

Painevalu

Erkki Itävuori – Tampereen teknillinen yliopisto

Tuula Höök – Tampereen teknillinen yliopisto

Ensimmäiset nykyisen painevalamisen kaltaisella menetelmällä valmistetut painevalutuotteet ovat olleet painokirjasimia. Kirjasinten valmistus aloitettiin 1800-luvun puolivälissä. Tarkoitukseen kehitettiin alkeellinen kuumakammiopainevalukone, jolla oli mahdollista valaa matalissa lämpötiloissa sulavia lyijyseoksia. Käsikäyttöisenä sillä ei saatu aikaan kahta nykyaikaiselle painevalamiselle oleellista ominaisuutta: hyvin nopeaa muotin täyttymistä ja suurta muottiontelon sisäistä metallipainetta.

Muiden metallien, lähinnä sinkin, kuumakammiopainevalaminen on aloitettu teollisessa mittakaavassa 1900-luvun alkupuolella. 1920-luvulla markkinoille tuli kylmäkammiopainevalukoneita, jonka jälkeen alkoi myös alumiinipainevalujen teollinen tuotanto.

Kun erilaisten koneiden ja laitteiden kysyntä kasvoi ja niiden rakentaminen kehittyi suursarjatuotannoksi, painevalamisen etu muihin valumenetelmiin nähden tuli ilmeiseksi: Painevaluna on mahdollista tuottaa nopeasti suuria eriä tasalaatuisia, mittatarkkoja ja yksityiskohdiltaan teräviä kappaleita.

Muita painevalumenetelmän etuja ovat:

- menetelmä on helppo sopeuttaa konepajatoimintoihin
- painevalimossa on suurista tuotantomääristä huolimatta suhteellisen pieni työvoiman, tilan, tarveaineiden, oheistoimintojen, viimeistelytyön ja koneistuksen tarve
- painevaluissa on parempi pinnanlaatu kuin muilla menetelmillä valetuissa kappaleissa
- painevalun mikrorakenne on useimmiten edullisempi kuin muilla menetelmillä valetuissa kappaleissa
- painevaluissa on ohuet seinämät ja pienet valukkeet, joten materiaalikulutus on pieni

Nämä edut aiheuttivat painevalumenetelmän nopean yleistymisen ja ne ovat edelleenkin sen kilpailukyvyn perustana. Painevalimoille myönteistä mielikuvaa edistää nykyisin myös pieni ympäristökuormitus. Painevalimo tuottaa vain vähäisiä määriä ilmansaastetta, pölyä, jätettä ja melua. Painevalumenetelmän merkitys kuluttajille suunnattujen koneiden ja laitteiden metalliosien hintatason alentajana ja sarjatuotannon perustana on ollut ehkä tärkeämpi kuin minkään muun yksittäisen valmistusmenetelmän, ja sellaisena se on osaltaan edesauttanut nykyisen korkean elintason saavuttamista.

