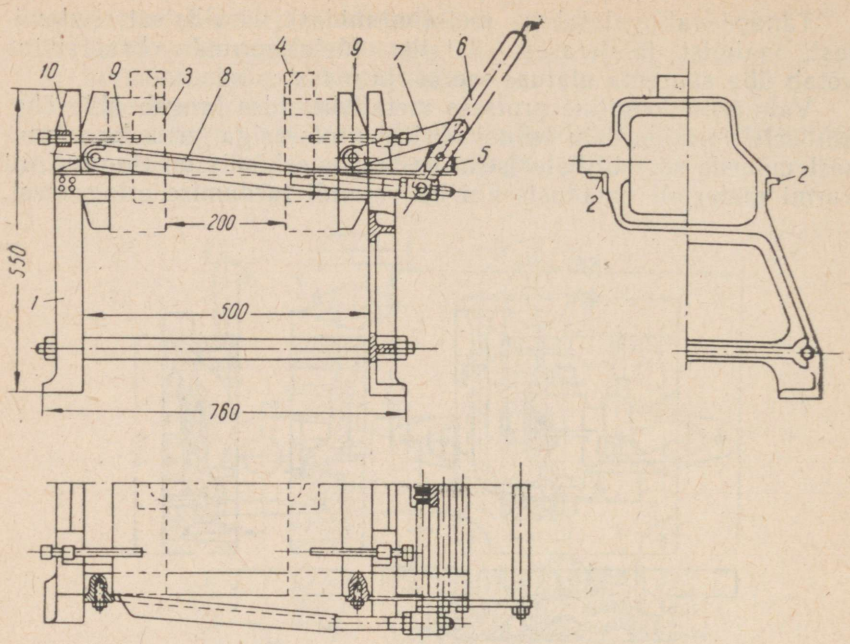


Joon. 262. Vertikaalse eralduspinnaga ning jahutus-nõelribidega metallvorm.

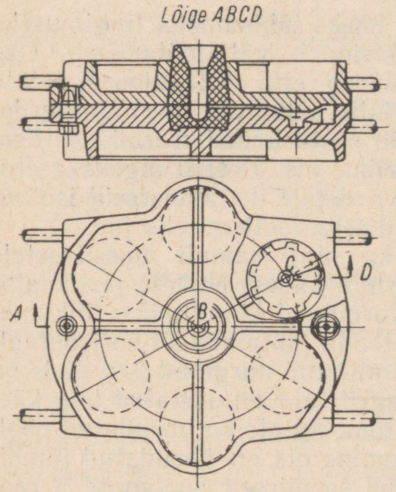
Detaili asetuse valik vormis on üheks tähtsamaks tingimuseks metallvormi ratsionaalse konstruktsiooni väljatöötamisel. Üks või teine detaili asetus vormis määrab ette eraldusjoone, seinte koonilisuse, kärnide arvu ja materjali, sulatatud metalli juurdejuhtimise koha, tõusu- ja valupeade asetuskohad, vormi ventileerimise viisi, vormi temperatuurirežiimi jne. Detaili õigeks asetuseks tuleb hoolikalt uurida valatava detaili karakteerseid iseärasusi, määrata baaspinnad mehaaniliseks töötlemiseks jne.

Valanditele kaaluga kuni 50 kg ning samuti massiivsetele valanditele valmistatakse metallvormid kahest poolest vertikaalse eralduspinnaga (joon. 262). Üks vormipool kinnitatakse liikumatult valumasinale, teine võib aga liikuda juhtpindadel horisontaalsuunas (joon. 263). Alusele *1* on kinnitatud nurgikud *2*, millele on asetatud vormipooled *3* ja *4*. Laagritele *5* on asetatud telg käepidemega *6* ja tõmbikuga *7*. Teine tõmbiku ots on ühendatud poolvormi *4* raamiga. Käepideme *6* alumine ots on ühendatud tõmbikuga *8*, mille lõpposa on kinnitatud šarniirselt poolvormi *3* raamile.

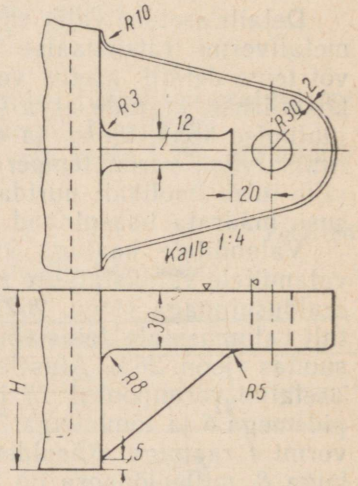
Käepideme *6* pööramisel paremale libisevad vormipooled nurgikutel *2* erinevas suunas. See liikumine toimub peale vormi valamist, kui valand on juba tardunud. Vorm liigutatakse laiali ja



Joon. 263. Pink metallvormi koostamiseks, valamiseks ja lahtivõtmiseks (N. P. Dubinin ja M. V. Tšunajev).



Joon. 264. Horisontaalse eraldus-pinnaga kuue põrkhammasratta valandi metallvorm (N. P. Dubinin ja M. V. Tšunajev).

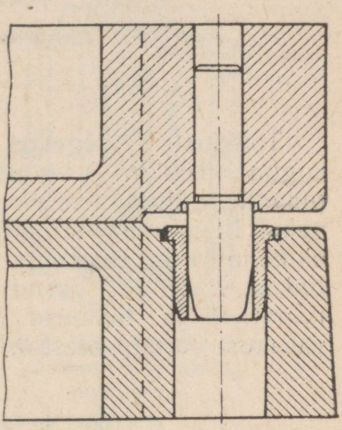


Joon. 265. Nukid poolmetallvormi kinnitamiseks pingi otstoele.

valand eemaldatakse temast tõukurite *9* abil. Tõukurite väljumist reguleeritakse mutriga *10*.

Joonisel 264 on näidatud horisontaalse eralduspinnaga kuuekohaline vorm põrkhammasrataste valamiseks. Vormi keskele on asetatud muldkärn püstkanali ja valukoonuse jaoks. Õhk tõrjutakse vormist välja vormi eralduspinnal asuvate peenikeste «niidikujuliste» tõusupeade kaudu.

Metallvormi poolte kokkupuutepind peab olema võimalikult väike, milleks eralduspinnale tehakse spetsiaalsed süvendid ja väljalõiked. Vormi välispinnale tehakse jäikusribid. Gaaside ärajuhtimiseks tehakse eralduspinda sellise ristlõikega kanalid, et sulametalli poolt väljatõrjutav õhk võiks vormiõõnest vabalt eemalduda. Kanalite ristlõikepind ei tohi ületada 1 mm², kuna vastasel korral nad täituvad metalliga. Kanalite vahekaugus ei tohi ületada 3—5 mm. Vormiõõne ülemisse ossa («lakke») puuritakse õhu äravooluks avad läbimõõduga 2—2,5 mm.



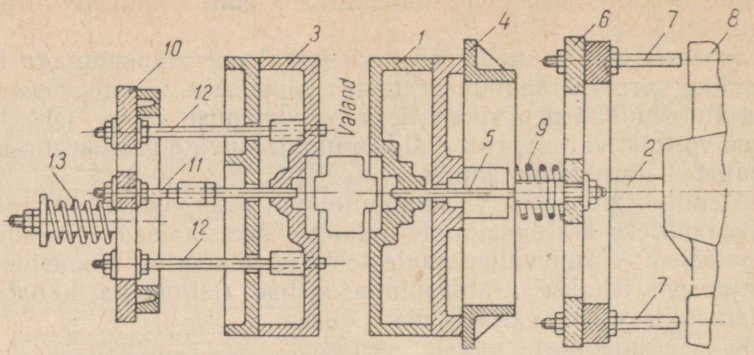
Joon. 266. Vormipoolte tsentreerimine sissepressitud puksi ja tihvti abil.

Vertikaalse eralduspinnaga metallpoolvormi kinnitamine pingi otstoele või viimasele kinnitatud vormiplaadile toimub poldiavadega nuki abil (joon. 265).

Kui augu kaugus on vormi äärest üle 50 mm, siis peab nukil olema jäikusribi.

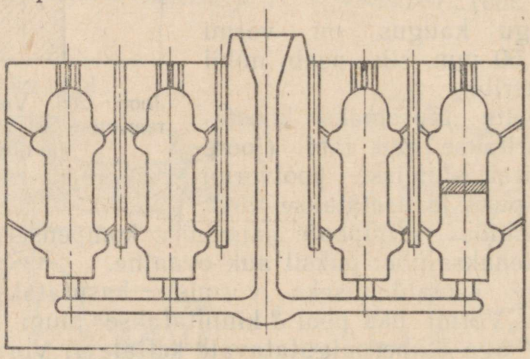
Vormipoolte täpsemaks koostamiseks puuritakse nad läbi (joon. 266), misjärel alumisse poolvormi pressitakse puks ja asetatakse tihvt. Ükskõik kumma vormipoole paisumise kompenseerimiseks kuumutamisel tehakse ühel puksil auk ovaalne.

Valandite eemaldamiseks vormist kasutatakse tõukureid (joon. 267). Vormi üks pool *3* kinnitatakse pingi otstoele, teine vormipool *1* aga ümberpaigutatavale kettale *4*. Vormi sulgemisel suruõhusilindri kolvivarda *2* abil surutakse liikuv vormipool *1* vastu liikumatut vormipoolt *3*. Üks või mitu tõukurit *5*, mis kujutavad endast terasvardaid, kinnitatakse juhtvarrastele *7* vabalt asetatud plaadi *6* külge. Rangelt määratud aja möödudes peale valamist avatakse vorm, et eemaldada kristalliseeruda jõudnud valand. Liikuv poolvorm *1* liigub silindri suunas. Vardad *7* toetuvad vastu silindrit *8* ja peatavad plaadi *6* liikumise. Vormipool *1*, mis jätkab liikumist paremale, sunnib tõukureid *5* väljuma pesast ja eemaldama valandi vormist. Vedru *9*, mis algul kokku surutakse, sirgub vormipoolte uuel sulgumisel ning tõukuri *5* otsad võtavad algasendi.



Joon. 267. Tõukurite konstruktsioon valandi eemaldamiseks metallvormist.

Tõukurite *11* tegevus liikumatus pooles *3* on peaaegu samasugune. Tõukurid kinnitatakse plaadile *10* liikumatult. Samale plaadile kinnitatakse sõrmed *12*. Sõrmede teised otsad asetsevad vabalt liikumatus vormipooles *3*. Kui mõlemad vormipooled on suruõhusilindri kolvivarrega surutud üksteise vastu, on kokku surutud ka vedru *13*. Vormi avamisel vedru *13* sirgub ning lükkab raami *10* ja tõukurid *11* paremale, mis eemaldavad valandi vasakust vormipoolest *3*.



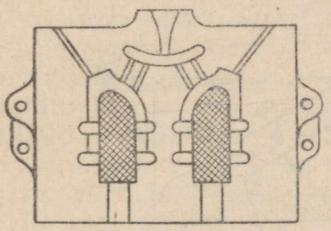
Joon. 268. Mitme valandi asetus metallvormis ja sifoonse valukanalite süsteemi ehitus.

Metallijuga, sattudes perpendikulaarselt metallvormi paljastatud horisontaalsele pinnale, uhub seda pidevalt ning muudab kõlbmatuks. Selle vältimiseks nähakse metallvormi valukanalite süsteemis ette vajalikud abinõud.

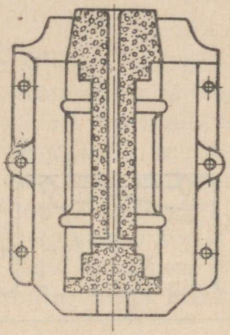
Nii näiteks kui mitu valandit on asetatud ühte vormi (joon. 268), mis suurendab tootlikkust, siis vertikaalse eralduspinna puhul kasutatakse valamiseks sifoonset valukanalite süs-

teemi. Õhu eemalejuhtimine vormi ülemisest osast toimub läbi «niidikujuliste» tõusupeade, mida on vertikaalselt asetatud kolm tükki, külgmistest väljaulatuvatest osadest aga «niidikujuliste» tõusupeade ja vertikaalsete puuritud äravoolukanalite kaudu.

Metallvormi valatud metall kuumutab seda, kaotades seejuures ise kiiresti soojuse ja vedelvoolavuse. Metallvormi valamine toimub muudel samadel tingimustel kiiremini kui muldvormi. Metalli juurdejuhtimine vormi tööõnde toimub lühimat teed kaudu, s. o. minimaalse käänakute arvuga valukanalite kaudu.



Joon. 269. Vihmvalukanalid õhukeseseinalistele valanditele.



Joon. 270. Valukanalite süsteem tsentraalses muldkärnis.

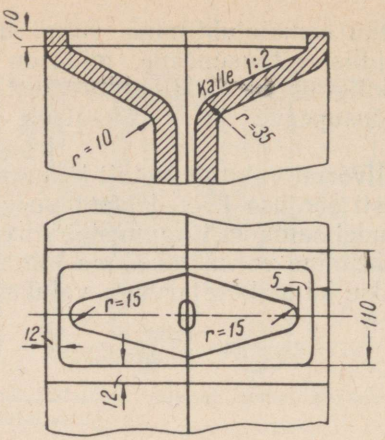
Õhukeseseinalistele valanditele soovitatakse kasutada vihmvalukanaleid (joon. 269). Muldkärnidega valandite valukanalite süsteem tehakse kärnis endas (joon. 270).

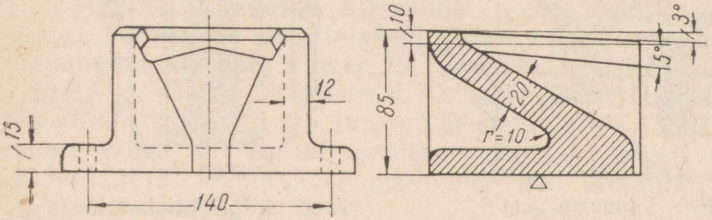
N. P. Dubinin soovitab vältida ümmarguse ristlõikega valukanaleid, kuna viimaseid on valanditelt raske ära lüüa, ning nelja- ja kolmnurkse ristlõikega valukanaleid, kuna need moodustavad teravaid nurki, mille tõttu vormi metall puruneb. Kõige paremaid tulemusi annavad elliptilise ristlõikega valukanalid. Metall valatakse läbi nende rahulikult ja ilma keeristeta; valand koos valukanalitega eraldub vormist võrdlemisi kergesti ning vormi kasutamisaeg pikeneb.

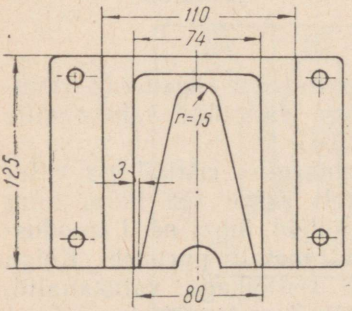
Metallvormi valukausi konstruktsioon peab vältima keeriste tekkimist joas. Parim konstruktsioon, mis on tootmises välja töötatud, on toodud joonisel 271. Kuna metallijuga kulutab kiiresti kausi, siis mõningatel juhtudel tehakse see vahetatavana (joon. 272) ning kahest poolest koosnevana.

Valukauss tuleb asetada vormi nivoost natuke kõrgemale, et tekitada vajalikku hüdraulilist rõhku. Väikeste valandite horisontaalse eralduspinnaga vormidel (joon. 273) on peaaegu sama valukanalite süsteem nagu muldvormidel. Valukauss tehakse muld-

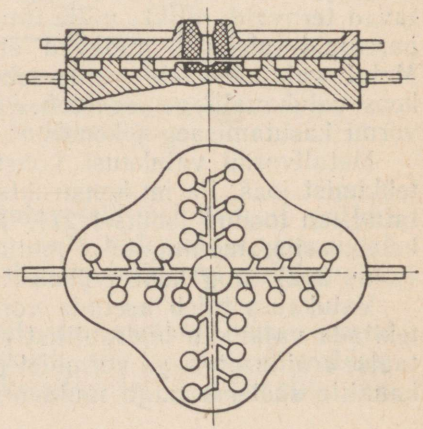
Joon. 271. Valukauss metallvormile (N. P. Dubinin).







Joon. 272. Vahetatav valukauss (N. P. Dubinin).



Joon. 273. Väikeste valandite metallvormi valukanalite süsteem.

kärnis. Erinevus on ainult selles, et tõusupead tehakse «niidikujulised» ja paigutatakse eralduspinda.

Valukanalite mõõted määratakse nagu tavaliselt Osann'i valemi järgi:

$$F = \frac{G}{z\,\mu\,0{,}31\sqrt{H}}\ \text{cm}^2,$$

kus G on valandi kaal kg;
z — valamise kestus sek;
H — püstkanali kõrgus cm;
μ — hüdraulilise takistuse koefitsient, mille väärtus kõigub 0,3 kuni 0,6.

Kuna metall tardub metallvormis väga kiiresti, siis peab valamise aeg olema 1,5—2 korda lühendatud, kanalite ristlõige, võrreldes muldvormidega, aga järelikult vastavalt suurendatud.

N. I. Hvorinov'i andmetel kristalliseerub valand metallvormis neli korda kiiremini kui muldvormis, mistõttu tardunud metall on peeneteralisem ja tugevam. Eeleutektilise koostisega malmi metallilised austeniiditerad muutuvad peenemaks, mille tulemusena ka grafiidilehekesed on peenemad. Kuid süsiniku- ja ränisisalduse vähendamine, mis kutsub esile malmi liiga kiire tardumise, viib valandi pinna valgenemisele.

Valgenduse kõrvaldamiseks ja valandi töödeldavuse parandamiseks rakendatakse mitmesuguseid abinõusid: suurendatakse malmi ränisisaldust, modifitseeritakse malmi ja lõpuks, valatakse metall ettekuumutatud vormi. Valgenemist ja valandi mehaanilisi omadusi mõjutab valamis-, kuumutamis-, väljalöömis- ja metallvormi jahtumisrežiim.

Kokillvalu parameetrid sõltuvad seega metalli koostisest, valamistemperatuurist ja -kiirusest, soojuse äravoolukiirusest, valandi seinte paksusest, kahanemise määrast, valandi väljalöömise ajast ja vormi jahutamise intensiivsusest.

Kui valatakse liiga külma sulamit liiga külma metallvormi, siis moodustuvad valandi pinnal kiled ja keerud, valandis tekivad gaasitühimikud, malmvaland aga valgeneb ülemäära. Liiga kõrge temperatuuriga metalli valamisel liiga külma vormi esineb järsk temperatuurilangus, mille tagajärjel tekkivad sisepinged võivad põhjustada nii valandi kui ka vormi pragunemist.

Metallvormi ja valandi seinapaksuste suhte õige valik, samuti aga ka ratsionaalse valamistemperatuuri ja vormi algtemperatuuri valik suurendavad tunduvalt vormide vastupidavust.