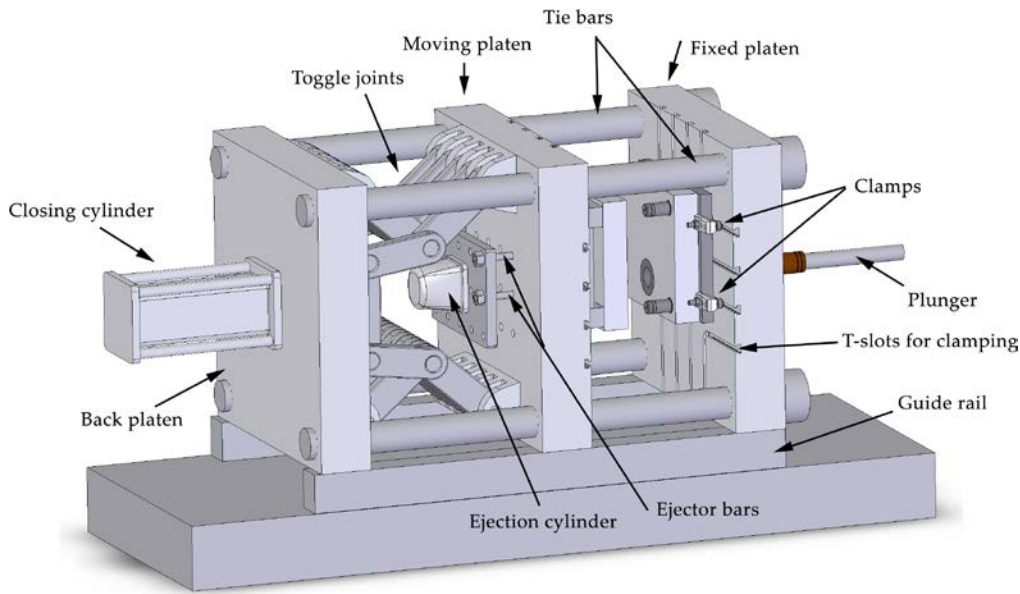
Painevalukone ja -muotti

Valukoneiden pääasialliset tehtävät ovat valumenetelmästä riippumatta:

- muotin avaaminen ja sulkeminen
- muotin täyttäminen
- jähmettyneen valun poistaminen muotista
- muottiin kuuluvien liikkuvien osien siirtäminen

Painevalumenetelmälle on ominaista, että kone täyttää muotin erittäin lyhyessä ajassa ja tiivistää valun suurella paineella. Painevaluissa ei käytetä syöttöjä. Valu tiivistetään sisäänvalukanavan kautta.

Painevalukoneen rakenne ilmenee seuraavasta kuvasta (Kuva 1). Koneen runko koostuu takalevystä ja kahdesta muottipöydästä, joista toinen liikkuu johteilla aisojen ohjaamana ja toinen on kiinnitetty valukoneen runkoon kiinteästi tai kuumakammiokoneissa myös jousikuormitteisesti. Aisat on tuettu kiinteän muottipöydän ja valukoneen takalevyn välille. Ne ovat käytännössä suuri-kokoisia pultteja, joiden päähän on asetettu mutterit. Aisojen pituus säädetään muttereista siten, että painevalumuotti on sopivalla tiukkuudella kiinni, kun valukoneen takalevyn ja liikkuvan muottipöydän välillä olevat polvinivelet ovat suorina. Valukoneessa voidaan käyttää erikorkuisia muotteja aisojen säätövaran puitteissa.



Kuva 1. Painevalukoneen runkorakenne. *Moving platen* = liikkuva muottipöytä, *Fixed platen* = kiinteä muottipöytä, *Tie bars* = aisat, *Guide rail* = johde, *Back platen* = takalevy, *Plunger* = valumäntä, *Closing cylinder* = sulkusylinteri, *Toggle joints* = polvinivelet, *Ejection cylinder* = ulostyöntösylinteri, *Ejector bars* = ulostyöntötangot

Painevalumuotti jaetaan yhdellä pystysuoralla jakopinnalla. Muotti on kauttaaltaan työkaluteräksestä valmistettu. Muottipesän osat valmistetaan kuumatyöteräksestä ja läpikarkaistaan. Muottipesä altistuu valuiskun aikana eroosiolle, korroosiolle, metallipaineen aiheuttamille suurille voimille ja lämpörasitukselle. Keernat altistuvat voimakkaimmin ja ne tehdäänkin usein muuta muottipesää kestävämmistä teräslaaduista.

Muotin puoliskot kiinnitetään valukoneen muottipöytiin pulteilla tai nk. festi- eli kiinnitysraudoilla (Kuva 1 ja Kuva 5). Muottipöytien on oltava tarkasti yhdensuuntaiset, jotta muotti pysyy tiiviisti kiinni koko sen ajan, kun sitä täytetään. Yhdensuuntaisuus tuotetaan aisojen päissä olevia muttereita kiertämällä. Toimenpidettä kutsutaan aisojen kireyden säätämiseksi. Uudet painevalukoneet säätävät kireyden automaattisesti.

Muotti avataan siirtämällä liikkuvaa muottipöytää taaksepäin ja suljetaan siirtämällä pöytää eteenpäin. Liikkeet toteutetaan hydraulisella sulkusylinterillä. Sulkusylinteri ei liikuta muottipöytää suoraan, vaan polvinivelistön välityksellä. Polvinivelet oikenevat ja jäävät sulkuasennossa lukituiksi ottaen valuiskun aiheuttaman, muottipöytää murtavan voiman vastaan. Valuiskun murtovoima ei tällöin kuormita pelkästään hydraulisylinteriä. Valuiskussa esiintyvä painehuippu voi olla hyvin korkea, joten muottipöytää kiinni pitävän voiman tarve on suuri. Valukoneet luokitellaan muottipöytien kiinnityvoiman eli sulkuvoiman mukaan.

Muotti täytetään valukoneen valuyksikön avulla. Valuyksikkö sijaitsee kiinteän muottipöydän takana. Sen pääosat ovat valumäntä ja valukammio.

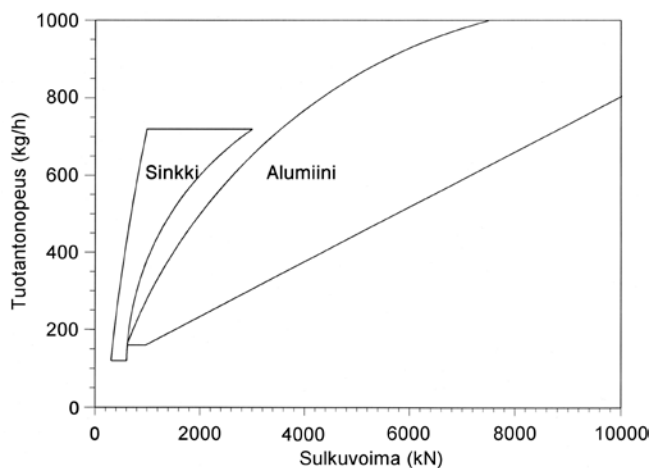
Valmis, jähmettynyt valu poistetaan muotista ulostyöntimillä, joiden käyttövoima tulee valukoneen ulostyöntöyksiköstä. Ulostyöntöyksikkö sijaitsee liikkuvan muottipöydän takana siihen kiinteästi asennettuna.

Mikäli kappaleen muodot vaativat muottiin liikkuvia osia eli liikkuvia keernoja, niiden käyttövoima tuotetaan valukoneen ohjaukseen liitetyistä hydraulisista, pneumaattisista tai sähköisistä ulostuloista, tai suoraan muotin avautumisliikkeellä. Liikkuvat keernat kiinnitetään yleensä luisteihin. Painevalukoneissa on toimintoja, joilla luisteja voi ajaa hydraulisesti, pneumaattisesti tai sähköisesti useammassa vaiheessa. Kappaleessa voi olla silloin hyvinkin monimutkaisia vastapäätöjä. Muottiin voi asettaa mekaanisten estojen lisäksi valukoneen toimilaitteita ohjaavia rajakatkaisimia todentamaan keernojen liikkeitä.

Mekaanisesti liikutettavat luistit siirtyvät samalla, kun muotti avautuu. Kaikkien keernojen on tällöin liikuttava yhtä aikaa ja yhdessä vaiheessa. Mekaanisesti toimivan luistin siirtämiseen käytetään yleensä vinotappeja. Pienet liikkuvat keernat voidaan siirtää mekaanisesti myös jousikuormitteisilla pikkuosilla, taittuvilla ulostyöntimillä tai muilla muotin standardiosavalmistajilla tarjolla olevilla mekanismeilla. Mekaaninen siirtolaite ei vaikuta valukoneen jaksoaikaan juuri lainkaan, mutta muut toimilaitteet hidastavat sitä.