Kooskõlas N. P. Dubinini spetsiaalsete uurimistega on esimesel perioodil peale vormi valamise lõpetamist jahtumiskiiruste erinevus suurim valandi välises ja sisemises kihis. Nii näiteks jahtub 40 mm paksuse malmvalandi pind kiirusega 0,85° C sekundis, vahepealne kiht 0,771° C sekundis, keskosa aga kiirusega 0,691° C sekundis. 5 mm paksused valandid valgenevad isegi

C + Si = 4,6% sisalduse juures täielikult, 4,8% sisalduse juures pinnalt 1,5 mm sügavuseni, 5,3% juures aga ainult 0,5 mm sügavuseni. Valgenduse sügavus väljaulatavates nurkades ja eraldus-pinnal on suurem, kui valandi teistes kohtades.

Üleminevas kihis, mis asetseb valgendatud kihi vahetus läheduses, märgatakse kristallidevahelise grafiidi ja pehme ferriit-grafiiteutektikumi terade olemasolu, millel on väiksem kõvadus ja kulumiskindlus. Süsiniku- ja ränisisalduse suurenemisega valgendus kaob, kuid vahepealne kiht, millel grafiiteutektikumi tõttu on väike kõvadus ja kulumiskindlus, tuleb pinnale. See on kokillvalu oluliseks puuduseks. Grafiiteutektikum on sama kahjulik nagu struktuuriliselt vaba tsementiitki. Mõlemad tegurid soodustavad malmvalandite tugevuse tunduvat alanemist, mida saab vältida malmi legeerimisega kroomi, nikli, molübdeeni, vanaadiumi või volframiga või süsinikusisalduse vähendamisega kuni 2,5—2,7%-ni.

Mida kõrgem on malmi valamistemperatuur, seda rohkem kuumeneb metallvorm ning seda väiksem on muudel samadel tingimustel valandi valgenemine.

Valandite vormis väljahoidmise kestusel on suur praktiline tähtsus, mis mõjutab mitte ainult vormide tööiga, vaid ka malmvalandite kõvadust. Mida lühem on valandi väljahoidmine vormis, seda väiksem on vormi «kuumade» töötundide arv, seda parem on tema vastupidavus ning seda rohkem valandeid võib saada vormist kuni tema väljavahetamiseni (50 kuni 1200 valandit). Teisest küljest, mida varem on eemaldatud kuum valand vormist, seda väiksem on tema kõvadus, kuna metallvormi soojusjuhtivus on mõõtmatult suurem väljavõetud valandit ümbritseva õhu soojusjuhtivusest, nagu see nähtub N. P. Dubinini andmetel koostatud tabelist 87.

Tabel 87

Malmvalandite metallvormis väljahoidmise kestuse mõju pinna kõvadusele
(N. P. Dubinin)

Valand	Vormis väljahoidmise kestus sek.					
	10	25	30	60	300	800
	Kõvadus Brinelli järgi H_B					
Väike kolb, 2,72% Si	163	170	170	187	187	187
Suur kolb, 3,6% Si	—	170	206	206	205	—
Proovikeha paksusega 20 mm, 3,0% Si	—	178	187	196,7	196,7	—

Analüüsides tabelis toodud andmeid, võib teha järelduse, et mida kestvam on valandi hoidmine metallvormis, seda suurem on tema kõvadus. Malmvalandid eemaldatakse vormist ligikaudu 900—950° C temperatuuril. Võimaliku valgenduse vältimiseks asetatakse nad pärast väljavõtmist kuiva liiva sisse või ahju, mis on kuumutatud kuni 900° C, «iselõõmutuseks».

Valandi jahtumiskiirust metallvormis mõjutab oluliselt valatava metalli ja metallvormi temperatuuride vahe. Liiga kõrge vormi algtemperatuur on sama ebasoovitav nagu valatava metalli kõrge ülekuumutus. Praktiliselt on leitud, et metallvormi kõige sobivamaks algtemperatuuriks on 200—350° C.

Vormi seinte katmine kattematerjalidega (liiv vesiklaasiga) suurendab vormide tööiga ning vähendab kuumpragude tekkimisvõimalust, eriti terasest ja värvilistest sulamitest valandites. Üle 20 mm paksuste valandite korral soovitatakse vormipinnad peale kaitsekihi pealekandmist ja kuivatamist katta atsetüleen- või naftapõleti tahmaga või grafiitvärvi õhukese kihiga, sõltumata valatavast sulamist.

Jahtumiskiirust mõjutab veel metallvormide seinapaksus, mille arvutamisel lähtutakse ka ökonoomilistest kaalutlustest.

Mida õhem on vormi sein, seda kiiremini ta kuumeneb kõrgete temperatuurideni ja seda lühem on tema tööiga. Kuid teisest küljest, mida paksem on sein, seda suurem on vormi kaal ja järelikult seda kiiremini jahtub valand, s. t. seda kõrgem on valandi kõvadus ning suurem tõenäosus pragude moodustamiseks nii valandis kui ka vormis endas. Praktikast on teada, et õhukeseseinalistel valanditel ületab vormi seinapaksus valandi seinapaksuse tavaliselt 3—4 korda. Mida paksem on valandi sein, seda väiksem on see vahekord. 10 kuni 20 mm paksustel valanditel peab vormi seinapaksus olema piirides 30 kuni 50 mm, 30 kuni 50 mm seinapaksusega valanditel aga piirides 60 kuni 80 mm. Valanditel paksusega üle 75 mm peab vormi ja valandi seinapaksuste suhe olema lähedane ühele.

Valtspingi valtside metallvormidel on vormi paksuse ja valtsi keha läbimõõdu suhe kõigest 0,3.

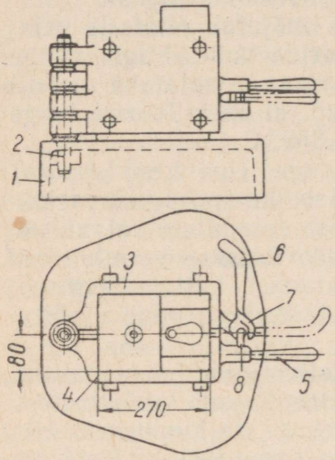
Kokillmasina põhiliseks sõlmeks on vormi liikumapanemise mehhanism. Vastavalt sellele liigitatakse neid käsi-, hüdraulilise, pneumaatilise ja elektrilise ajamiga masinateks.

Käsiajamid võivad olla šarniir-, ekstsentrik-, kang-vänt-, hammaslatt-, kruvi-, kang-vedru-, kantimis-, plokk- või kombineeritud seadmega.

Pneumaatilise ajamiga masinaid kasutatakse valandite juures, mille gabariitmõõted eralduspinnal on 300×300 mm. Kui kompressorseadmed puuduvad, siis valmistatakse masinad elektrilise ajamiga. Suurte valandite korral kasutatakse hüdraulilise ajamiga masinaid.

Lihtsama käsišarniirajamiga masina konstruktsioon on toodud joonisel 274. Kõik seadmed asuvad plaadil *1*, vertikaalsele

teljele *2* on vabalt asetatud külgplaatide *3* ja *4* hinged. Külgplaatidele on poltidega kinnitatud metallvormi pooled, mida viiakse kokku ning laiali käepidemete *5* ja *6* abil. Haak *7* käepidemel *6*, sattudes nuki *8* avasse, kinnitab ja tõmbab kokku vormi pooled. Seda seadet kasutatakse väikeste valandite väikeseeriatootmise tingimustes.

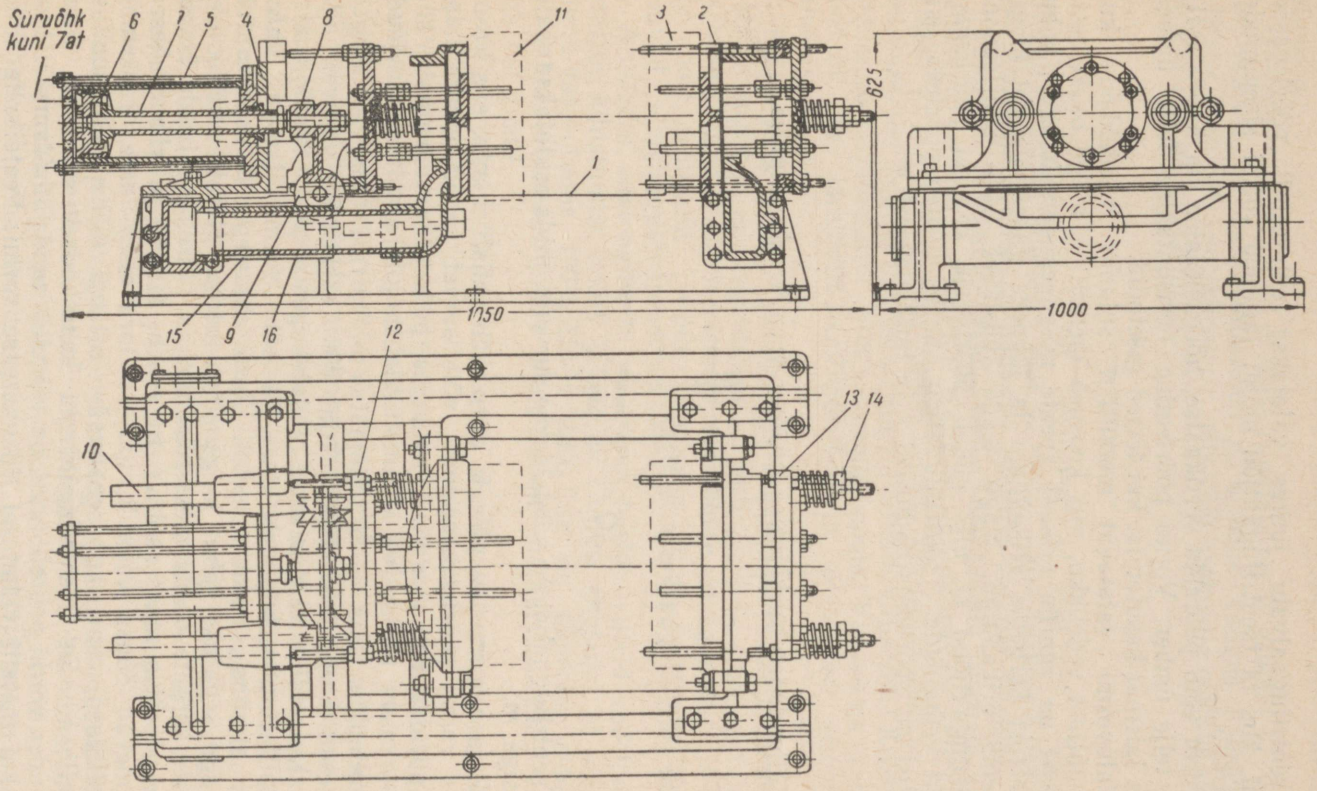


Joon. 274. Metallvorm käsišarniirajamiga (N. P. Dubinin ja M. V. Tšunajev).

Suurseeriatootmises on levinud N. E. Naumani nimelise Moskva Kõrgema Tehnikakooli valulaboratooriumi konstruktsiooniga pneumaatiline pink (joon. 275). Pinki kasutatakse laialdaselt valandite puhul, mille gabariitmõõted eralduspinnas on kuni 500×500 mm. Aluse *1* ühe otsa külge on kinnitatud raam *2*, millele liikumatult kinnitatakse alumine vormipool *3* (näidatud kriipsjoonega). Aluse teisele otsale on asetatud tugi *4* suruõhusilindriga *5*, kolviga *6* ja kolvivarrega *7*, mis läbib raami esiosa ning on kinnitatud vankri *8* vaba otsaga. Vankri alla on asetatud telg, millel vabalt pöörlevad kaks rulli *9*. Rullid liiguvad kahel juhtpinnal, mis on kinnitatud alusraamil olevatele konsoolidele. Vankrile asetatakse liikuv poolvorm. Läbi vankri lähevad kaks varrast *10*, mis on lastud läbi silindri toe ja kinnitatud nende külge tikkpoltidega. Varraste eesmised otsad läbivad liikuva tagumise raami. Kogu süsteem koos liikuva vasakpoolse vormipoolega *11* võib liikuda tagasi ja edasi kuni kokkupuutumiseni liikumatu vormipoolega *3*, mis on asetatud eesmisele liikumatule raamile *2*.

Suruõhu (rõhk 6 at) juhtimisel silindrisse liigutab kolb kolvivarre kaudu vankrit juhtpindadel ning ühendab liikuva vormipoole liikumatuga. Tagasiliikumiseks avatakse käsitsi väljalaskekraan ning samaaegselt ka õhu sisselaskekraan silindri vastaspoolsesse ossa, mille tagajärjel vorm avatakse.

Valandi eemaldamiseks vormist on kaks plaati *12* ja *13*, mis võivad liikuda varrastel *10* ja *14*. Vormi jahutamiseks imetakse vormi tagapinnalt õhku läbi teleskoop-seadme, mis koosneb pingi raamile monteeritud torust *15* ja teisest liikumatule raamile kinnitatud väiksema läbimõõduga torust *16*.



Joon. 275. Metallvormide pneumaatiline pink.

Tsentrifugaalvalu juures valatakse sulametall pöörlevasse vormi, kus ta tsentrifugaaljõu mõjul jaguneb vormi sisepinnale ja tardub.

Vorm võib pöörelda vertikaalse, horisontaalse või kaldu asetseva telje ümber. Vormi pöörlemine horisontaalse telje ümber leidis laiemat kasutamist kui teised meetodid.

Valuvormi valatavat metallilist sulamit vaadeldakse kui mitteühtlast vedelikku, mis koosneb metallilise massi osakestest, milledel on suurim erikaal (peale magneesiumisulamite), räbu osakestest kergema erikaaluga ja lõppeks gaasimullidest kõige kergema erikaaluga. Nagu teada füüsikast tekib pöörlemisel tsentrifugaaljõud Q, mis püüab pöörlevaid osakesi pöörlemisteljest eemaldada. Tsentrifugaaljõu suurus oleneb pöörleva osa massist m, pöörlemisraadiusest r ja nurkkiirusest w:

$$Q = rmw^2.$$

Väljendades nurkkiiruse pöörete arvu kaudu minutis

$$w = \frac{\pi n}{30},$$

saame tsentrifugaaljõu valemiks

$$Q = \frac{\pi^2 m r n^2}{900}.$$

Tsentrifugaaljõudu vaadeldakse survena, mida osutatakse osale massiga m.

Kuna aga masina pöörete arvu võib vabalt muuta, siis kasutades vormi pöörlemismeetodit, võib survet vabalt muuta laiades piirides. Kui eeldada, et masina pöörete arv on null, siis ka surve on null, ning sulametallile mõjub ainult raskusjõud.

Vedelikus, mis asub liikumatus olukorras, tõusevad kerged osakesed Stokes'i seaduse põhjal üles, raskemad vajuvad aga alla. Kui vedelik ei jõua enne pinnaletõusmise protsessi lõppemist kristalliseeruda, koguneb gaas ja räbu vormi ülaossa. Valuploki alaosas saadakse metall tiheda ehitusega, ülaosas osutub see aga segatuks räbu- ja gaasiosakestega. Metalli pöörlemisel vormis kergete osade ülessetõusmine ja raskemate osade laskumine pöörleva massi suhtes tugevneb. Gaasi- ja räbuosakesed kogunevad õõnsa valandi, näiteks toru sisepinnale, raskemad metallilised osad aga «upuvad» valandi välispinna suunas. Metalli tihedus tsentrifugaalvalu kasutamisel suureneb. Suurendades vormi pöörete arvu, on võimalik saada tihedamat valandit, kui metalli valamisel liikumatusse vormi. Peale selle sulamites, millel on suur ruumkahanemine vedelast olekust tahkesse

üleminekul, moodustub kahanemistühimik pöörlemistelje lähedale.

Oletame, et eraldunud osakese ruumala on V, erikaal γ_o, vedeliku erikaal γ_v, raskuskiirendus g, osakese kaugus pöörlemisteljest r ning pöörlemiskiirus v_o, siis võib osakesele mõjuva tsentrifugaaljõu leida valemiga

$$Q = \frac{V(\gamma_o - \gamma_v)v_o^2}{gr^2}.$$

Kui $\gamma_o > \gamma_v$, siis Q on positiivne ja osakesed liiguvad valandi väliskihi suunas [1]. Kui $\gamma_o < \gamma_v$, siis osakesed liiguvad pöörlemistelje suunas ja püüavad asetuda valandi sisekihti.

Vaatleme vedelikku, näiteks terast, mis tardub ruumala vähenemisega (ruumkahanemine). Tahkete väljalangevate kristallide erikaal $\gamma_o > \gamma_v$. Kristalliit püüab liikuda perifeeria suunas. Tahked osakesed kogunevad tsentrifugaalvalandi väliskihti. Kristalliseerimine on suunatud pöörlemistelje poole. Viimasena tardub sisekiht ja järelikult kahanemispoorid asetsevad sisepinna läheduses.

Kui vedelik tardub ruumala suurenemisega (ruumpaisumine), näiteks sulamid, mis sisaldavad vismutit, siis $\gamma_o < \gamma_v$ ja tahked osakesed kogunevad sisepinnale, tardumine on suunatud perifeeria poole, väliskiht tardub viimasena ning kahanemispoorid asuvad tsentrifugaalvalandi väliskihis.

Arutledes analoogiliselt, võib tuua teisigi näiteid vedelike ja gaaside kihistumise kohta pöörlevas vormis. Oletame, et alumiiniumi-vasesulamis (90% Al ja 10% Cu) on mõlema vedeliku erikaalud erinevad: puhta alumiiniumi erikaal on 2,65, vasel aga 8,9 g/cm³.

Selle sulami pöörlemisel asetub alumiinium sissepoole, vask aga väljapoole.

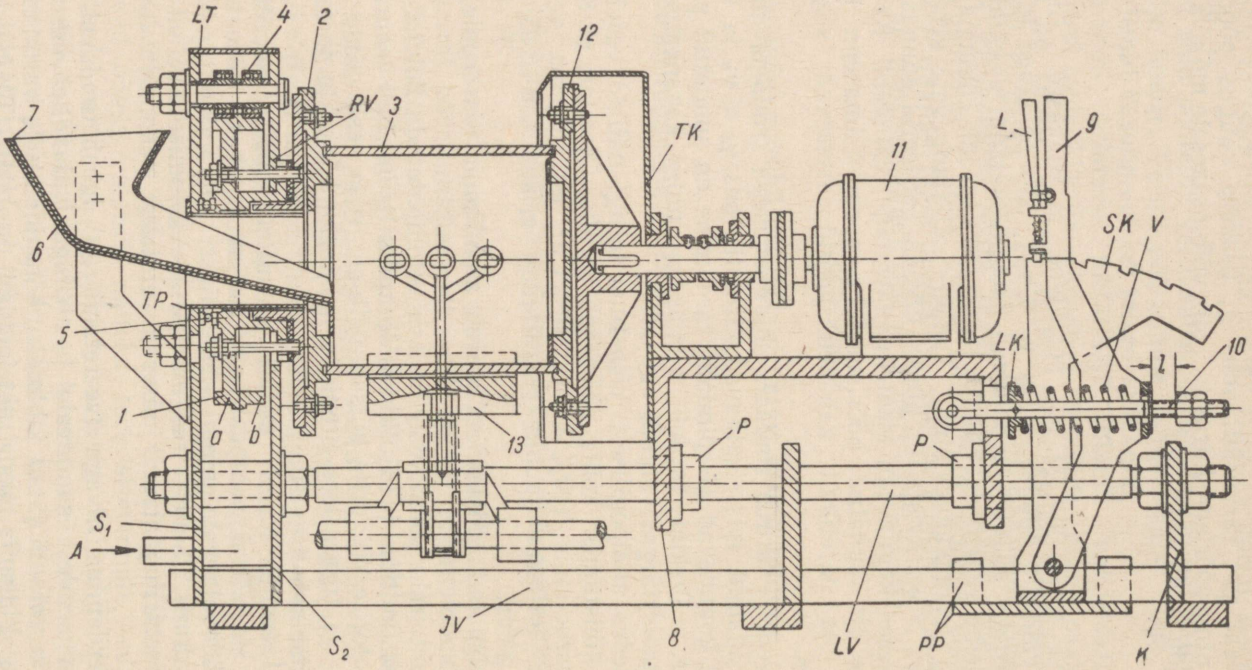
Peale torude võib tsentrifugaalmeetodil valada kolvirõngaste toorikuid, autode ja trollibusside piduritrumleid, vedurite ja diiselmootorite silindrite hülsse, valtspingi- ja veskivaltse, kolbe, hammas- ja tigurataste pronksist pöidasid, kõrgahju furme jne.