Valukoneen sulkuvoiman tarve riippuu valettavan kappaleen koosta, lähinnä jakopinnan suuntaisesta poikkipinta-alasta eli projisoidusta poikkipinta-alasta. Koska sulkuvoimaltaan suurikokoisilla koneilla voidaan ajaa useampipesäisiä muotteja tai valmistaa pinta-alaltaan laajoja kappaleita, valujen tuotantonopeus kasvaa sulkuvoiman kasvaessa.

Tuotantonopeus valettuina sinkki- tai alumiinikiloina noudattelee valukoneen sulkuvoimaa oheisen kuvan (Kuva 2) esittämällä tavalla. Tavallisten kokoluokkien sinkinvalukoneiden sulkuvoima on yleensä 300...3000 kN ja kevytmetallivalukoneiden 600...10000 kN. Suurimpien valukoneiden koko ylittää 30000 kN.



Kuva 2. Tavanomaisten kokoluokkien valukoneiden tuotantokapasiteetti sinkki- ja alumiiniseosten valussa.

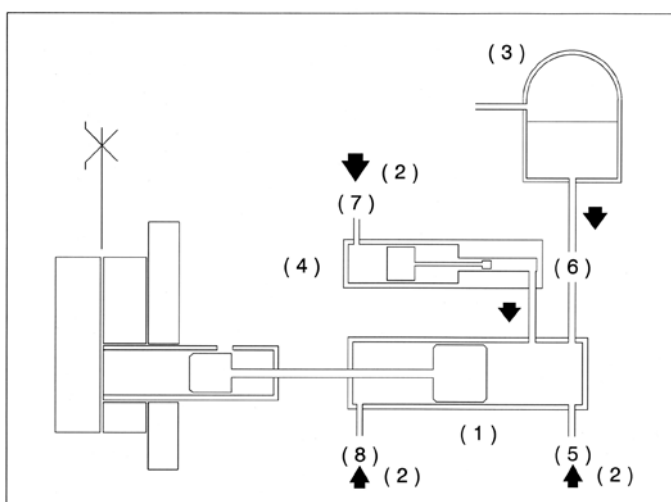
Painevalukoneen valuyksikkö ja valuisku

Painevalukoneen valuyksikkö koostuu sylinterimäisestä valukammioista, valumännästä ja mäntää liikuttavasta hydraulijärjestelmästä. Mäntä painaa sulan painevalumuotin valukanaviston kautta muottipesiin. Mäntää liikutetaan hydraulisyylinterillä, jonka työpaine saadaan tavanomaisen hydrauliiikan lisäksi tyypellä täytetystä paineakusta ja paineenvahvistimesta. (Kuva 3)

Valuyksikön työliikettä kutsutaan valuiskuksi. Valuisku on kolmivaiheinen. Aluksi hydraulijärjestelmän työpaine liikuttaa valumäntää hitaasti (ns. ensimmäinen eli hidas vaihe). Hidasta liikettä jatketaan, kunnes muotti on täytetty pesään johtavalle sisäänvaluportille saakka. Muotin täyttövaihetta (toinen eli nopea vaihe) varten tarvitaan lyhytaikainen, mutta tehokas voimaimpulssi. Se saadaan paineakusta, joka siirtää energiansa yhdellä venttiilillä avauksella männän iskumaiseksi liikkeeksi. Valukoneen liikkuvat osat ja sula pysähtyvät yhtäkkisesti, kun muottipesä täyttyy ja täyttöpaine saavuttaa huippunsa. Muotin sulkumeکانismi täytyy mitoittaa pitämään muottipöydät kiinni myös tämän äkillisen painehiipun aikana.

Kun muottipesä on täynnä, hydraulisyylinterin työpaine kasvatetaan paineenvahvistimella yli muun järjestelmän tuottaman paineen. Muottipesässä olevaa sulaa työnnetään paineakun paineella niin kauan, että se on jähmettynyt ja kappale voidaan poistaa muotista. Vaihetta kutsutaan valuiskun kolmanneksi eli tiivistysvaiheeksi. Tiivistäminen vastaa kaikille valumenetelmille tyypillistä jähmettymiskutistuman korvaamista syöttämällä. Kun kappale jähmettyy muotin sisällä, se kutistuu. Kutistuminen alentaisi sulassa vallitsevaa painetta, mutta kolmannen vaiheen tiivistyspaineella se pidetään korkeana ja samalla korvataan osa kutistuman aiheuttamasta metallivajeesta kanaviston kautta.