Kvaliteetsete tsentrifugaalvalandite saamiseks tuleb vastavalt nende ülesandele valida metalli keemiline koostis, metalli temperatuur ja vormi valamiskiirus. Seejuures on vajalik reguleerida vedelvoolavust, sulami kahanemist ning valandi jahtumiskiirust vormis. Sellest reeglist kõrvalekaldumisel võib tekkida praak. Tsentrifugaalvalu juures kasutatakse peamiselt voodriga vorme.

Vooderdamine liivaga (veeretamisega) lubab tunduvalt tõsta vormi ja nendest saadavate tsentrifugaalvalandite vastupidavust, tänu valandi järsu jahtumise kõrvaldamisele vormis.

Kõige lihtsama konstruktsiooniga on ЦНИИТМАШ-i hori-

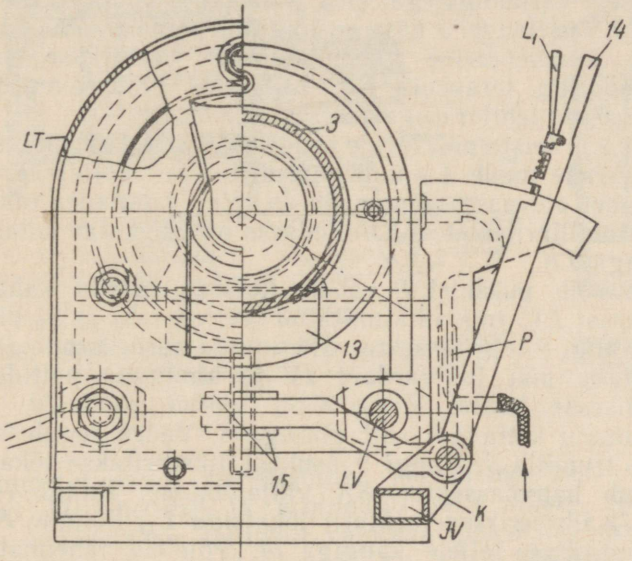
[1] Н. Н. Рубцов. Специальные виды литья. Машгиз, 1955.



Joon. 276. ЦНИИТМАШ-i tsentrifugaalmasin.

sontaalse pöörlemisteljega tsentrifugaalvalu masin, mis on toodud joonisel 276.

Malmrattale *1* on kinnitatud kuumuskindlast terasest vahetatav ketas *2*. Väljalõiked kettal tehakse sõltuvalt trumli *3* mõõdetest. Ratas toetub kolmele paarile liikumatute telgedega rullidele *4* ja kuullaagrile *5*. Ketta *2* sisse viiakse valurenn *6* koos valukoonusega *7*. Raami liikuvat osa *8* võib juhtpindadel kangi *9* ja varda *10* abil nihutada vasakule või paremale. Elektrimootori *11* teljele asetatakse ketas *12*, mis on analoogiline kettale *2*.



Joon. 277. ЦНИИТМАШ-i tsentrifugaalmasina kangide sõlm.

Ketaste *2* ja *12* vahele on masina all paigutatud prisma *13*, mida saab kangi *14* abil nihutada üles ja alla (joon. 277). Prisma algasend määratakse 15 vastavalt tsentrifugaalvalandi puksi mõõdetele. Kui kang *14* asub äärmises parempoolses asendis, siis prisma on ülemises äärmises asendis. Trummel *3* (joon. 276) on seejuures tihedalt prismal. Kangi *9* pööramisega vasakule surutakse trummel ketastega *2* ja *12* mõlemalt poolt kinni. Kang *14* (joon. 277) viiakse vasakule, prisma *13* laskub alla ja ei takista trumli *3* pöörlemist (joon. 276). Küljelt juhitakse tema juurde põleti ning 1—2 minutit enne vormi valamist lülitatakse sisse elektrimootor *11*. Kui trumli temperatuur on tõusnud 600—700° C, siis võib vormi valada sulametalliga. Valandi tardumiseks kulub 2—3 minutit. Kristalliseerimise lõppedes lülitatakse elektrimootor *11* välja ning pööratakse kang paremale.

Prisma surub vastu trumlit *3*. Peale seda viiakse kang *9* paremale ning vabastatakse trummel ja puks ketastest *2* ja *12*. Kui nüüd pöörata kangi *14* (joon. 277) vasakule, siis laskub trummel koos valandiga alla, valand satub kaldrenni ja veereb seda mööda vastuvõtukasti. Prisma *13* tõstetakse üles järgmiseks valamiseks. Kettad *2* ja *12* (joon. 276) peavad olema kaetud voodriga, et valandi metall ei keevituks nende külge. Sellel masinal võib valada bimetallilisi pukse. Selleks tehakse ratas *1* kahest osast *a* ja *b*, mis ühendatakse poltidega.[1] Osa *b* on soojusülekande vähendamiseks isoleeritud asbestvahelehega ning varustatud kolmnurksete väljalõigetega. Osa *b* äärikule kinnitatakse vahetatav ketas *2*. Tugilaagri *5* pesa on lõigatud seina S_1. Masina konstruktsiooni kuumenemise vähendamiseks asetatakse valurenni avasse voodriga teraspuks *TP*. Külgmine pind seinte S_1 ja S_2 vahel on kaetud lehtterasega *LT*.

Laagri *5* ja teiste pöörlevate osade jahutamiseks antakse seinte S_1 ja S_2 vahele noole *A* suunas suruõhku, mis väljub seina S_2 ja ratta *1* vahel olevasse rõngasvahesse *RV*, jahutades täiendavalt äärikut. Metallipritsmetest hoidumiseks on vahetatav ketas kaetud teraskestaga *TK*.

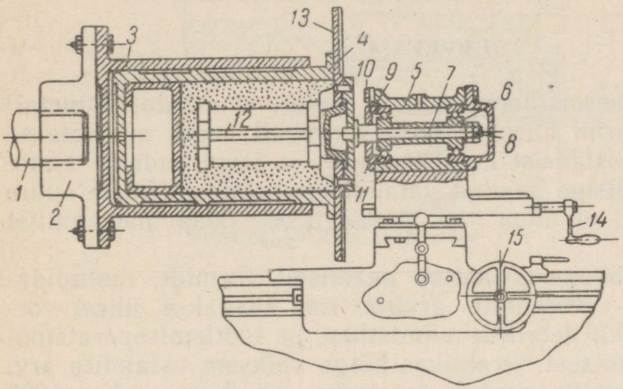
Kast *8* võib puksidel *P* vabalt libiseda mööda kahte liikumatut varrast *LV*, mis on kinnitatud seintesse S_1 ja S_2 ning konsooli *K*. Kangi *9* telg ja sektor *SK* kinnitatakse karbile *PP*, mida võib nihutada piki juhtvardaid *JV* ja kinnitada poltidega ükskõik millisesse kohta. Kang *9* on seotud varda *10*, vedru *V* ning liikumatu ketta *LK* abil alusega *8*. Vedru reguleerib ketta *12* survet trumlile *3*. Kangi 9 asukoht fikseeritakse lõkatsiga *L*, mis asetub hammassektori *SK* väljalõikesse. Kangi *14* asend (joon. 277) fikseeritakse sektoril lõkatsiga L_1. Põletite *P* kangid on asetatud ühele teljele kangiga *14*. Põleteid lähendatakse ja eemaldatakse käsitsi.

Mitmesuguste mõõdetega äärikpukside valmistamiseks kasutatakse Moskva Lihhatšovi-nimelises Autotehases (väike- ja suurseeriatootmise korral) tsentrifugaalvalu kärnidega vormidesse. Muldkärn valmistatakse tootmise kiirendamiseks ja odavamaks muutmiseks rullimismeetodil.

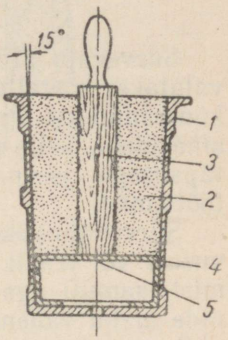
Kärnid valmistatakse tavalisel treipingil (joon. 278). Võllile *1* asetatakse plaanseib *2*, millele kinnitatakse trummel *3*. Trumlisse asetatakse hülss *4* tihendatud liiv-savi kärniseguga. Supordi terakelgule kinnitatakse rullimisseade, mis koosneb kerest *5* ja teljele *7* asetatud kahest kuullaagrist *6*. Telje parempoolsele otsale on lõigatud keere, mille abil kinnitatakse telg mutri ja kontramutriga *8*. Kere suletakse vasakult poltide *10* abil kaanega *9*. Telje *7* vasakpoolsele otsale asetatakse ja kinnitatakse äärik *11*, mille väljalõikesse asetatakse rull *12*; viimane surutakse kruvide ja terasketta *13* abil vastu äärikut *11*. Kärn valmista-

[1] «Литейное производство», 1952, nr. 2, lk. 11.

takse hülsis *1* (joon. 279), millesse raputatakse kärnisegu *2* ning asetatakse tsentraalne puuvarras *3*, mille alumine ots ulatub tsentreerimiseks alumiiniumist vaheosas *4* olevasse auku *5*. Segu tihendatakse varda *3* ümber käsitsi. Peale seda eemaldatakse varras, asetatakse hülss trumlisse (vt. joon. 278) ning viiakse temasse käepideme *14* pööramisega rull *12*. Ketas *13* on sel momendil surutud tihedalt vastu trumlit. Käsirattaga *15* fikseeritakse rullimisseadme asend. Peale seda lülitatakse sisse



Joon. 278. Kärnide rullimine tsentrifugaalvalanditele treipingil.



Joon. 279. Rullitud kärni hülss.

elektrimootor ning ristiettenihke käepideme abil vormisegule surutud rull tihendab ja profileerib selle hülsis. Ristiettenihke suurus määratakse sõltuvalt valatava puksi mõõdetest pingile kinnitatud mastaapjoonlaua abil. Kui kärni sisepind on rullitud vajaliku mõõduni, viiakse supordi terakelk tagasi tsentrisse ning lülitatakse elektrimootor välja. Käsirattaga *15* eemaldatakse rull *12* hülsist, viiakse terakelk eemale ja võetakse hülss koos kärniga trumlist välja. Peale seda asetatakse kärn kuivatusalusele ja suunatakse kuivatisse. Kiievi Tööpingiehituse tehases valatakse selle meetodiga 25 eri liiki äärikutega pukse. Nende läbimõõt on 78 kuni 180 mm, pikkus aga — 180 kuni 365 mm[1].

Valmiskärn asetatakse vahemalmtrumlisse ja koos sellega tsentrifugaalmasina kokilli.

Kärnisegu märgtugevus survele peab olema 0,7—0,8 kg/cm² ning kuivtugevus tõmbele 3,5—5,0 kg/cm².

Horisontaalsetel tsentrifugaalmasinatel valatakse kolvirõngaste toorikuid, kolvirõngaid üksikult, hammasrattaid ja teisi valandeid. Kokilli pöörlemiskiirus on 400—800 p/min.

Pukse läbimõõduga kuni 20 mm ja teisi taolisi valandeid pole

[1] «Литейное производство», 1951, nr. 3.

horisontaalse pöörlemisteljega masinatel võimalik valada, kuna valurenni viimine vormi nii väikesesse avasse on raskendatud. Sellisel juhul kasutatakse vertikaalse pöörlemisteljega masinaid. Vormi võib panna pöörlema suruõhu abil töötava väikese turbiiniga [1]. Vormi pöörete arv minutis on 2000—3000. Väiksema pöörlemiskiiruse korral muutub valandi sisepind paraboolseks, kusjuures allosas võib tekkida isegi «põhi». Sellistel masinatel valatakse värvilistest sulamitest (pronksist, alumiiniumist jne.) pukse.

SURVEVALU

Survevalu protsessi olemus seisab selles, et sulatatud metall valatakse metallvormi ühe või teise surve all, mida mõõdetakse kümnendikust atmosfäärist kuni kümnete ja isegi sadade atmosfäärideni. Selle viisiga saadud valandid erinevad mõõdete suure täpsusega ja nad ei nõua või peaaegu ei nõua mehaanilist töötlemist.

Survevalu ökonoomsus sõltub peamiselt vormide vastupidavusest või teisiti — valandite arvust, mis saadakse ühest vormist, samuti aga ka detailide viimistlus- ja töötlemisoperatsioonide mahu vähenemisest. Praktikas kõige väiksem valandite arv, mille juures survevalu osutub tasuvaks, on harva alla 1000 (tavaliselt 2000—3000) ning oleneb igal üksikjuhul valandi iseloomust. Mida keerulisem on valand ning mida kõrgem on selle mehaanilise töötlemise maksumus, seda vähem on ökonoomilisest seisukohast lähtudes õigustatud tavalise valuviisi asendamine survevaluga. Survevalu ökonoomsus sõltub valmistatavate detailide kogusest.

Survevalu teel valmistatakse peamiselt karburaatorite, pumpade, raadioaparatuuri, telefonide, kellamehhanismide, aparaaditahvlite, kilpide, käepidemete jne. väikesi osi.

Survevalu peamiseks puuduseks on valandi poorilisus, mis nõuab eriliste ettevaatusabinõude kasutuselevõtmist, eriti kui nõuded valandi tiheduse suhtes on kõrgendatud.

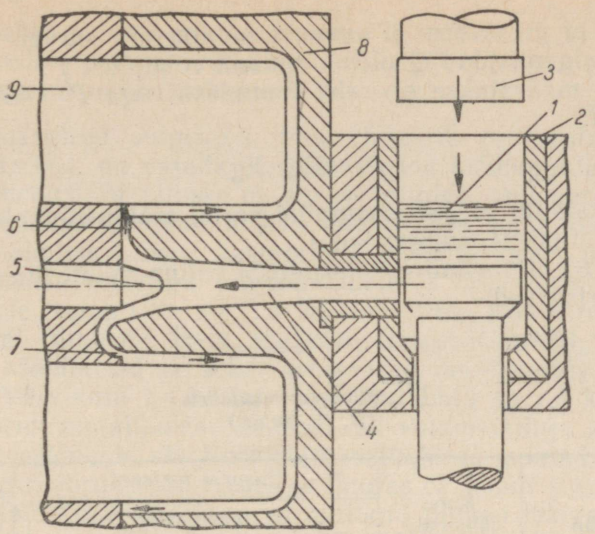
Survevalu vormid valmistatakse süsinik- või legeeritud terasest. Valandis siseõõnte moodustamiseks kasutatakse eranditult metallkärne.

Survevalu meetodil valatakse laialdaselt tsingi, magneesiumi, alumiiniumi ja vase alusel saadud värvilisi sulameid. Malm- ja terasvalandite tootmiseks ei ole see meetod pressvormide väikese vastupidavuse tõttu otstarbekas.

Survevalu masinad jagatakse kahte põhigruppi: kolb- ja kompressormasinateks. Viimaseid kasutatakse võrdlemisi harva.

Joonisel 280 on toodud vertikaalse teljega survekambri ehitus. Sulametall *1* läheb survekambrist *2* kolvi *3* survel läbi valukanali

[1] «Литейное производство», 1954, nr. 8.



Joon. 280. Survevalu kolbmasina survekamber ja pressvorm (V. M. Pljatski).

4, lööb vastu hajutajat *5* ning siseneb toitekanali *6* kaudu nooltega näidatud suunas pressvormi *7* õõnde. Pressvormid sarnanevad konstruktsioonilt stantsile. Vormi paigalseisvat osa *8*, mis on kinnitatud masina alusele, nimetatakse matriitsiks, liikuvat osa *9* aga templiks. Kui vorm on valatud, siis surve sulametallile katkeb ning kolb *3* tõuseb üles. Peale valandi tardumist eemaldub tempel *9* vasakule (mõni sekund peale valamist), et võimaldada valandil vabalt kahaneda. Vorm lahutatakse ning valand tõugatakse spetsiaalsete tõukuritega välja.

Sulametalli sisenemiskiirust vormi arvutatakse järgmise valemiga:

$$v = \mu \sqrt{2g\frac{P_c}{\gamma}} \text{ cm/sek},$$

kus v on metalli liikumise joonkiirus cm/sek,

μ — hüdrauline takistus,

g — raskuskiirendus, 981 cm/sek^2,

γ — vedela sulami erikaal g/cm^3,

P_c — surve, mille all metall siseneb vormi (nn. tootmissurve) g/cm^2.

Tootmissurve vase alusel sulamitele on 500 kg/cm^2 ja rohkem, tsingi alusel sulamitele — 350—600 kg/cm^2 ning alumiiniumi alusel sulamitele — 200—350 kg/cm^2.*

* «Литейное производство», 1952, nr. 3.

Selleks et pressvorm ei avaneks sulametalli survel, peab vormipoolte sulgemisjõud Q olema suurem rõhujõust P.

Jõud P määratakse eri- ehk tootmissurvega P_c kolvile läbimõõduga d:

$$P = kFP_c \text{ kg},$$

kus F on valandi projektsioonipind vormi eralduspinnale,

k — koefitsient suurem kui 1.

Tabelis 88 on toodud mitmesuguste valumasinate survekambris esinevad erisurved.

Tabel 88

Erisurved survekambris
(N. A. Šubin)

Masina tüüp	Kolvi läbimõõt mm	Erisurve kg/cm²			Survekambri maht üheks löögiks cm³
		Surveaste			
		I	II	III	
Pollack 600	50	160	380	815	135
Sama	60	100	265	565	200
Pollack 900	80	118	294	564	500
Sama	100	76	188	360	780
Pollack 2255	120	84	260	480	1800
	170	42	130	240	2000
1½G*	38,1	—	1121,8	—	229,4
	44,5	—	808,5	—	311,4
	50,8	—	632,7	—	409,7
	57,2	—	492,1	—	524,4
	63,5	—	400,7	—	639,1

* Reduktsiooniklapp võib soovi korral alandada survet survekambris.

Vajalik survekambri maht määratakse valemist:

$$V_k = \frac{\gamma_t}{\gamma_v} V_v ,$$

kus V_v on valandi, valukanalite süsteemi ja pressjäägi metalli üldine ruumala cm³,

γ_t — tahke sulami erikaal g/cm^3,
γ_v — vedela sulami erikaal g/cm^3,
V_k — survekambri maht cm^3.

Peale märgitud sulgevjõu, mis fikseerib pressvormi osade asendi valamisel, on vajalik rangelt jälgida kokkupuutuvate vormipoolte tihedust, et pilusse ei saaks tungida sulametalli juga. Vormide tiheduse suurendamiseks määritakse tema osi seguga üheksast mahulisest osast kastoorõlist ja ühest osast pliisilust [1]. Määre kantakse pintsliga liugepindadele ja pressvormi detailide liitekohtadele, samuti ka suruva kolvi pinnale. Kastoorõli hoidub määritavatel pindadel isegi kõrgetel temperatuuridel, silu aga kõrvaldab sööbimised ja hoiab pressvormi detaile söövete tekkimise eest. Värvikulu 1 t karburaatorvalu kohta on 1,4 kg.

Pressvormi metallseinad kannatavad sulametalliga kokkupuutumisel soojuslöökide all. Korduvad soojuslikud muuted tekitavad põlemisvõrgu; vormi pind rikneb seejuures ca 1 mm sügavuselt ja muutub kõlbmatuks. Eriti suured ohtlikud pinged tekivad metalli valamisel külma vormi. Pressvormide tööea pikendamiseks kuumutatakse neid gaasi- või elektriliste kuumutajatega. Tsingialuseliste sulamite valamisel kuumutatakse vorme kuni 170—200° C, silumiini valamisel kuni 200—225° C, magneesiumialuseliste sulamite puhul — 200—250° C ning vasealuselistel sulamitel 300—350° C. Lubamatu on pressvormide kuumutamine üle optimaalse temperatuuri. Ülekuumutamise vältimiseks valmistatakse vormid kas vee- või õhujahutusega. Vormi kõrge ülekuumutuse puhul võib valatav metall keevituda vormi külge. Kuuma sulami kasutamine vormide kuumutamiseks ei ole soovitav.

Metalli valamisel külma vormi saadakse valandi pind räpane ning vastupidi, metalli valamisel ettekuumutatud vormi saadakse puhta pinnaga valand. Kui vormid on tugevasti üle kuumutatud, siis tsingisulamist detailide valamisel tekib vormile kirme sätendavate laigukestena.

Kroomvolframterasest 3XB8 pressvormide vastupidavus vasesulamite valamisel on 4000—6000 valandit. Ühes Masinaehituse Ministeeriumi tehases kasutatakse pressvormide vastupidavuse tõstmiseks ja alumiiniumisulamite vormidele külgekleepuvuse kaotamiseks pressvormi pinna elektrisädeldusmeetodil katmist kõvasulamitega T15K6 ja BK8 [2].

Survevaluks kasutatavad sulamid peavad vastama järgmistele tingimustele:

1) olema kõrge vedelvoolavusega ka väikese ülekuumutuse juures, et pressvormi kulumine oleks minimaalne;

2) olema kitsa kristalliseerimis-vahemikuga, mis samuti on vajalik pressvormi vastupidavuse tõstmiseks ja valandi kiireks tardumisprotsessiks;

[1] Литейное производство, 1952, пг. 8.
[2] Литейное производство, 1954, пг. 1.

3) olema väikese kahanemisega ning küllaldase plastilisusega kõrgetel temperatuuridel, et mitte kutsuda esile ohtlikke pingeid, mis tekivad valandi kahanemist takistavate jäikade metallkärnide tõttu vormis;

4) olema küllaldase vastupidavusega pragude moodustamisele ja küllaldase tugevusega valandi eemaldamisel vormist või mahavõtmisel kärnilt[1].

Tänu sulami peaaegu silmapilksele tardumisele survevalu protsessis on valandil peeneteraline struktuur ja tavalisel teel saadud valanditest 25—30% suurem tugevus. Survevalu korral valandites tsonaalset likvatsiooni ei esine.

Survevalus on parimad valuomadused tsingisulamitel. Need ei reageeri vormi või katla rauaga ega kleepu vormi pinnale ning on seetõttu kõlblikud suure tootlikkusega masinatel valamiseks. Seejuures kuluvad metallvormid vähe ning võimaldavad valmistada keerulise kujuga õhukeseseinalisi valandeid. Üldiselt kasutatakse aparaadi- ja autoehituses tsingisulameid laialdaselt. Tsingisulameist valandeid võib nikeldada, kroomida jne.

Tsingisulamite puuduseks on suhteliselt kõrge erikaal, mittekülladane vastupidavus korrosioonile, madal külmakindlus ning väike vastupidavus kasvule vanandamisel.

Tabelis 89 on toodud survevaluks kasutatavate tsingisulamite koostis ja omadused.

Tabel 89

Vastutusrikaste detailide valamiseks kasutatavate tsingisulamite keemiline koostis ja mehaanilised näitajad
(V. M. Pljatski)

Keemiline koostis % ja mehaanilised näitajad	Sulami nr.		
	1	2	3
Alumiinium	3,9 —4,3	3,9 —4,3	3,9 —4,3
Vask	2,5 —3,5	0,75—1,25	kuni 0,1
Magneesium	0,03—0,10	0,03—0,08	0,03—0,08
Tsink (99,9%)	Ülejäänud		
Tõmbetugevus σ_b kg/mm²	22—26	20—24	19—23
Sama, peale kunstlikku vanandamist 10 päeva jooksul	19—23	18—22	17—21
Suhteline pikenemine peale vanandamist %	0,5—1,5	1,0—2,0	1,0—2,5
Survetugevus kg/mm²	55—60	53—56	40—42
Brinelli kõvadus H_B	85—90	70—85	60—80

[1] В. М. Пляцкий. Технология литья под давлением. Машгиз, 1949.

Tsingisulamist valandeid võib peale kroomimise katta ka läbipaistvate ja värviliste lakkidega. Survevaluks kasutatakse alumiiniumisulameid, mis sisaldavad 8% Cu või 12% Si. Sulamitel vasega on alandatud vastupidavus pragude moodustamisele ja neid kasutatakse keskmise keerulisusega, ilma suurte siseõõnte ning järskude üleminekuteta detailide valamiseks. Survevalus kasutatakse laialdaselt silumiine. Vastupidavus pragude moodustamisele on silumiinil kõrgem kui tsingisulamitel. Samuti on silumiinist valanditel ka plastilisus kõrgendatud temperatuuridel ning vastupidavus korrosioonile head.

Survevaluks kasutatakse sulameid АЛ2, АЛ3, АЛ4, АЛ6, АЛ9 ja АЛ13. Alumiiniumisulamite puuduseks on väike suhteline pikenemine, madal antikorrosiooniline vastupidavus, kui nad sisaldavad vaske ja rauda, samuti aga ka kõrge ränisisaldusega alumiiniumisulamite raskendatud mehaaniline töödeldavus. Kõige väiksemate puudustega on sulam АЛ13, mis sisaldab 4,5—5,5% Mg; 0,8—1,3% Si; 0,1—0,4% Mn; mitte üle 0,5% Fe; mitte üle 0,2% Zn ja mitte üle 0,1% Cu. Sulami АЛ13 mehaanilised omadused on: $\sigma_b = 15—21 \frac{kg}{mm^2}$; $\delta = 1—3\%$ ja $H_B = 55—65$.

Survevaluks kasutatakse magneesiumisulameid МЛ5 ja МЛ6. Nad ei kleepu vormide külge, on väikese erikaaluga ning hästi töödeldavad, kuid nõuavad survet 700—1000 kg/cm², mis on saavutatav tänapäeva hüdraulilistel külma survekambriga masinatel.

Vormis asuvad kärnid määritakse peale 5—6 valamist vahaga. Valamistemperatuur õhukeseseinalistele detailidele paksusega 1—3 mm on 760—780° C; detailidele paksusega 3—5 mm — 730—750° C ja üle 5 mm paksustele 700—720° C.

Mittekeerulised paksuseinalised detailid valatakse likvidus- (600—610° C) ja solidus- (436—450° C) temperatuuride vahemikus, kuna sulami oksüdeerimine on siis väiksem.

Vase alusel sulamite survevalu erinevuseks on pressvormide suur kulumine ja nende väike vastupidavus kõrgele temperatuurile, milleni kuumutatakse vormid. Suuremalt osalt valatakse vasesulameid poolvedelas olekus, mis on analoogiline kuumstantsimisele. Seepärast on survevaluks kasutatavatele vasesulamitele esitatavaks põhinõudeks nende kõrge plastilisus temperatuuridel, mis asuvad solidusjoone läheduses. Seda tingimust rahuldab valgevask, mis sisaldab 36—40% Zn ning 0,2% Al ja pliid. Nimetatud sulam ei kleepu pressvormile.

Tinapronksid ei ole survevaluks kõlblikud. Parimad tehnoloogilised omadused on ränivalgevasel. Raud ja plii on ränivalgevases kasulikud, antimon ja tina aga kahjulikud lisandid. Tabelis 90 on toodud mõningate ränivalgevase markide koostis ja omadused.

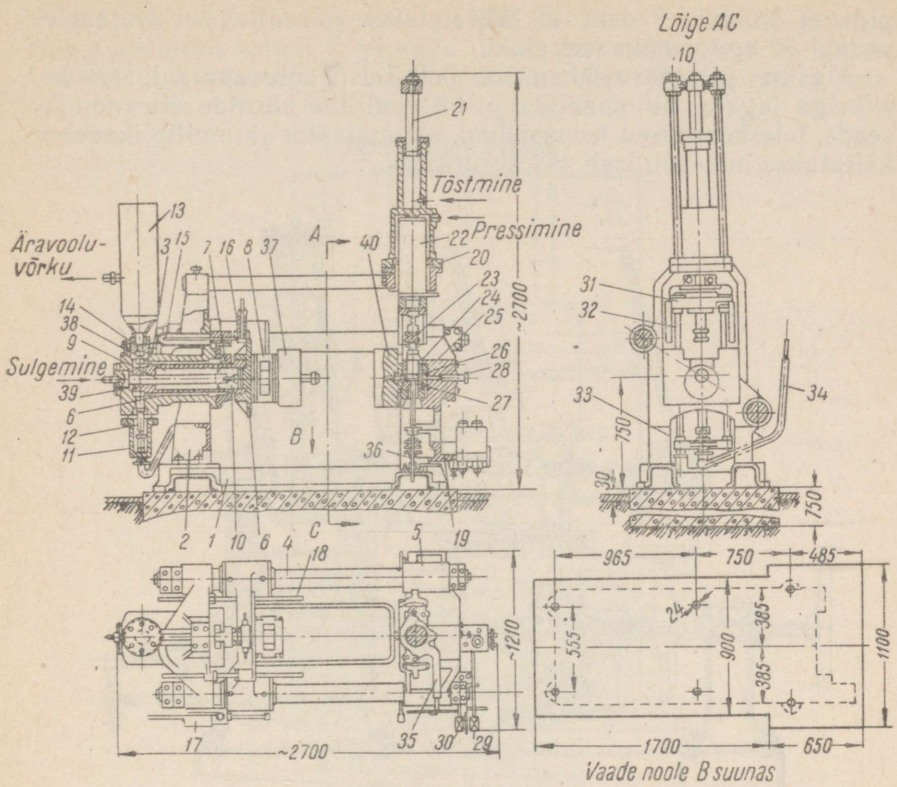
Vase-, tsingi- ja alumiiniumisulamist valandite masstootmiseks kasutatakse masinaid 511 ja ЛД 7, mis erinevad teineteisest üksikute mehhanismide mõõdete ja võimsuse poolest. Kirjeldame

Survevaluks kasutatavate vasesulamite keemiline koostis ja mehaanilised omadused
(V. M. Pljatski)

Sulami koostis ja näitajad	ЛК64-I	ЛК78-2	ЛКА80-3-I	ЛКС60-1,5-3	Alumiinium-mangaan-valgevask
Vask	63—65	77—79	79—81	59—61	58—65
Räni	0,75—1,25	1,8—2,3	3,0—3,5	1,4—1,6	—
Plii	Kuni 2,0	Kuni 2,0	Kuni 0,5	2,5—3,0	Kuni 0,4
Alumiinium .	0,1 —0,2	0,1—0,2	0,8—1,0	0,1—0,2	4,4—5,5
Mangaan . .	—	—	—	—	3,25—3,75
Tina	Kuni 0,1	Kuni 0,1	Kuni 0,1	Kuni 0,1	Kuni 0,3
Raud	„ 0,1	„ 1,0	„ 0,8	„ 1,0	0,4—0,8
Tsink	Ü l e j ä ä n u d				
Tõmbetugevus kg/mm²	30—35	40—45	50—65	30—35	50—55
Suhteline pikenemine %-des . . .	10—15	7—10	1—3	6—10	7—9
Brinelli kõvadus H_B . .	100—120	120—130	180—220	80—100	—

masina ЛД 7 ehitust. Masin (joon. 281) koosneb horisontaalsest plokist, mis sulgeb ja avab vormi, vertikaalsest plokist, mis surub metalli vormi ja eemaldab metalli jäägid silindrist, ning masinat juhtivatest jaotusmehhanismidest.

H o r i s o n t a a l n e p l o k k. Plaadile *1* kinnitatakse alus *2* horisontaalse silindriga *3*. Alus *2* on tugevalt seotud massiivsete varraste *4* abil aluse *5* juhtpindadega. Vardaid mööda liiguvad vormi *6* hoidjad. Vardad *4* võtavad endale surve, mis arendatakse suletud vormide puhul silindris *3*. Plaadile on kinnitatud kolb *7* ja vormitempel *37* vaheraamiga *8*. Kolvis *7* asuvale vardale *9* on kinnitatud ketas *10*, mis eraldab püsiva survega õõnt *38* töösurvega õõnest *39*. Silindri *3* alumise osa külge on ühendatud multiplikaator *11* kolbidega *12*, mis suurendavad sulametalli pressimisel survet kolvile *7*. Silindri ülemises osas asub hüdraulilise akumulaatori *13* balloon, millest tulev vedelik paneb liikuma kolvi *7* vormi sulgemisel. Akumulaatori all on tagasivooluklapp *14*. Silindri kohale on asetatud torust juhtvardad *15* kollektoriga *16* ja jaotajaga *17*. Tõukurid *18*, mis on kinnitatud alusele *2*, läbivad templiplaati.



Joon. 281. Survevalu masin ЛД7:

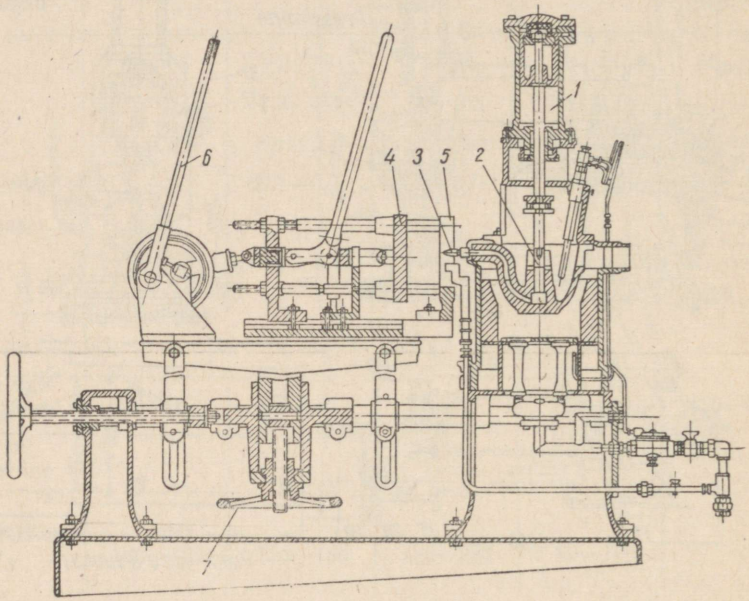
1 — plaat; *2* — alus; *3* — horisontaalne silinder; *4* — vardad; *5* — alus; *6* — vormi hoidjad; *7* — kolb, *8* — vaheraam; *9* — varras; *10* — ketas; *11* — multiplikaator; *12* — koivid; *13* — hüdraulilise akumulaatori balloon; *14* — klapp; *15* — juhtvardad; *16* — kollektor; *17* — jaotaja; *18* — tõukurid; *19* — alus, *20* — survesilinder; *21* — tõstekolb; *22* — survekolb; *23* — survevarras; *24* — survekamber; *25* — plokk; *26* — alumine kolb; *27* — valupuks; *28* — seadepolt; *29* — horisontaalse ploki lülituspedaal; *30* — vertikaalse ploki lülituspedaal; *31* — traavers; *32* — sammas; *33* — sild; *34* ja *35* — käepidemed; *36* — vedru; *37* — vormi tempel; *38* — püsiva survega õõs; *39* — tööosurvega õõs; *40* — vormi liikumatu matriits.

Vertikaalne plokk. Vundamendiplaadile *1* (joon. 281) ja alusele *19* on kinnitatud juhtalus *5* survesilindriga *20*, milles liigub püsiva rõhu all olev tõstekolb *21*. Silindri alumises osas on survekolb *22* survevardaga *23*, mis annab metalli vormi. Ploki *25* alusel *5* on survekamber *24* alumise kolviga *26*, valupuksiga *27* ja seadepoldiga *28*, mis surub puksi vastu liikumatut vormimatriitsi *40*.

Survekolb *22* on ühendatud alumise kolviga *26* traaversite *31*, sammaste *32* ja silla *33* abil. Kolvi *26* all oleva käepidemega *34* tõstetakse varrast *23* ja kontrollitakse tema käigu kergust survekambris. Kolb *26* pöördub kohale vedruga *36* varustatud käe-

pideme *35* abil. Pedaal *29* lülitab sisse ja välja horisontaalse, pedaal *30* aga vertikaalse ploki.

Masina juhtimismehhanismi detailid (jaotusaparaat, jaotussiibriga jagaja, automaatklapp, hüdrauliline kärnide etteandmisseade, teleskoopilised torusambad, akumulaator ja multiplikaator) käitatakse hüdrauliliselt või suruõhuga.



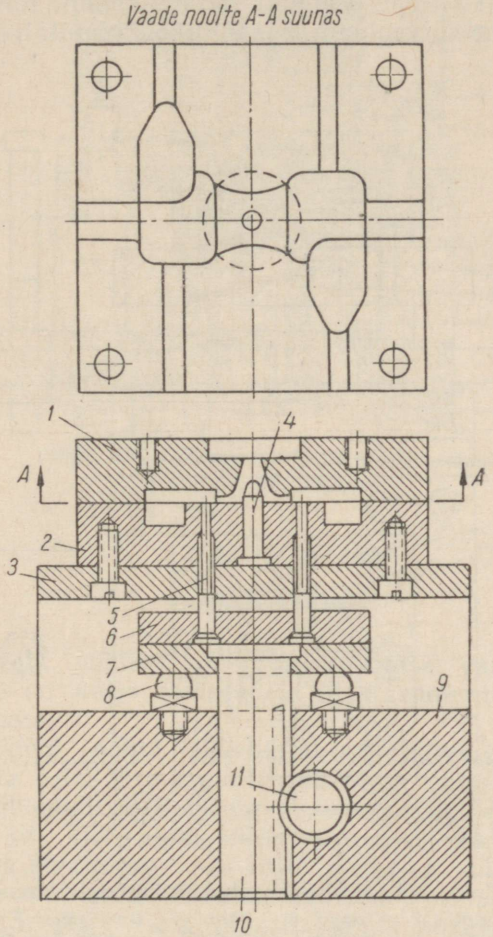
Joon. 282. Käsitsi metalli pressvormi surumisega masin:
1 — suruõhusilinder; *2* — varras; *3* — valupuks; *4* — tempel; *5* — matriits; *6* — kang; *7* — käsiratas.