Valuiskun kolmannen vaiheen tiivistyspaine täytyy saada kasvatettua riittävän suureksi, jotta kappaleessa olevat paksuimmat seinämät ja kaukana muotin valuportilta olevat seinämät puristuvat riittävästi. Tiivistäminen painaa sulassa olevat kaasukuplat kokoon, jolloin pesän metallimäärä saadaan suuremmaksi ja kappale syöttyy hieman jähmettymiskutistuman alkuvaiheessa. Kevytmetalleja valettaessa tiivistyspaine on suurimmillaan 50...150 MPa.



Kuva 3. Vaakasyylinterisen kylmäkammiovalukoneen hydraulijärjestelmän periaate. Työpainetta työsylinteri (1) saa hydraulipumpusta (2), paineilmalla ladatusta akusta (3) ja paineenvahvistimesta (4). Työpainetta ohjaavat venttiilit hidasta liikettä varten (5), valuiskua varten (6), jälkipuristusta varten (7) ja männän palautusta varten (8). Paineakun laukaisu saa aikaan valuiskun, ja jälkipuristussyylinteri kasvattaa työpaineen järjestelmän paineesta moninkertaiseksi.

Valukoneen sulkuvoima asettaa tiivistyspaineelle ylärajan. Tiivistyspaineen yläraja lasketaan jakamalla valukoneen sulkuvoima kappaleen pinta-alalla jakotasossa (eli projisoidulla pinta-alalla). Pienten sinkkivalukappaleiden kuumakammiovalussa voi jo alle 20 MPa:n tiivistyspaine olla riittävä, koska sinkkivaluilta vaaditaan yleensä vain riittävä pinnanlaatu, joka sopii pinnoituksen pohjaksi. Sinkkipainevalujen ei useimmiten tarvitse olla painetiiviitä, kuten kevytmetallista valmis-

tettujen painevalujen. Painetiiviin kappaleen on oltava mahdollisimman huokoseton. Sinkkivaluissa saa olla kevytmetallivaluihin verrattuna enemmän huokoisuutta ennen kuin painetiiveys alkaa heikentyä. Yksinkertaistettuna voidaan todeta, että hyvä pinnanlaatu saavutetaan täyttämällä muotti mahdollisimman nopeasti, painetiiveys suurella tiivistyspaineella.

Tavanomainen muotin täyttöaika on 0,01...0,1 sekuntia. Yleensä katsotaan, että tiivistysvaiheen pitäisi käynnistyä 0,01...0,05 sekuntia täytön päättymisestä. Hyvin toimiva ohjausjärjestelmä estää konetta muodostamasta iskumaista painehuippua täyttövaiheen lopussa. Tällöin muotin käyttöikä pitenee ja valukappaleiden pinnanlaatu säilyy pitkään hyvänä. Painehuipun madaltuminen vähentää sulkuvoiman tarvetta, joten hyvin ohjatulla valukoneella voidaan valaa suurempia kappaleita kuin puutteellisesti ohjatulla koneella. Muotin raottumisesta johtuvia jakopintapurseita ei myöskään muodostu.

Painevalukoneen ohjaus voi seurata esimerkiksi:

- männän siirtymää
- männän nopeutta alku- ja täyttövaiheessa sekä tiivistysvaiheen aikana
- täyttöaikaa
- painetta täyttö- ja tiivistysvaiheiden aikana
- tiivistysvaiheen paineen nousuaikaa
- männän työntövoimaa
- muotin, sulan, jäähdytysveden ja hydraulikkaneesten lämpötilaa
- jäähdytysveden virtausta
- sulkusylintrin painetta ja sulkuvoimaa.

Tilavuusvirran, valaukon ja sisäänvaluporttien poikkipinta-alan sekä täyttövaiheen paineen avulla seurataan sulan virtausnopeutta.

Painevalukoneen valujakso

Painevalukoneen jaksoaika muodostuu koneen toimintoihin, valun jähmettymiseen ja valun jäähtymiseen tarvittavasta ajasta. Kun edellinen valukappale on poistettu muottipesästä, ulostyöntimet vedetty taka-asentoon, muottia on jäähdytetty ja kuivatettu riittävä aika, valumäntä vedetty lähtöasemaan, muotti suljettu, keernat vedetty paikoilleen (tarvittaessa) ja valukammio täytetty tai täyttynyt, jaksoaikaan sisältyvät vaiheet ovat aikajärjestyksessä:

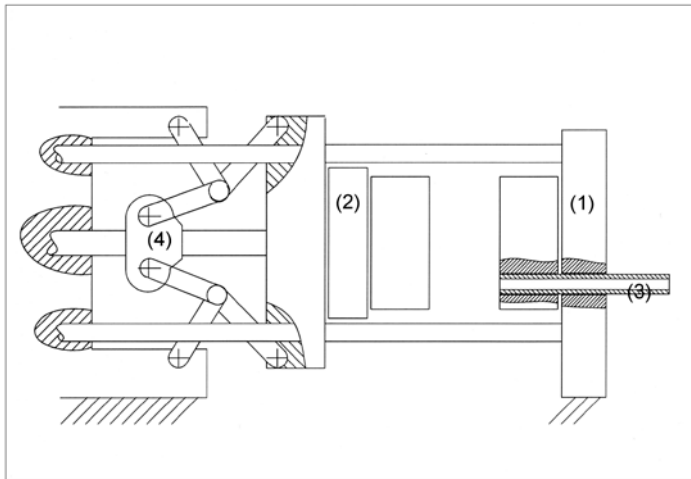
- valuisku
- kappaleen jähmettyminen ja jäähtyminen ulostyöntölämpötilaan
- työpaineen poisto
- keernojen ulosveto (tarvittaessa)
- muotin avaaminen
- kappaleen ulostyöntö
- muotin voitelu ja jäähdytys irrotusaineella
- ulostyöntimien vetäminen taka-asentoon
- muotin kuivaus ja jäähdyttäminen
- jne.

Jaksoaika määräytyy valukoneen mekaanisten toimintojen ja jähmettymisen vaatiman ajan mukaan. Valukoneen toimintoihin kuluva aika ratkaisee tahtiajan pienillä ja yksinkertaisilla, nopeasti jähmettyvillä kappaleilla. Tällöin kuumakammiovalukoneen jaksoaika on lyhyempi kuin kylmäkammiovalukoneen, koska kammio täyttyy uunissa itsekseen männän palautuessa iskun jälkeen takaisin lähtöasemaan. Jaksoaika saattaa pidentyä, jos muottia joudutaan jäähdyttämään runsaasti. Tasaisella nopeudella tapahtuvassa tuotannossa muotin lämpötila ja monet muut valu-

kappaleiden laatuun vaikuttavat tekijät vakioituvat, jos kappale on paineallettavaksi ihanteellisen muotoinen.

Kylmäkammio-painevalaminen

Painevalukoneet jaetaan kuumakammio- ja kylmäkammio-koneisiin valuyksikön rakenteen perusteella. Kylmäkammio-koneessa valukammio on vaakasuorassa asennossa liitettyä suoraan muotin valukanavistoon (Kuva 4). Valukammio täytetään ennen jokaista valuiskua joko käsin tai annostelulaitteella. Kammio voidaan joissain tapauksissa sijoittaa myös pystyasentoon.