Masinal, millel surve antakse kolvile käe vajutamisega kangile, samuti aga ka kompressorist rõhuga 5 atü, on kuum survekamber (joon. 282). Metall kuumutatakse masuudiga fassongtiiglis koos survekambri, valukanali kolvi ja valupuksiga. Kolvi tõstmisel metall imetakse läbi avade, kolvi allaliikumisel avad suletakse ja jääkmetall surutakse kolvi poolt vastu valupuksi pressitud vormi.

Suruõhk silindris *1* paigutab ümber kolvivarda *2* ja surub metalli läbi valupuksi *3*. Tempel *4* pressitakse matriitsi *5* vastu ekstsentrik-mehhanismiga kangi *6* abil. Vormi asendit valupuksi ava suhtes reguleeritakse käsirattaga *7* ja juhtpindadega. Mõningatel masinatel kuumutatakse valupuksi ja tiiglit elektrivooluga. Pressvormide konstruktsioon sõltub liikuvate kärnide kujust ja konstruktsioonist.

Väikeste ja keskmiste detailide valamisel ilma liikuvate kärni-

deta (joon. 283) tehakse valandi õõs matriitsi *1* plaadile ja alusele *3* asetatud templi *2* plaadile. Vahetatav hajutaja *4* on asetatud plaadi *2* avasse. Valand tõugatakse välja tõukuritega *5*, mis-

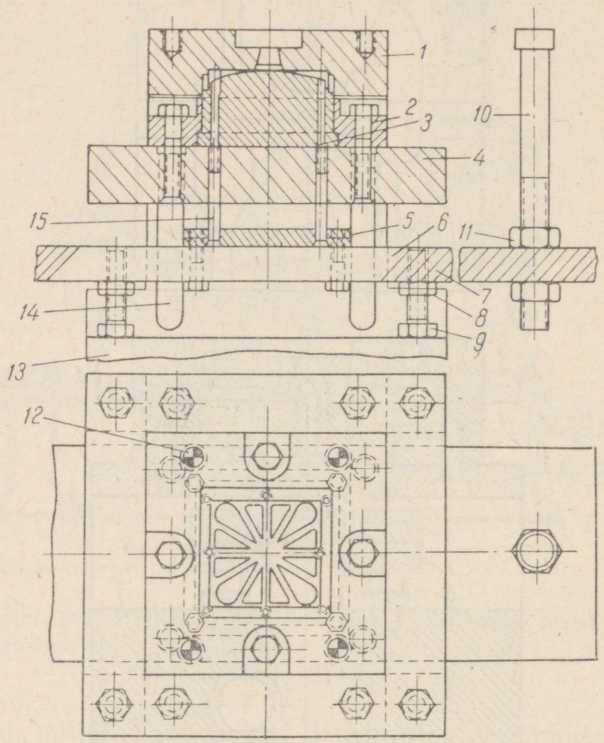


Joon. 283. Väikeste ja keskmiste valandite vorm ilma liikuvate kärnideta (V. M. Pljatski).

on monteeritud plaadile *6* ja surveplaadile *7*. Viimane asetub vundamendis *9* olevatele tugedele *8*. Tõukurid pannakse liikuma võlliga *10* ja hammaslatiga *11*. Avad valandis valmistatakse templiplaadile liikumatult kinnitatud metallkärnidega. Matriits *1* on treitud tasaseks vormi asetamiseks survekambri väljaulatavale valupuksile.

Joonisel 284 on toodud mehhaniseeritud tõukuritega vorm.

Pressvormi poolitus kõverpinda mööda (joon. 285) toimub matriitsi *1* ja templi *2* tasapinnaliste plaatide puhul profiillisadetailide *2* ja *3* abil. Õhu eemaldamiseks vormist on kanalid asetatud lisadetaili *3* tippu. Valandi väljatõukamine toimub hammaslati *8* ning kahe surveplaadi *6* ja *7* vahele kinnitatud kärni *5* abil.

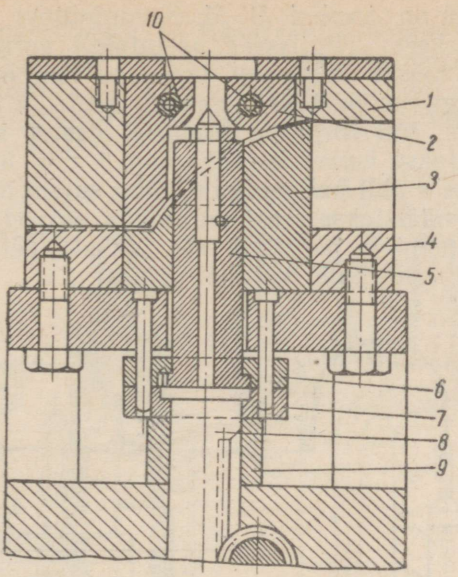


Joon. 284. Mehhaniseeritud tõukuritega vorm:

1 — matriits; *2* — tempel, *3* — kärn; *4* — templi alus; *5* — tõukurite plaat; *6* — tõukurite surveplaat; *7* — tugi; *8* — reguleerivad mutrid; *9* — reguleerimispoldid; *10* — vormi seadevardad; *11* — reguleerimismutrid; *12* — juhtvardad; *13* — postament; *14* — vormi seadevardad; *15* — tõukurid (V. M. Pljatski).

Kärni asend vormis fikseeritakse mehaaniliselt eemaldatava toega *9*. Vormi jahutatakse veega torude *10* kaudu.

Peale valandi eemaldamist pressvormist ta puhastatakse lisametallist ning kraadidest ja valukanalitest. Puhastamiseks kasutatakse käiasid, võllidele ja ketastele kleebitud lihvriiet, samuti aga ka freesisid ja treiteri.



Joon. 285. Kõvera eralduspinnaga press-vorm (V. M. Pljatski).

VAAKUUMVALU

Vaakuumvalu põhineb detailide valamisel vaakuum-imemise meetodil, mis on välja töötatud B. M. Ksenofontovi poolt ühes Uraali tehases.[1]

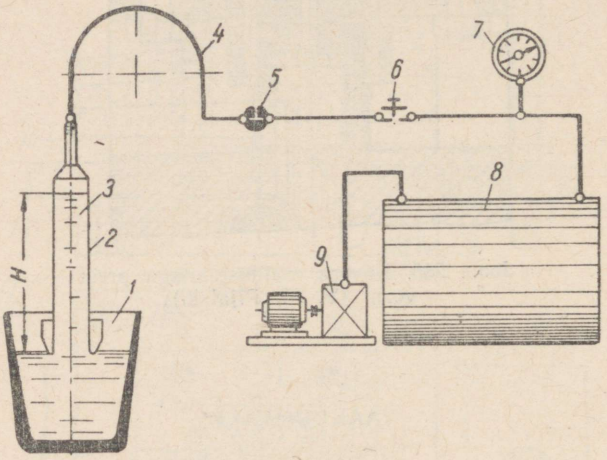
Selle meetodi puhul sukeldatakse õhukeseseinaline, veega vahetpidamata jahutatav metallvorm, mida nimetatakse kristallisaatoriks, otsapidi teatud sügavuseni sulametalli vanni ning pumbatakse siis õhk vormi ülemisest osast vaakuumpumbaga välja. Tekkiva hõrenduse tagajärjel imetakse sulam ettenähtud kõrguseni vormi, kus ta tardudes moodustab valandi, mis lükatakse välja. Seejärel vorm määritakse ja sukeldatakse uuesti metalli ning tsükkel kordub.

Sellel meetodil saadud valanditest treitakse pukse, rõngaid, mutreid, auruarmatuuri detaile, väikesi hammasrattaid ja teisi masinaosi. Tänapäeval valatakse sellel meetodil vasesulameid — pronksi ja valgevaske.

Valandid saadakse tihedad ja peeneteralise ehitusega. Valustruktuuri defektidest tingitud praagi kogus on väiksem kui teiste tuntud valumeetodite puhul.

[1] Б. М. Ксенофонтов. Литье методом вакуумного всасывания, Машгиз, 1952.

Joonisel 286 on toodud B. M. Ksenofontovi vaakuumseadme põhimõtteline skeem. Tiiglisse *1* asetatakse vorm *2*. Peale vaakuumpumba *9* töösse lülitamist imetakse balloonist *8* õhk välja. Hõrendust võrgus mõõdetakse vaakuummeetriga *7* ning reguleeritakse klapiga *6*. Kui vorm on alumise otsaga sukeldatud sulamisse *3*, lülitatakse ümber kolmikkraan *5*, mis ühendab vormi *2* kummivoolikute *4* abil balllooniga *8*, ning sulam tõuseb mõnevõrra vormi. Vormi määritakse seest määrdega, mis sisaldab võrdsetes osades petrooleumi ja parafiini, või lihtsalt petrooleumiga, millele on lisatud veidi pulbrikujulist grafiiti.



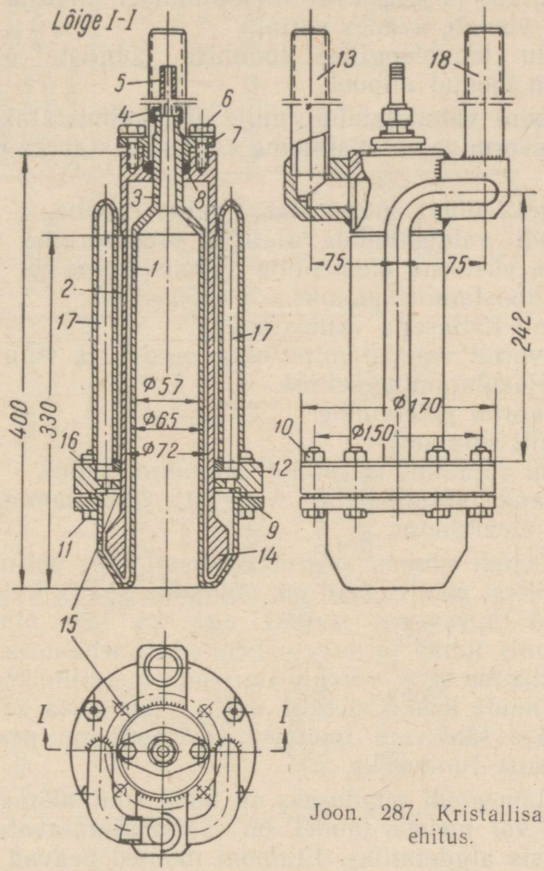
Joon. 286. B. M. Ksenofontovi vaakuumseadme põhimõtteline skeem:

1 — tiigel; *2* — vorm; *3* — vedel sulam; *4* — kummivoolikud; *5* — kolmikkraan; *6* — hõrendusastme regulaator; *7* — vaakuummeeter; *8* — vaakuum-balloon, *9* — vaakuumpump.

Joonisel 287 on näidatud kristallisaatori ehitus. Metallvormi *1* siseläbimõõt vastab valandi läbimõõdule. Vormi *1* ja kesta *2* vahel ringleb jahutusvesi. Sabaosale *3* keeratakse mutri *4* abil nippel *5*, millele asetatakse jäme kummvoolik. Sabaosa ja vormikesta ühenduse tihedus saavutatakse survepoltide *6*, survepuksi *7* ja tihendi *8* abil. Vormi alumise osa ja kesta ühenduse hermeetilisus kindlustatakse veetiheda vaherõngaga *9*, mis surutakse poltidega *10* ja vaba äärikuga *11* vastu kestale keevitatud äärikut *12*.

Selleks et kindlustada valandi suunatud tardumist, juhitakse vesi torust *13* vormi alumisse ossa (vee juhtimiseks ülevalt alla on nurgik *14*), kust ta ringvahe *15* kaudu satub edasi kambrisse *16*. Viimasest suundub vesi mööda torusid *17* nurgikusse *18* ning seejärel süsteemist välja. Vett kuumutatake eelnevalt kuni 40—45° C ja antakse kristallisaatorisse rõhu all 2—2,5 at. Kristal-

lisaatorist väljumisel peab vee temperatuur olema 70—75° C. Vee keemist kristallisaatoris ei lubata. Vormi seinapaksus on ligikaudu 4 mm, vormi ja kesta vaheline pilu aga 3,5 mm. Vorm valmistatakse pehmest süsinikterasest. Enne kasutamist tehakse vormile hüdrauliline proov.



Joon. 287. Kristallisaatori ehitus.

Vaakuumpumba tootlikkus on 0,6 m³ õhku tunnis, kusjuures jääkrõhk on 0,1—0,6 mm *Hg*. Pumba võimsus võllil on 0,3 kW. МХП 1517—47 tüüpi pumpa võib kasutada kuni 100 mm läbimõõduga valanditele.

VALU VÄLJASULATATAVATE MUDELITE ABIL

Valamine väljasulatatavate mudelite abil on viimastel aastatel leidnud tööstuses laialdast kasutamist nii mass- ja suurseeria- kui ka väikeseeriatootmise tingimustes.

Valuprotsessi põhimõte väljasulatatavate mudelitega seisab selles, et kergeltsulavast segust valmistatakse valatava detaili mudel, vormitakse see ning sulatatakse siis vormist välja, tekkinud õõnde valatakse aga metall.

Mudeli valmistamiseks kasutatakse parafiini segu stearііniga või teisi, raskemalt sulavaid aineid. Vormimisel jääb mudel vormiõõnde, kus ta järgneval kuumutamisel sulab ja vormist täielikult välja voolab, avades vormi.

Täpisvalu tehnoloogilise tootmise põhiliste operatsioonide järjekord on toodud allpool.

1. Etalooni valmistamine, mille abil valmistatakse mudel.
2. Pressvormide valmistamine väljasulatatavate mudelite saamiseks.
3. Kergestisulava mudelimassi valmistamine.
4. Mudeli valmistamine alalises pressvormis, aga samuti valukanalite süsteemi elementide valmistamine ja mudeli ning elementide koostamine plokiks või «põõsaks».
5. Mudeli kattesegu valmistamine.
6. Valuvormi valmistamine ning mudeli ja valusüsteemi elementide väljasulatamine sellest.
7. Valuvormi põletamine.
8. Metalli sulatamine.
9. Vormi valamine ja valandi jahtumine selles.
10. Valandi väljalöömine vormist, puhastamine, raiumine, kontroll ja üleandmine.

Selle meetodi edukas tööstuslik kasutamine sõltub tema reast eelistest, millest põhilisemad on: võimalus saada kuju ja mõõdete kõrgendatud täpsusega, samuti aga ka hea pinnasiledusega valandeid, mis lubab järsult vähendada mehaanilise töötlemise mahtu (ligikaudu 90% võrra), alandada metallilõikepinkide koormust ning hoida kokku metalli, mille tulemusena väheneb detaili omahind. See täpisvalu tootmise iseärasus on peamiseks tema progressiivsuse tunnuseks.

Täpisvalumeetodi puuduseks on tema suur töömahukus.

Etaloon või meister-mudel on väljasulatatavate mudelitega valuprotsessis algdetailiks. Etalooni mõõted peavad täpselt vastama valandi mõõdetele, arvestades kahanemist ja teisi kõrvalekaldumisi, mida põhjustavad täpisvalu iseärasused.

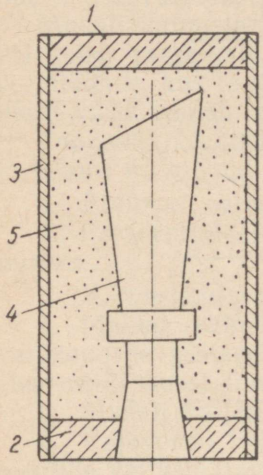
Etalooni järgi valmistatakse 2.—3. täpsusklassi järgi terasest pressvormid. Pressvormi pressitakse mudelipastat. Joonisel 288 toodud turbiinilabidate valamise pressvormil on lahtivõetavad pooled, mille õõnde hüdropressi kolvi abil pressitakse mudelipasta.

Mudelimass ei tohi sisaldada mehaanilisi lisandeid. Tema tuhasisaldus peab olema minimaalne. Valmismassi koostist kontrollitakse temperatuuri ja erikaalu mõõtmisega. Mudelimassi algmaterjalid peavad vastama tingimustele, mis on toodud tabelis 91.

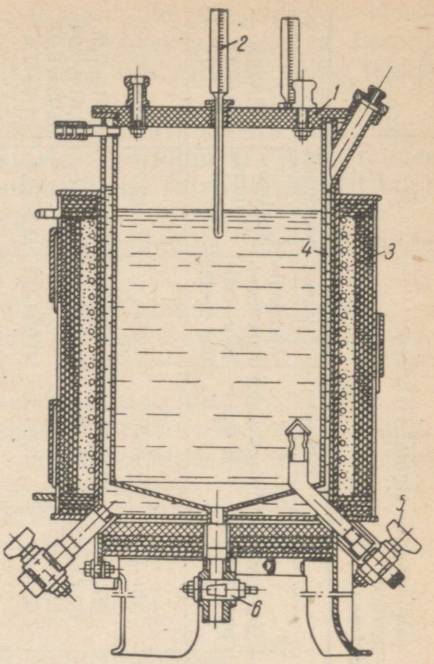
Väljasulatatavate mudelite massi valmistamise algmaterjalidele esitatavad nõuded
(B. S. Kurtšman)

Jrk. nr.	Materjali nimetus	ГОСТ või ОСТ	Sort	Füüsikalis-keemilised omadused				
				Sulamistemperatuur °C	Tuhasisaldus %-des	Mehaaniliste lisandite sisaldus %-des	Niiskusesisaldus %-des	Erikaal g/cm³
1	Stearііn	ОСТ НКПП 517	1.—2. destil.	51—52	0,02	—	0,2	0,92—0,93
2	Parafiin *	784—42	—	50—52	0,01	—	—	0,91—0,97
3	Tseresiin	2488—47		80;75;67	0,03	0,1	—	0,91—0,94
4	Mesilasvaha	ТУ УЗТ—43	1.—2.	65—66	0,02	—	—	0,95—0,97
5	Kampol	797—41	Kõrgem 1	65—68	0,05	0,05—0,1	0,3—0,4	1,0—1,1
6	Etüültselluloos	ТУ МХТП 1958—52	—	165	0,05	—	—	1,1—1,2
7	Polistiirool	ВТУ 241 52	Plokkides mark Д või Т, värvuseta	200	0,02	—	0,1	—
8	Abetiinvaik **	ТУ ГЛХ 01	—	93	Mitte üle 0,2	—	0,5	0,95
9	Kastoorõli ***	ОСТ НКПП 466	—	—16	0,008	—	0,25	0,95—0,97

* Sisaldab õli mitte üle 2,3%.
** Lahustub etüülpiirituses.
*** Viskoossus mitte alla 17,3. Lahustub etüülpiirituses.