Kuva 4. Tavanomaisen vaakakammioisen kylmäkammio-painevalu-koneen rakenne. Muotinpuoliskot kiinnitetään valupuolen (1) ja liikkuvan puolen (2) muottipöytiin. Valukammio (3) on johdettu valupuolen muottipöydän ja kiinteän muottipuoliskon lävitse. Liikkuvan puolen kiinnityslevy on tuettu johteilla, ja sitä liikuttaa hydraulinen sulkusylinteri. Sulkiessaan muotin se samalla lukitsee niveljärjestelmän (4), joka ottaa valupaineen vastaan. Valukanava sijoitetaan muotin alaosaan, muottipesien alapuolelle ja jakokanava liikkuvaan puoleen.

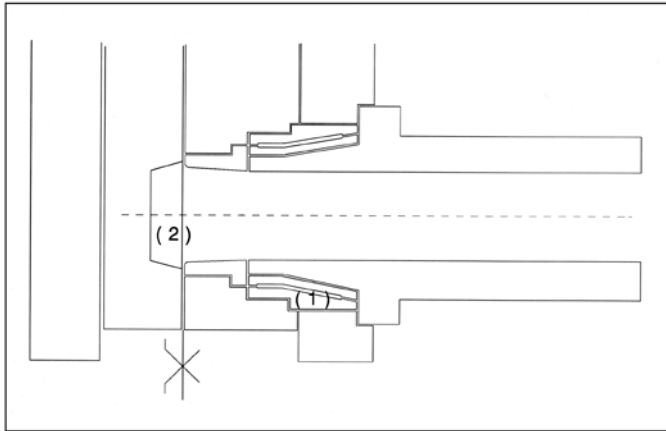


Kuva 5. Kiinnitys- eli festirauta, jolla muotti kiinnitetään valukoneen muottipöytiin.

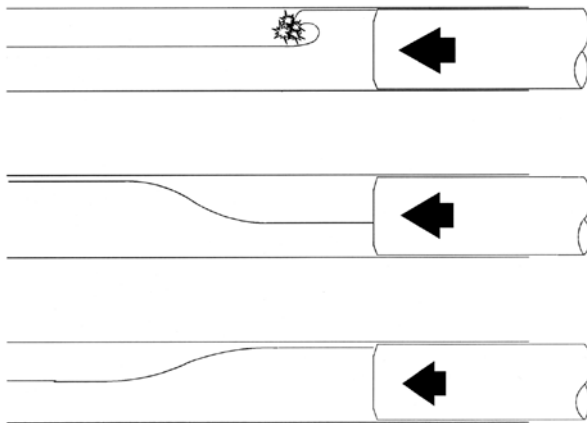
Kylmäkammio-painevalukoneella voidaan valaa erikokoisia kappaleita vaihtamalla valukammio kullekin kappaleelle sopivaksi. Kammion koko pyritään valitsemaan siten, että iskussa tarvittava sula täyttää sen tilavuudesta 2/3...3/4. Näin täytettynä kammio sisältää myös ilmaa. Männän liikkeen alkuvaiheessa sulan pinta nousee, jolloin kammiossa oleva ilma virtaa muotin valukanaviston, ilmanpoistokanavien ja osien välysten kautta ulos. Kun hitaan vaiheen nopeus valitaan sopivasti, ilma poistuu muotista ennen valuiskua eikä sekoitu valukammiossa tai muottipesässä olevan sulan joukkoon. Sulaan sekoittunut ilma voi muodostaa valukappaleisiin huokosia, vaikka valuiskun ensimmäisen vaiheen vaikutus ei olekaan yhtä suuri kuin täyttö- tai tiivistysvaiheiden.

Kun valumäntä liikkuu, sen eteen muodostuu aalto, joka sopivalla männännopeudella nousee jatkuvasti ja ennättää jakokanavaan samalla hetkellä, kun sula täyttää koko kammion (Kuva 7). Ihannetapauksessa kaikki ilma poistuu ja valuisku alkaa juuri, kun sula täyttää valukammion kokonaan. Jos männän liike on kovin hidas, aalto etenee valukanavaan asti ennen kuin mäntä on tarpeeksi edessä valuiskua varten. Aalto sulkee valukammion kanavan puoleisen pään ja heijastuu takaisin. Näin ilma ei pääse poistumaan kanaviston kautta vaan jää männän eteen sulkeuksiin. Liian

nopea männän liike murtaa sen edessä etenevän aallon, jolloin sulaan sekoittuu kauttaaltaan runsaasti ilmaa.