Joon. 288. Märgvormimine:
1 ja *2* — niiskest täitematerjalist korgid; *3* — kast; *4* — mudel; *5* — kuiv täitematerjal.



Joon. 289. Elektrivann mudelimassi keetmiseks (B. S. Kurtšman).

Tabelis 92 on toodud üldiselt kasutatavate mudelipastade segude koostised.

Mudelimassi keedetakse elektriga kuumutatavas vannis (joon. 289). Lahtikäivasse kaande *1* asetatakse termomeeter *2*. Vannil on veesärk *3*, termoelement *4*, kraan *5* vedela mudelimassi ja kraan *6* setete väljalaskmiseks.

Peale massi täielikku sulamist hoitakse teda 30—40 min. 80—90° C juures (settimiseks), peale seda aga valatakse roostekindlast terasest kokilli. Vastutusrikaste õhukeste valandite jaoks kasutatav mass filtreeritakse läbi valgevasest sõelte nr. 100—140.

Massid nr. 2, 3, 7, 11, 12 ja 13, mis sisaldavad tselluloosi ja polistirooli, sulavad 110—250° C, ülejäänud massid aga 50—80° C juures.

Seeriatootmises on otstarbekam kasutada raskemaltsulavaid masse, millest valmistatud mudel, võrreldes kergeltsulavaist massidest valmistatuga, kõverdub vähem.

Etüültselluloosi lisandiga massid valmistatakse elektrilistes õlivannides.

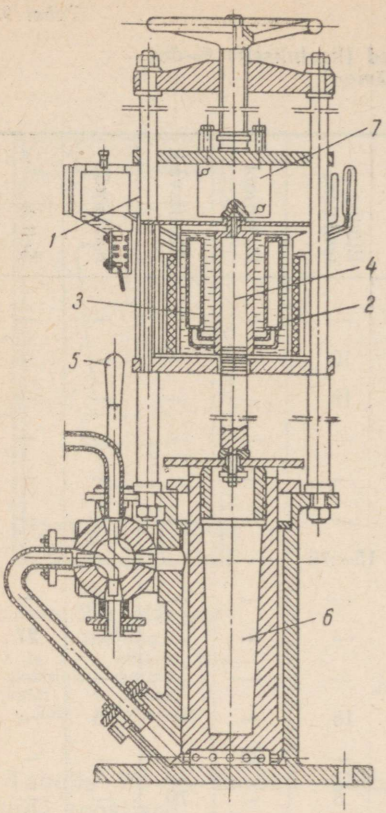
Väljasulatatavatel mudelitel on väike mehaaniline tugevus ja võrdlemisi suur kahanemine. Selleks, et saada tihedat mudelit, suunatakse mass pressvormi rõhu all.

Mudelimassi segude koostised (kaaluliselt) %-des
(B. S. Kurtšman)

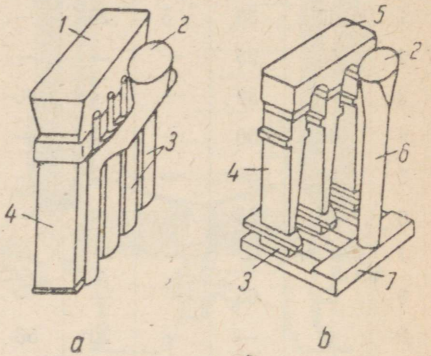
Jrk. nr.	Steariin	Parafiin	Tseresiin	Mesilasvaha	Kampol	Etüültselluloos	Polistirool	Abetiinvaik	Kastoorõli	Šellak
1	40	30	5	25	—	—	—	—	—	—
2	65	25	—	—	—	10	—	—	—	—
3	—	38	—	4	40	18	—	—	—	—
4	40	60	—	—	—	—	—	—	—	—
5	50	50	—	—	—	—	—	—	—	—
6	75	25	—	—	—	—	—	—	—	—
7	85—90	—	—	—	—	15—10	—	—	—	—
8	32	65	—	—	—	—	—	—	3	—
9	—	—	—	20	53	—	—	—	—	27
10	70	20	10	—	—	—	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	15	—	—	5	—
12	—	—	20	—	50	—	30	—	—	—
13	25	—	—	—	—	5	—	70	—	—

Massi КПЦ valmistamiseks (kampolit 50%, polistirooli 30% ja tseresiini 20%) laaditakse vanni kampol, mis on peenestatud tükkideks suurusega 30—50 mm. Pärast kampoli sulamist (sulab temperatuuril 140—160° C) lisatakse sellesse tseresiini. Sulatatud segu valatakse roostekindlast terasest nõusse ning filtreeritakse vedelik läbi valgevasest traatidest sõela nr. 100—140. Mass valatakse uuesti vanni ja lisatakse temasse osadeviisi polistirooli. Temperatuur tõuseb kuni 220° C. Massi segatakse. Peale õhumullide eraldumist hoitakse massi veel mõni aeg 200° C juures ning valatakse siis kokilli. Mass süttib temperatuuril 350° C, mistõttu vannil peab olema termoregulaator. Massi tuleb keeta kummi all.

Joonisel 290 on näidatud hüdropress mudelimassi surumiseks pressvormi. Punkrisse *1* asetatakse mudelimassi tükid. Siin neid kuumutatakse elektriliste takistuselementidega, misjärel nad sattuvad vahepealsesse veesärgiga *3* silindrisse *2*. Viimasest juhitakse sulatatud mass mööda torusid survekambrisse *4*. Pannes käepideme *5* abil liikuma hüdraulilise silindri *6* kolvi, suunatakse vedel mass survekambrist rõhu all pressvormi *7* alumisse ossa.



Joon. 290. Hüdropress väljasulatatavate mudelite valmistamiseks.



Joon. 291. Mitme detaili grupis valamise plokk ühise valukausi ja kollektoriga (B. S. Kurtšman):
a — ülaltvalamine; *b* — sifoonvalamine; *1* — valupea; *2* — valukauss; *3* — pilukujuline valukanal; *4* — detail; *5* — valupea; tõusupea; *6* — püstkanal; *7* — kollektor.

Ülemine käsiratas võimaldab pressvormi pooli kokku suruda ja avada. Valmismudel võetakse ettevaatlikult pressvormist välja, kontrollitakse ning antakse ilma parandusi tegemata mudelite ja valukanalite süsteemi ploki monteerimiseks. Praagitud mudelid murtakse puruks ja antakse punkrisse *1*.

Mudelid on nõrgad, kergelt painduvad ja nõuavad ettevaatlikku ümberkäimist. Kraadid, valumid jne. puhastatakse hästi teritatud mitmesuguse kujuga vorminugade abil.

Valmiselemendid asetatakse puust rakisele, mis väldib nende läbivajumist omakaalu mõjul.

Joonisel 291 on toodud ühise valukanalite süsteemiga valandite plokk. Valukanalite süsteemi ja valupea mõõted arvutatakse väljasulatatavate mudelite kasutamisel hüdraulika üldiste seaduste põhjal. Erinevuseks on, et väljasulatatavate mudelite järgi valatakse peamiselt terasvalandeid, kusjuures valamise momendiks kuumutatakse vorme kõrgete temperatuurideni. See tingimus mõjutab teatud määral arvutust, sest sulami vedelvoolavus on eriti suur. Kuumutatud vormis kaotab metall enne täielikku peatumist

valamise lõppemisel vähe soojust. See võimaldas A. A. Arutjunjantsil Leningradis valada roostekindlast terasest roosi kroonlehtede paksusega 0,5 mm.

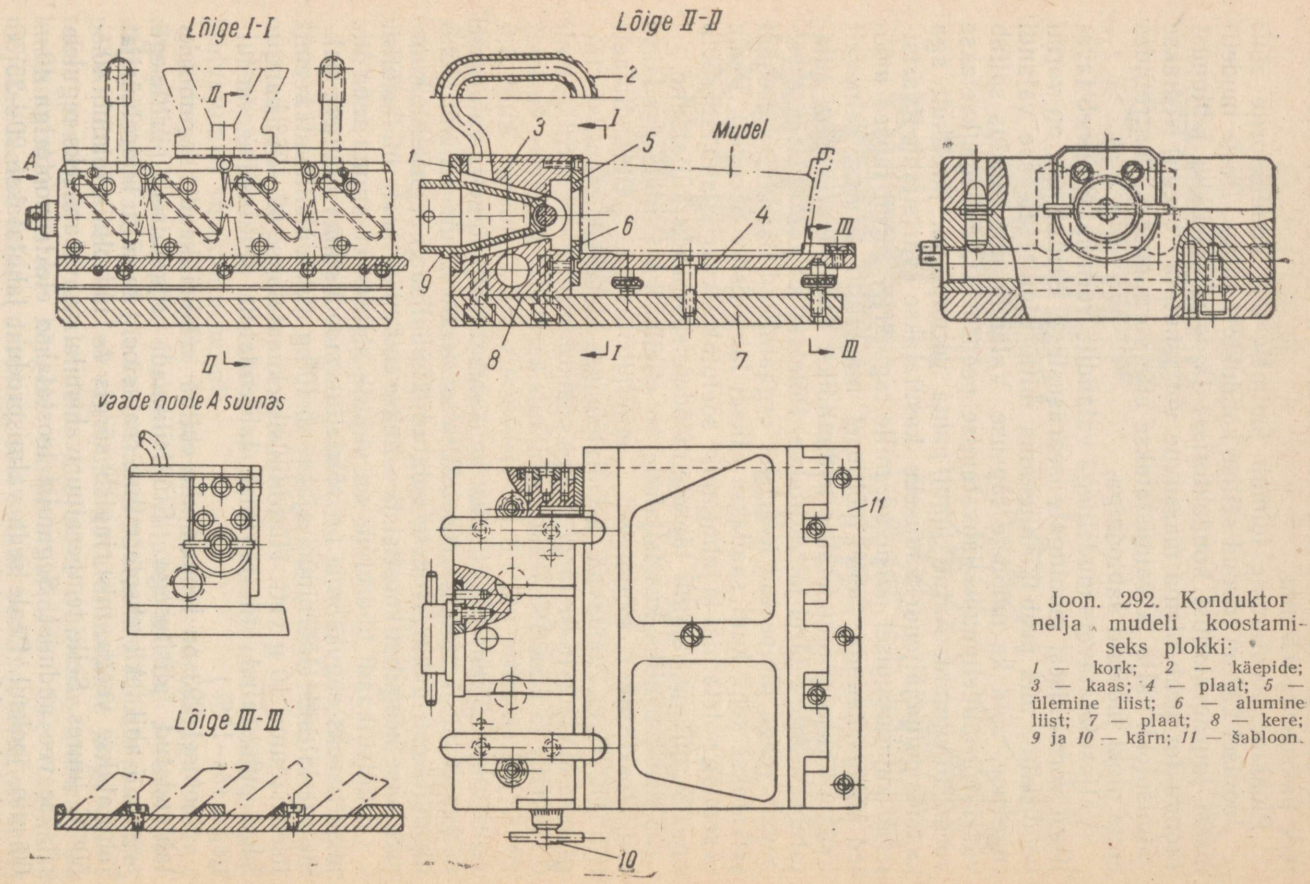
Plokkide koostamine toimub jootmise teel konduktorite abil. Joonisel 292 on toodud sellise konduktori ehitus. Peale mudelimassi juurdevalamist konduktorisse ja tema täielikku jahtumist (konduktor peab olema massiivne või jahutatav veega) võetakse valmisplokk välja ja valmistatakse ette vormimiseks, kontrollides enne ploki mõõteid šablooniga.

Väljasulatatavate mudelitega valandite vormimine erineb tavalisest vormimisest mõningate iseärasustega. Eriline osa on vormi voodrikihil, mis peab kindlustama mitte ainult tulevase valandi tugevuse, vaid ka mõõdete täpsuse. Valandi pinnasiledus sõltub värvi või mudelipuudri jahvatamise peensusest, millega kaetakse vormi tööpinnad. Antud juhul puhta vormipinna, järelikult aga ka tema puhta jäljendi saamiseks kasutatakse kvartsijahu. Kvartsiterad kuumutamisel paisuvad, mille tagajärjel vormi täpsed mõõted võivad kaduda. Sellel põhjusel maršaliidi kvartsi eelnevalt lõõmutatakse ja muudetakse tridimiidiks. Vahel kvarts isegi sulatatakse ning seejärel jahvatatakse. Põletamisel kõrvaldatakse eelnevalt veega läbipestud kvartsist orgaanilised lisandid. Pesemist jatkatakse seni, kuni saadakse täiesti läbipaistev pesuvesi. Peale pesemist, põletamist ja jahutamist sõelutakse kvartsijahu läbi sõela nr. 140, mis on valandi täpsete mõõdete saamiseks küllaldane.

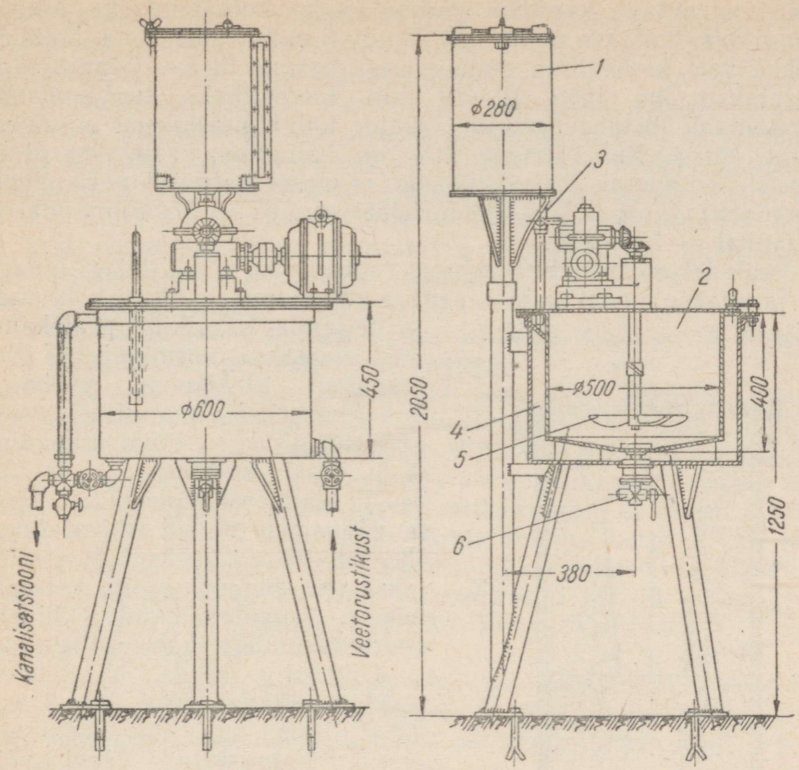
Sidematerjaliks kvartsijahule on etüülsilikaat, mida saadakse ränitetrakloriidi töötlemisel etüülpiiritusega. Etüülsilikaati $Si(OC_2H_5)_4$ toodavad keemiatööstuse tehased tehnilise tingimuse MXΠ 2818-51 järgi. Selles peab olema 30—34% SiO_2, kuni 0,15%HCl ja kuni 3% fraktsiooni, mis keeb 110° C juures. Erikaal 20° C juures mitte üle 1,0 ja viskoossus 20° C juures kuni 1,6 sentistoksi. Etüülsilikaat, mis on saadud väljastpoolt, valatakse vähemalt 200 l mahuga roostekindlast terasest nõusse. Nõu peab olema täiesti puhas. Nõusse valatud etüülsilikaati segatakse, kontrollitakse keemilist koostist ja antakse tootmisse peale hüdrolüüsi.

Etüülsilikaadi hüdrolüüs on vajalik selleks, et muuta teda liimisarnaseks seguks, mis on võimeline moodustama nõutava paksusega kilesid. Hüdrolüüsi ajal peab 100 g algetüülsilikaati keemiliselt siduma 10 g vett. Hüdrolüüsiks kasutatakse 92—96° kangusega puhastatud etüülpiiritust, lahjendatult arvutusliku veehulgaga (8—15%).

Joonisel 293 on toodud nõu ehitus etüülsilikaadi segamiseks lahjendatud piiritusega. Etüülsilikaadi segamisel piiritusega segaja *5* abil tekib eksotermiline reaktsioon; seetõttu hüdrolüüsijat jahutatakse veega, mis ringleb särgis *4*. Hüdrolüüs toimub 40—50° C juures. Selle temperatuurivahemiku saavutamiseks reguleeritakse vee andmist. Segamist teostatakse elektrimootoriga 40—60 min. jooksul. Peale seda valmisprodukt jahutatakse 20—25° C ja valatakse klaaspudelisse, mis suletakse kummikorgiga.



Joon. 292. Konduktor nelja mudeli koostamiseks plokki:
1 — kork; *2* — käepide; *3* — kaas; *4* — plaat; *5* — ülemine liist; *6* — alumine liist; *7* — plaat; *8* — kere; *9* ja *10* — kärn; *11* — šabloon.



Joon. 293. Hüdrolüüsija:
1 — dosaator; *2* — hüdrolüüsija; *3* — voolik; *4* — veesärk; *5* — segaja; *6* — väljavoolukraan.

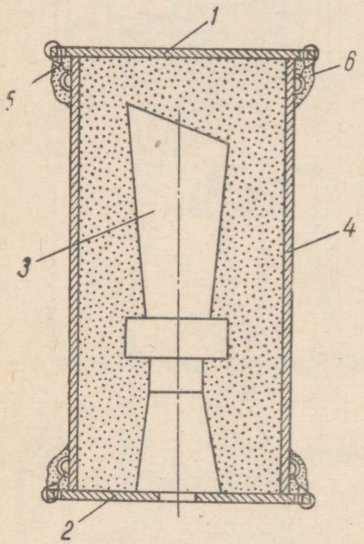
Stabiilsete tulemuste saamiseks lastakse hüdrolüüsitud etüülsilikaati enne kasutamist seista mõnest tunnist kuni 2—3 ööpäevani.

Väljasulatatava mudeliploki voodri värv valmistatakse arvestusega 100 g kvartsijahu 45—55 ml hüdrolüüsitud etüülsilikaadi kohta. Selline segu annab praktiliselt kõige paremaid tulemusi. Mingeid muid lisandeid (boorhapet, glütseriini jne.) värvis ei lubata. Värvi paksust kontrollitakse areomeetriga. Mudeliploki värvimine toimub tema kastmisega värvivanni; pintsliga katmine ei anna ühtlast kihti värvitava ploki pinnal. Iga värvikiht ploki pinnal puistatakse üle põletatud kvartsijahuga, mis on eelnevalt sõelutud läbi sõela nr. 50.

Mudeliplokk kastetakse 3 kuni 6 korda värvivanni. Peale esimest ploki värvimist puhutakse ta üle liivaga ja viiakse riiulitega varustatud kuivatuskappi (mahuga 250 l). Enne kuivatamist hoitakse plokke õhus 5—40 min., misjärel asetatakse kapi riiulitele

balloonist antava gaasilise ammoniaagiga kuivatamiseks. Ammoniaagijoas hoitakse plokke ligikaudu 5 min. Peale seda hoitakse plokke veel kapis ilma ammoniaagi lisamiseta 5—10 min. ning asetatakse õhu kätte 10—40 min. loomulikuks tuuldumiseks. Ammoniaak tõstab värvitud plokkide kuivatamiskiirust mitukümmend korda. Kui esimene kiht on kuivanud, kastetakse plokk uuesti värvivanni. Värvi tihedus esimesel katmisel peab olema areomeetri järgi 1,685—1,695, teisel — 1,65—1,67, kolmandal ja neljandal — 1,6—1,62.

Peale teise värvikihi kandmist raputatakse plokk jällegi liivaga üle ja viiakse uuesti ammoniaagiga kuivatamisele. Peale kolmanda ja neljanda värvikihi pealekandmist kaetakse vormimiseks ebamugavad plokikohad võõbaga, mis koosneb 50 kaalulisest osast hüdrolüüsitud etüülsilikaadist, 99,5 osast kvartsliivast ja 0,5 osast magneesiumoksüüdist. Peale võõpamist plokid kuivatatakse õhus 40—60 min. jooksul ja allutatakse siis ammoniaagiga kuivatamisele. Kuivatamisajad kõikideks operatsioonideks kahekordistuvad.



Joon. 294. Kuiva täitematerjaliga vormimine kuumuskindlast terasest alusel:

1 — ülemine alus; *2* — alus valukanali avaga; *3* — mudel; *4* — kasti sein; *5* — sidumistraat; *6* — savimäärе.

Esimest korda kastetakse plokk värskesse värvi, edasi aga värvi, mis on juba kasutusel olnud. Valmistatud värvi võib kasutada 2—3 päeva. Vigadega plokke ei vormita.

Järgmiseks operatsiooniks on vormimine, s. t. värvitud plokkide ja kasti seinte vaheruumi täitmine täiteseguga.

Täitesegu võib olla kuiv või märg. Hiljuti tehti ettepanek täitesegu asemel kasutada täiendavat kolmekordset värvimist seguga 70%-st kvartsliivast, mis on sõelutud läbi sõelte nr. 100—120, ja 30%-st vesiklaasist erikaaluga 1,2. Ploki väliskiht on peale sellist töötlemist küllalt tugev tervele valamisvormile jäikuse andmiseks.

Kuivaks täitematerjaliks kasutatakse kvartsliiva, mis kuumutamisel paisudes võib moonutada mudeli mõõteid. Kuiva vormimisviisi kasutatakse laialdaselt nendel juhtudel, kui ei nõuta valandi mõõdete suurt täpsust. Kuiv täide on märjast odavam.

Kuivaks täiteks kasutatakse ka kvartsliiva K50/100 segu 1—2% booraksiga või boorhappega, šamottpulbri segu 1—2% booraksi või boorhappega või peenestatud ning sulatatud kvartsi

sama hulga booraksi või boorhappega. Viimane segu annab valanditele suurima tugevuse. Vormitakse alusel (joon. 294), millel on valukanali ava. Alus kuumutatakse kuni 100° C ja hõõrutakse üle mudelimassi tükiga. Peale seda asetatakse alusele põhjaga ülespoole, valukausiga aga allapoole mudeliplokk nii, et valukausi keskosa asuks aluses oleva ava keskkoha vastas. Plokk sulatatakse seejuures aluse külge. Peale seda paigutatakse alusele ilma ülemise põhjata *I* kast (valmistatud kuumustugevast terasest). Ploki ja kasti vahelisse õõnde raputatakse täitesegu ja tihendatakse see vasara kergete löökidega vastu kasti, ettevaatliku trampimisega või raputamisega raputuslaual.

Peale seda kaetakse kast umbse alusega. Alumine ja ülemine alus kinnitatakse ja määritakse saviga.

Märja täite (vt. joon. 288) puhul asetatakse tavalisele alusele, mis on määritud masinaõliga, kuumustugevast terasest kast ning viimase keskele plokk valukausiga allapoole. Seejärel raputatakse kasti märga massi ($^2/_3$ valukoonuse kõrguselt), mis koosneb 90% kvartsliivast ja 10% vesiklaasist erikaaluga 1,2. Massi trambitakse kergelt ja see moodustab vormi ülemise korgi. Peale seda raputatakse kasti kuiva täidet ja tihendatakse seda. Vormi ülemisse ossa raputatakse 20—30 mm paksune kiht märga täidet, mida nimetatakse vormi alumiseks korgiks. Korgid kivinevad 2—3 tunni jooksul nagu tsement.

Kuiva täitematerjaliga vormimisel jääb ära kauakestev kuivatamine, mis märja täite kasutamisel on möödapääsematu; järelikult, operatsioonide tsükkel kuiva täitematerjaliga töötades on lühem.

Märja täitematerjali kasutamisel võib vesiklaasi edukalt asendada kiireltkivistuvate aluminaattsementidega mark 300, 400 või 500. Segu koostatakse 80—90% kvartsliivast ja 20—10% aluminaattsemendist, millele lisatakse 30—40% vett (mahuliselt).

Täide segatakse kollerites või betoonisegajais. Segamisaeg on 10—15 min.

Kergeltsulavad mudelimassid sulatatakse vormist välja aurujoaga rõhul 0,5—1,0 at. Mudelimass voolab välja koos kondensaadiga ja eraldub viimasest kergesti. Raskeltsulavate masside korral kasutatakse kuumutatud õhku.

Peale mudeli ja valukanali elementide väljasulatamist kuivatatakse vormid (kaaluga kuni 30 kg) elektrilistes kuivatusahjudes järgmise režiimi järgi: kuumutamine kuni 50° C ja väljahoidmine sellel temperatuuril 6 tundi; kuumutamine kuni 90° C — 4 tunni jooksul, kuni 120° C — 3 tunni jooksul, kuni 150° C — 3 tunni jooksul, kuni 180° C — 2 tunni jooksul, kuni 210° C — 2 tunni jooksul ja kuni 250° C — 2 tunni jooksul. Kogu kuivatustsükkel kestab 22 tundi. Väikesed vormid kuivatatakse kiiremini, massiivsete valandite vormid aeglasemalt. Peale kuivatamist viiakse vormid otsekohe kamber- või metoodilist tüüpi elektrilisse põletusahju. Väikese tootmismahu korral kasutatakse ahje tüüp ПН-12,

ПН-13 või ПН-15. Kuni 30 kg kaaluga vormid laaditakse põletusahju 250° C juures, hoitakse sellel temperatuuril 2 tundi, peale seda kuumutatakse kuni 350° C 2 tunni jooksul, kuni 500° C — 2 tunni jooksul, kuni 600° C — 2 tunni jooksul, kuni 700° C — 1 tunni jooksul, kuni 800° C — 1 tunni jooksul ja kuni 900° C — 4 tunni jooksul. Kogu vormi põletus-tsükkel kestab 14 tundi. Vormi kiirendatud kuivatamisel või põletamisel võivad niiskuse jäägid esile kutsuda vormi lõhkemise või tekitada pragusid.

Terase sulatamine ja metalli valamine vormi ei erine millegagi tavalisest väikese kaaluga õhukeseseinaliste terasvalandite tootmisest. Kuid tuleb märkida, et terase liiga aeglane tardumine kuumas vormis soodustab süsiniku väljapõlemist ning gaasilise ja kahanemise päritoluga pooride tekkimist. Peale jahutatud valandite väljavõtmist puhastatakse plokid keraamilisest kestast ja eemaldatakse püstkanalid. Seejärel töödeldakse valandeid termiliselt ning puhastatakse lõplikult.

MALMLEHTEDE TOOTMINE

Sulatatud malmi valamine kahe horisontaalse pöörleva valtsi vahele võimaldab saada õhukesi, ainult mõnevõrra katusepleki paksust ületava paksusega malmlehti.

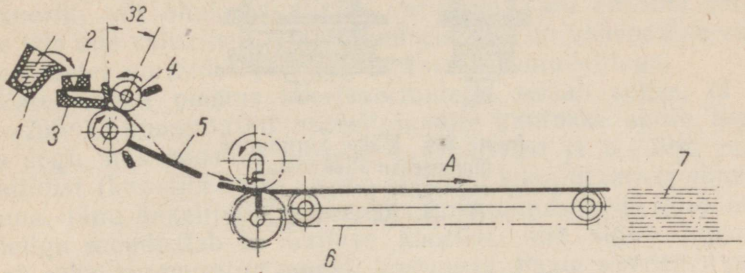
Sulamalmi valtsimisel on terve rida olulisi paremusi, võrreldes lehtmaterjali valtsimisega. Selle viisi peamiseks eeliseks on suure energiatarvidusega operatsioonide puudumine, mis on paratamatud tavalisel valtsimisel, sest võrreldes kõva materjaliga on vedelikule kergem anda ükskõik millist kuju. Peamiseks puuduseks malmlehtede tootmisel on kristallide suur kasvukiirus, mistõttu vedelik ei jõua oma väiksema liikumiskiiruse tõttu täita interkristalliitseid poore. Selle tulemusena saadakse suurel hulgal poore — pragude moodustamise tsentreid. Valmisleht kattub kahanemispäritoluliste pragudega, mis vähendavad tugevust, plastilisust ja korrosioonikindlust.

Sulametall valatakse peale räbust puhastamist teekannutaolises kopas *1* (joon. 295) valukoonusesse *2*, kust ta satub pilu *3* kaudu pöörlevate silindriliste tasase pinnaga valtside vahele, mille teljed on rangelt horisontaalsed ja paralleelsed. Valtside vahe suurus vastab lehe *5* paksusele. Valtside sees ringleb vesi. Tänu kokkupuutumisele valtside külmade pindadega sulamalm kiiresti kristalliseerub ning muutub valtse läbides lõputuks lindiks, mille laius vastab valtsidevahelise vaheruumi pikkusele. Riba satub rullidega vastuvõtu-lauale *6*, mille lõppu on asetatud giljotiintüüpi käärid. Käärid lõikavad lindi kindla pikkusega lehtedeks, mis antakse virna *7* laotuna lõõmutamiseks ahju.

Lehtede valmistamisel kasutatakse järgmise koostisega malmi: 3,3—3,5% C; 1,6—1,8% Si; 0,4—0,6% Mn; 0,15—0,25% P ja kuni 0,10% S. Valtsi külmade pindadega kokkupuutumisel kristalliseerub malm metastabiilses süsteemis valge murdega ning on lõõmu-

tamiseni kõva ja habras materjal. Lehtede lõõmutamisel toimub grafitiseerimine ja sisepingete kaotamine, kusjuures valgemalm muutub musta murdega tempermalmiks.

Saadud lehti kasutatakse peamiselt katuse kattematerjaliks, kuid samuti ka külmalt stantsitud detailide, näiteks postamentide, lauakeste jne. valmistamiseks. Terasega võrreldes on tempermalmil väike plastilisus, mistõttu seda saab stantsida ainult



Joon. 295. «Valatud» malmlehe vedelvaltsimine.

ilma sügava tõmbamiseta. Tempermalmist katusepleki lehtede äärt painutada ei saa. Malmlehed asetatakse katusele üksteise peale analoogiliselt katusekividega. Korrosioonist hoidumiseks värvitakse katused nagu tavaliselt.

Tänapäeval on valatud malmlehtede tootmine laia tööstusliku juurutamise staadiumis.

VALU KOORIKVORMIDESSE

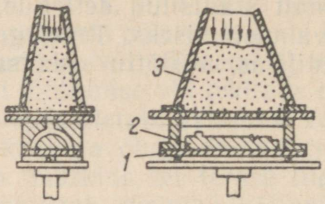
Valandite valmistamisel muldvormides, mis on tänapäeval enamlevinud, on suuri puudusi. Nende tootmine ja transportimine, suure hulga vormiliivade ja savide valmistamine ning vormisegu tihendamine vormis on seotud suure töö- ja energiakuluga. Peale selle tekib valandite väljalöömisel veel ohtrasti tolmu. Õhukeseseinaliste koorikvormide puhul neid puudusi ei esine. Nimetatud meetod põhineb sellel, et täitesegu asemel moodustatakse mudeli ümber õhuke, mudelisegust koosnev koorik. Mida suurem on saadava kooriku tugevus (peab vastu pidama sulametalli hüdrostaatilisele rõhule), seda õhem võib ta olla.

Ettepaneku kasutada valandite tootmiseks õhukeseseinalisi või koorikvorme tegi B. V. Rabinovitš 1944. a.[1] ning see on tänapäeval kasutamisel paljudes eesrindlikes tehastes.

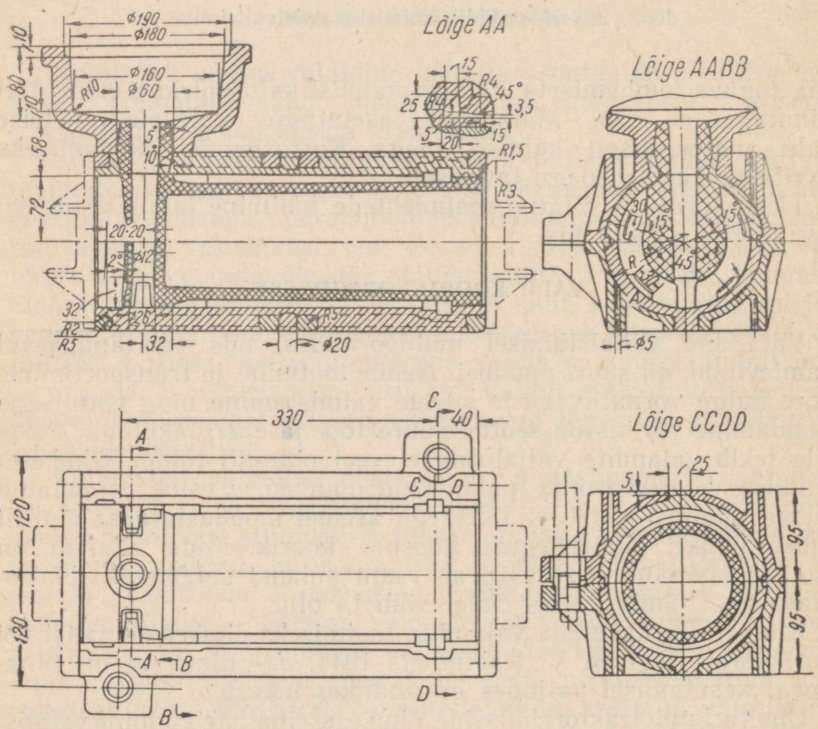
Ühe variandi traktori hülsside õhukeseseinaliste vormide valmistamiseks liivapuhumismasinaga töötas välja Moskva Automehaanika Instituudi valutehnoloogia kateeder, mida juhatab prof. P. N. Aksenov. Mudeliplaadile *1* (joon. 296) asetatakse metallmudel *2*, millel on augud õhu väljajuhtimiseks vormiõõnest. Plaa-

[1] «Литейное производство», 1953, nr. 9, lk. 1.

dile on asetatud kast, mille ülemisse ossa on puuritud augud suruõhuga liivapuhumismasina punkrist *3* antava segu läbilaskmiseks.



Joon. 296. Hülsi vormimine õhukeseseinalise vormi voodrikihi puhumisega (P. N. Aksenov jt.).



Joon. 297. Traktori hülsi AO2—2 õhukeseseinalise vormi konstruktsioon (P. N. Aksenov jt.).

Joonisel 297 on kujutatud traktori «Universaal» hülsi vormi konstruktsioon vaates ja lõigetes. Valukanalite süsteem on asetatud kärni otsapoolsesse ossa. Vormi otsad on lahtised, et vähen-

dada vormi kaalu ja parandada gaaside äravoolu kärnist. Valukoonus on tehtud kärni. Kastile on antud ekspluatatsioonis käsitsemiseks sobiv kuju ning ta kaalu on vähendatud. Segukulu on viidud miinimumini. Seguheitjat, mida kasutatakse selleks tööks, on kateedri (juhatab prof. P. N. Aksenov) töötajate poolt täiustatud. Masinal [1] on erinevalt tavalisest masinast mark 287 dosaator ja kahekordsete seintega reservuaar.

Koorik- või õhukeseinalistes vormides valu edasine täiustamine viis uue valuviisi väljatöötamisele, mis on vahepealne valuga ühekordsetes vormides ja väljasulatatavate mudelitega.

Valumeetodi olemus koorikvormidega seisab selles, et kuni 200—250° C kuumutatud mudeliplaadile kantakse suure tugevusega segu, mis koosneb peenest kvartsliivast ja 6—10% pulberbakeliidist (kunstlik vaik). Kuna segu on kuumutamisel võimeline sulama, tänu bakeliidile segus, siis kokkupuutumisel kuumutatud mudeliga moodustab ta ühtlase kooriku, mis suure täpsusega annab edasi kuumutatud mudeli kontuurid. Peale soovitava paksusega kooriku tekkimist eemaldatakse liigne segu mudeliplaadilt (seda võib kasutada järgmiste poolvormide valmistamisel) ning antakse mudeliplaat koos temal tekkinud poolkõva koorikuga põletamisahju. Viimases hoitakse teda 10—40 sek. temperatuuril 250—400° C, mille tulemusena koorik lõplikult kivistub.

Mudeliplaadi väljumisel ahjust võetakse koorikpoolvorm maha. Mudelilt mahavõetud koorik asetatakse riiulile jahtuma. Valuvormi saamiseks liidetakse koorikpoolvormid paaridena. Valmistatud koorikvormi võib kasutada otsekohe valamiseks või anda lattu.

Koorikpoolvormide valmistamise seadmel (joon. 298) on elektriline kuumutusahi *1* ja käsipink *2*, millele asetatakse mudeliplaat koos metallmudeliga. Kui mudel on ahjus kuumenenud, asetatakse ta plaadile *4* ning kinnitatakse klambritega *3*. Punkrit *5*, mis sisaldab hoolikalt segatud liiva ja bakeliidi segu, pööratakse käsitsi 180° võrra. Raskusjõu mõjul langeb segu kuumutatud mudelile, sulab ja tardub; 10—20 sek. pärast pööratakse punker esialgsesse asendisse. Osa segu jääb mudeli külge, moodustades vormi koorikkihi, külm segu aga langeb punkrisse ja seda kasutatakse järgmiseks vormimiseks. Mida kõrgem on mudeli temperatuur ja mida kauem hoitakse segu mudelil, seda paksem saadakse koorikpoolvorm. Tardumise lõpetamiseks viiakse mudeliplaat koorikuga 2—5 minutiks elektriahju, mis on kuumutatud kuni 250—300° C. Ahju kõrgema temperatuuri korral hakkab lahutusõli välja põlema ning koorik kleepub mudeli külge ja muutub hapraks. Tardunud kooriku eemaldamine mudelilt toimub tõukurite abil.

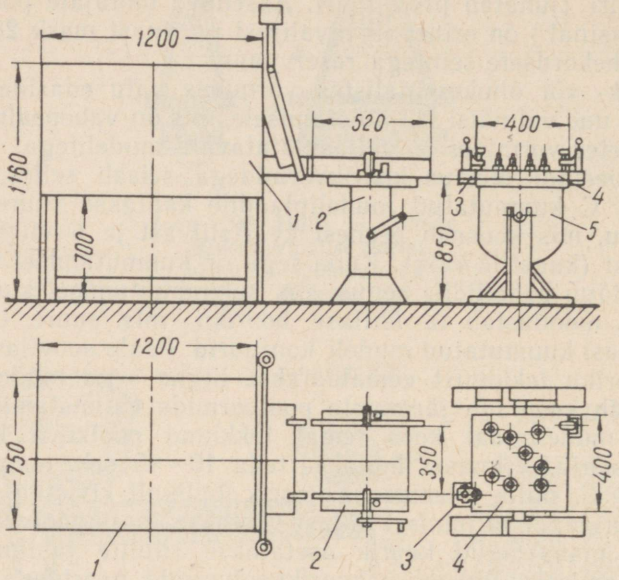
Koorikkärnid valmistatakse samal viisil.

Poolvormide ühendamine toimub klambritega, poltidega või liimimisega.

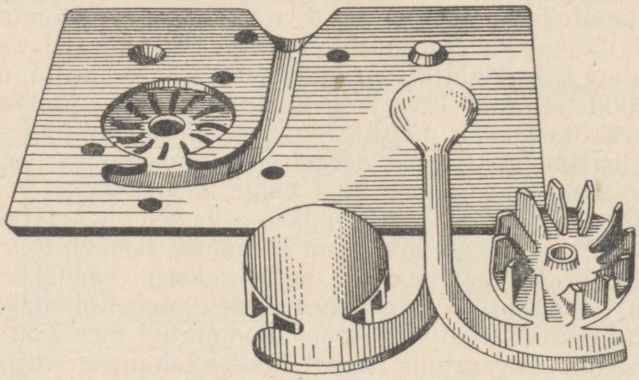
---

[1] «Литейное производство», 1953, nr. 9, lk. 6.

Koorikvormides võib valmistada valandeid ükskõik millisest sulamist, kusjuures saadavate valandite täpsus on võrdlemisi suur (vastab V klassi täpsusele). Alumiiniumisulamist kahe tiivikratta



Joon. 298. Liiv-bakeliitkoorikvormide valmistamise seade.



Joon. 299. Alumiiniumsulamist tiiviku koorikvorm.

ühe koorikpoolvormi üldvaade ja kaks valandit kahestatud sifoonpüstkanaliga ja valukoonusega on kujutatud joonisel 299.

Tänapäeval täpisvalu ja valu koorikvormides täiustatakse nii meil kui ka välismaal. Mõlemat valuviisi kasutatakse eranditult

väikeste valandite (kaaluga mitte üle mõnekümne kilogrammi) tootmisel. Valu mehhaniseerimisega ja automatiseerimisega on tegevuses suured organisatsioonid ja projekteerimisbürood: Valumasinaehituse Keskkonstruktsioonibüroo, НИИТМ ja teised [1]. Ameerika Ühendriikides ja Inglismaal on konstrueeritud paljupositsioonilised automatiseeritud seadmed koorikvormide valmistamiseks. Nendel seadmetel on automatiseeritud kõik koorikpoolvormide valmistamise operatsioonid. Kogu seadme juhtimine toimub mõõteseadme abil, mis määrab iga operatsiooni aja. Sellised automaatsed masinad on ka koorikkärnide valmistamiseks. Koorikkärnide valmistamisel ei ole vajalik kasutada karkassi, kuna neil on küllaldane tugevus ka ilma selleta.

Valandite mõõdete täpsust on hakatud tõstma ka suurte malmja terasvalandite juures, millel metallikulu valukanaliteks, valupeadeks ja laastudeks on eriti suur. Uute normidega ГОСТ 2009-55 ja ГОСТ 1855-55 ette nähtud töötlemisvarusid mehaanilisele töötlemisele võib tunduvalt vähendada, kasutades keemiliselt kõvenevaist segudest (liiva ja vesiklaasi segust [2]) kooriklisandeid ning kroomrauakivist ja teistest kõrge tulekindlusega materjalidest segusid, mis väldivad külgepõlemist.

Uus tehnoloogia töötati välja 40 erinevale detailile kaaluga kuni 78 t (valtspingi valtsseadme alus).

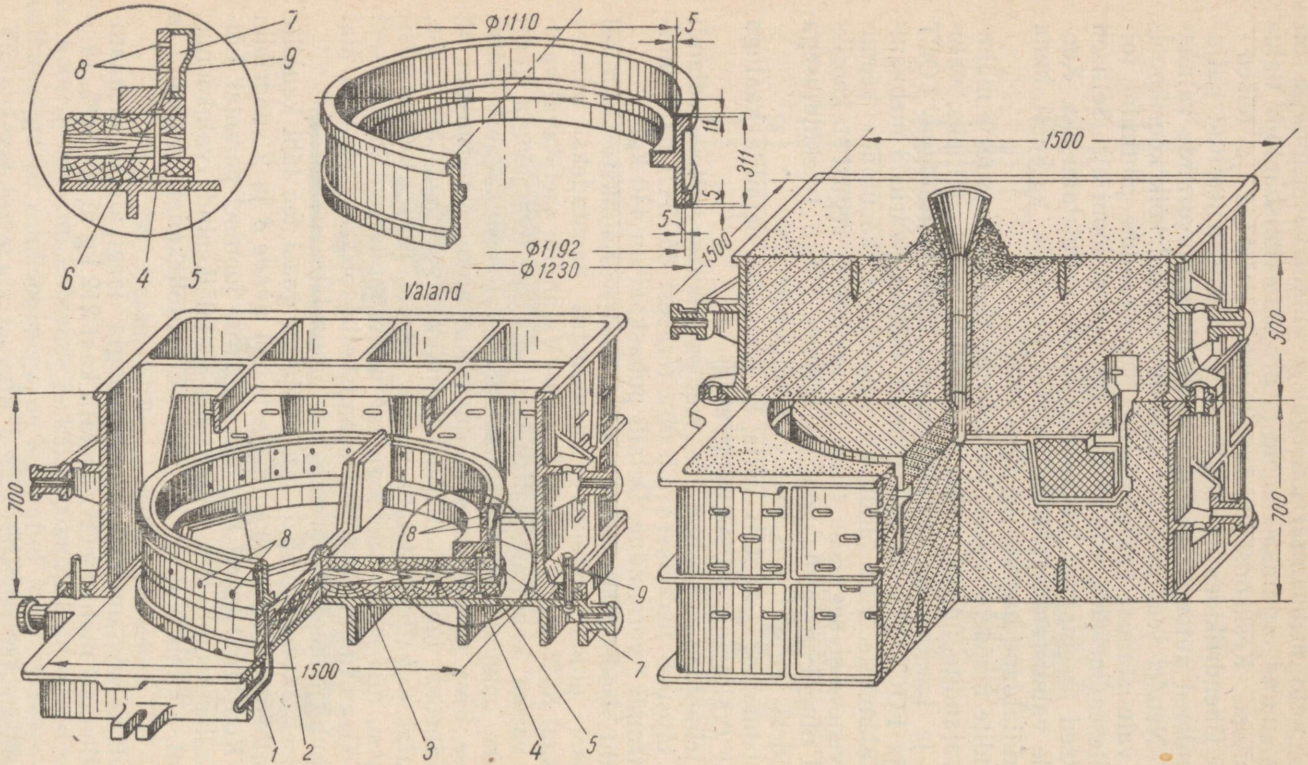
Uue tehnoloogia kasutamise iseloomulikuks näiteks valandi mõõdete täpsuse tõstmisel võib olla terasest 35 ХНЛ naftapuurseadme trumli [3] vormimine. Detaili puhaskaal on 440 kg.

Trumlit (joon. 300) valati varem ilma väljalõiketa välimisel silindrilisel pinnal. Seejuures moodustas laastudeks mineva metalli kaal 88% puhta detaili kaalust. Valandile asetataval valupeal oli varem kooniline kahanemislisa. Uue tehnoloogia järgi vormitakse trummel vormimismasinal metallvormide abil. Vorm täidetakse liiva ja vesiklaasi seguga. Kui alumine vormipool on mudeli lähedalt juba tihendatud, vormimist veel aga jatkatakse, siis hakatakse balloonist läbi vormi laskma toru *1* kaudu süsihappegaasi, mis soodustab segu tardumist mudeli väljavõtmiseni vormist. Gaas tuleb läbi ava *5* rõngaskollektorisse *4* all ja *6* ülal ning puhub tihendatud vormi voodripinna läbi.

Joonisel 300 on vasakul ülal näidatud gaasi tee läbi kanalite *4* ja *6* kollektorisse *7* ning viimasest läbi avade *8* ja *9* voodrikihi pinnale. Koostatud vormi lõige on näidatud joonisel paremal. Lõikes on näha trumli silindrilise osa väljalõikepind, valukoonus, püstkanal, valukanalite käigud, sifoontoitekanal, valand ja valupea.

Detaili valmistamisel uue tehnoloogia järgi alanes mehaanilisel töötlemisel mahavõetava metalli kaal 212 kg-ni või 54%, täie-

[1] «Литейное производство», 1955, nr. 6.
[2] «Литейное производство», 1956, lisa nr. 2-le.
[3] Новое в технологии производства крупных отливок, Машгиз, 1956.



Joon. 300. Naftapuurseadme piduritrumli valamine täpisvalu meetodil seadmega УЗТМ:

1 — süsihappegaasi toru; *2* — mudeliplaat; *3* — mudeli kollektor; *4* — mudeli alumine kanal; *5* — auk 3×3 mm süsihappegaasi läbijuhtimiseks; *6* — ülemine kollektor; *7* — ülemine kanal; *8* ja *9* — augud gaasile.

lik metalli ökonoomia valupeade kaalu ja töötlemisevaru vähenemise tõttu oli 406 kg; ajakulu valandi valmistamiseks ja mehaaniliseks töötlemiseks vähenes 10%. Aastane ökonoomia selle detaili arvel oli 179 tuhat rubla.

KIRJANDUST.

П. Н. Аксенов, Литейное производство, Машгиз, 1950 г.
П. Н. Бидуля, Литейное производство, Металлургиздат, 1953 г.
С. М. Воронов, Литье магниевых сплавов, ВНИТОЛ, Оборонгиз, 1952 г.
Н. Г. Гиршович, Чугунное литье, Металлургиздат, 1949 г.
Н. П. Дубинин, Производство кокильного литья, Машгиз, 1947 г.
И. Ф. Колобнев, Фасонное литье из алюминиевых сплавов, ВНИТОЛ, Машгиз, 1953.
Ю. А. Нехендзи, Стальное литье, Металлургиздат, 1948 г.
В. М. Пляцкий, Технология литья под давлением, Машгиз, 1949.
Н. Н. Рубцов, Специальные виды литья, Машгиз, 1955 г.
Л. И. Фанталов, Основы проектирования литейных цехов. Машгиз, 1954 г.
Технология литейного производства, том I, II и III, Машгиз, 1948—1951 гг. (под редакцией Л. М. Мариенбаха).

SISUKORD

Sissejuhatus 3
Valutootmise arengu lühike ajalugu 5

I peatükk

Valutootmise alused

Vedel sulam 7
Vedelate metallide ja sulamite omadused 7
Metalsete vedelike füüsikalised omadused 10
Metallide ja sulamite vedelvoolavus 11
Valandite tardumine 18
Tardumise perioodid 19
Kristallide tekkimine 22
Metalli struktuuri mõju tema mehaanilistele omadustele 24
Suunatud tardumise mõju metalli struktuurile 25
Modifitseerimise mõju sulami kristalliseerimisprotsessile 26
Gaasilised nähtused valandite kristalliseerumisel 27
Võitlus gaasiliste lisanditega 29
Valuvormi mõju valandi kvaliteedile 31
Mittemetalsed lisandid valandites 34
Võitlus mittemetalsete lisanditega 37
Fassongvalandite ruumkahanemine 41
Tardumiskiiruse mõju kristalliseerumisele ja kahanemisele 48
Tardumise suunatus 50
Valandite toitmine gaaside rõhu ja vaakuumi abil 62
Likvatsioon fassongvalandites ja valuplokkides 72
Fassongvalandite joonkahanemine, pragunemine ja kaardumine . . . 77
Fassongvalandite kahanemise, pragunemise ja kaardumisega võitlemise abinõud 80
Vormi ja metalli keemiline vastasmõju 86

II peatükk

Valuvormi valmistamine

Valuvormide tüübid 90
Mudelid ja kärnkastid 92
Puitmudelite valmistamine 98
Metallmudelite valmistamine 109
Vormimaterjalid 112
Seadmed vormisegude proovimiseks 120
Vormisegude omadused 124
Vormide valmistamine 141
Põrandvormimine 149

Vormimine paaris vormkastidesse lahtivõetava mudeli järgi . . . 151
Vormimine üksteise peale asetatavate vormkastidega (postvormimine) 152
Vormimine äratõstetava vormkastiga 154
Vormimine šablooni abil 155
Vormimine «vale» vormkasti abil 157
Vormimine ümbertõstetava kärni abil 159
Vormimine äravõetavate osadega mudeli abil 159
Vormimine osade kaupa 161
Vormimine luustikmudelite abil 162
Masinvormimine 165
Vormimismasinad ja nende klassifikatsioon 165
Valukanalite süsteemi valmistamine 184
Kärnide valmistamine 194
Kärnimasinad 201
Vormide ja kärnide kuivatamine 206
Vormide kokkupanemine 217

III peatükk

Vedela malmi saamine

Malmi koostis ja omadused 223
Keemiliste elementide mõju malmi omadustele 223
Kristalliseerumiskiiruse mõju 232
Valandite klassifitseerimine malmi keemilise koostise järgi . . . 235
Malmide mehaaniline tugevus 236
Malmi grafitiseerumise teooria alused 239
Modifitseerimise alused 240
Täitematerjalid ja täitmine 244
Täite arvutus 248
Täitematerjalide laomajandus 257
Sulatusahjud ja malmi sulatamine 258
Vagranka 258
Sulatus vagrankas 267
Vagranka remont 284
Aluselise voodriga vagranka 288
Malmi sulatamine leek- ja elektriahjudes 289
Sulatamine kahes ahjus 292
Malmi modifitseerimise tehnika 294
Sulatusahjude valik malmvalutootmises 298
Malmisulatuse ohutustehnika 299
Sulatusjaoskonna planeerimine ja tööde organiseerimine 300

IV peatükk

Valandite valamine, vormist väljalöömine ja puhastamine

Vormidesse valamine ja koppade ehitus 308
Vormide ja kärnide väljalöömine 314
Vormide ja kärnide väljalöömise seadmed 315
Valandite puhastamine 326

V peatükk

Tempermalmist valandite tootmine

Tempermalmi omadused ja tootmisviisid 333
Tempermalmist valandite tootmistehnoloogia iseärasusi 339

Tempermalmist valandite puhastamine 342
Valgemalmist valandite lõõmutusahjud 342
Tempermalmi kiirendatud lõõmutamisviisid 347

VI peatükk

Terasvalandite tootmine

Valandite tootmiseks kasutatavate teraste omadused 349
Keemilise koostise mõju terase vedelvoolavusele 350
Temperatuuri ja valamiskiiruse mõju kilemoodustamisele 351
Kiledega võitlemise abinõud 351
Teraste klassifikatsioon 354
Teraste omaduste sõltuvus legeerivaist ja juhuslikest lisandeist . . 354
Süsinikterased 355
Kaheselt legeeritud terased ja nende omaduste sõltuvus mitmesugustest elementidest 358
Kolmeselt, neljaselt ja keerulisemalt legeeritud konstruktsioonterased 367
Varjatud lisandite mõju terase mehaanilistele omadustele 370
Mehaaniliste omaduste sõltuvus terase struktuurist 373
Terase valik mitmesuguse otstarbega valanditeks 375
Terase sulatamine fassongvalanditele 376
Terase sulatamine küljelt õhupuhumisega konverteris 376
Terase sulatamine happelistes kaarleekahjudes 382
Terase sulatamine aluselises kaarleekahjus 386
Terase sulatamine induktsioonahjudes 387
Terase sulatamine aluselises martäänahjus 390
Terase sulatamise kombineeritud meetodid 394
Mitmesuguste sulatusagregaatide eelised, puudused ja kasutamisalad 395
Terasevalandite tootmise iseärasusi 396
Vormimismaterjalide valik 396
Vormimine ja vormi tihendamine 397
Valupeade paigutamine terasdetailide valamisel 403
Valupea mõõdete arvutus 403
Legeeritud terasest valandite tootmise iseärasusi 411

VII peatükk

Värvilistest metallidest ja sulamitest valandite tootmine

Üldandmeid 414
Valatavate vasesulamite koostis ja omadused 414
Valupronks 415
Valatav valgevask 418
Vasealuseliste sulamite valamise iseärasusi 420
Kärnisegude valik 421
Vormimisviisid 421
Vasesulamite sulatusahjud 425
Valatavate alumiiniumisulamite koostis ja omadused 432
Üldandmeid 432
Alumiiniumisulamid räniga 433
Alumiiniumisulamid magneesiumiga 439
Alumiiniumisulamid vasega 440
Alumiiniumi alusel saadud sulamite valamise iseärasusi 441
Vormisegud 441
Kasutatavad valukanalite süsteemid 441
Alumiiniumisulamite sulatusahjud 448

Valatavate magneesiumisulamite koostis ja omadused 456
Üldandmeid 456
Magneesiumisulamid alumiiniumi ja tsingiga 457
Magneesiumisulamid räni ja mangaaniga 459
Magneesiumi alusel saadud sulamite valamise iseärasusi 459
Üldandmeid 459
Vormi valmistamise iseärasusi 460
Valukanalite süsteemid 460
Magneesiumisulamite sulatamine 461
Magneesiumisulamite sulatamise seadmed 463
Magneesiumisulamite kaitsmine korrosiooni eest 465

VIII peatükk.

Spetsiaalsed valamismeetodid

Valu metallvormidesse (kokillvalu) 467
Tsentrifugaalvalu 480
Survevalu 486
Vaakuumvalu 497
Valu väljasulatatavate mudelite abil 499
Malmlehtede tootmine 510
Valu koorikvormidesse 511
Kirjandust 517

Павел Николаевич Видуля
ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА
На эстонском языке
Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское шоссе, 10
*
Toimetaja A. Korba
Tehniline toimetaja E. Lumet
Korrektorid H. Abo ja H. Kull
Tõlkinud L. Einer ja A. Pärnapuu

Ladumisele antud 17. VIII 1959. Trükkimisele antud 5. XI 1959. Paber 60×92, 1/16. Trükipoognaid 32,75 + 1 lisa, Arvutuspoognaid 34,67. Trükiarv 2000. Tellimise nr. 2211. H. Heidemanni nim. trk., Tartu, Ülikooli 17/19

Hind rbl. 13.20

3—7

3-12-2

Rbl. 13.20

Alates 1. I 1951. a.

Hind 1 rbl. 32 kop.

Hind 60 kop.

A
22927

46002

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00348678 6