Kuva 6. Vaakakammioisen kylmäkammiovalukoneen valupuolen muottipuoliskon ja valukammion liitos on varustettu jäähdytysrenkailla (1), joiden välissä kiertää vesikanava. Liikkuvassa muottipuoliskossa on kammion kohdalla upotus (2), josta tulee valokseen ns. valutapin pohja.



Kuva 7. Valuiskun ensimmäisen vaiheen nopeuden vaikutus virtaukseen kylmäkammiokoneen valukammiossa. Ylimmässä tapauksessa nopeus on liian suuri, keskimmäisessä liian pieni, ja alimmaisessa sopiva.

Kuva 8. Pystykylmäkammiovalukoneen valujärjestelmä. Iskussa tarvittava sulamäärä annostellaan kammioon kahden männän väliin. Työsylinteri liikuttaa iskumäntää (ylempi), ja vastamäntä siirtyy vastaavasti avaten valukanavan ennen pysähtymistään ala-asentoon. Valukanava on muotin keskellä. Liikkuvan puolen muotinpuolisko on varustettu valukanavaan työntyvällä jakokartiolla.

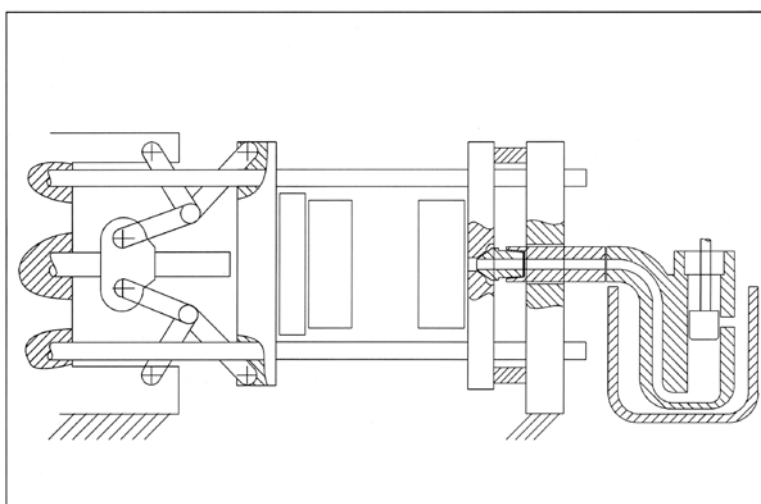
Kylmäkammioainevalukoneen muotin pesät täytyy pyrkiä asettelemaan valukammion yläpuolelle siten, että sisäänvaluportit ovat valukammion ja jakokanavien yläpuolella. Tällöin sula ei pääse valumaan pesiin hallitsemattomasti ennen kuin valuiskun täyttövaihe alkaa. Joissain tapauksissa vaatimuksesta voidaan tinkiä, jotta muotin pinta-ala saadaan hyödynnettyä tarkemmin tai jotta muottiin voidaan mahdollistaa enemmän pesiä.

Pystykylmäkammioainevalukoneen valuiskun mekanismi poikkeaa hiukan muista konetyypeistä. Kammio on varustettu kahdella männällä, joiden väli täytetään iskussa tarvittavalla sulamäärällä. Alempana oleva vastamäntä pitää valukanavan suljettuna kunnes isku alkaa. Iskumäntä painaa vastamäntää sulan välityksellä alaspäin, kunnes kanava aukeaa ja vastamäntä on ala-asennossaan, jolloin paine sulassa nousee ja valuisku tapahtuu. Jähmettymisvaiheen jälkeen männät palaavat yläasentoon ja kammioon jäänyt loppusula poistuu sen yläpäässä olevasta kanavasta. Sulaan ei pystykammiossa pyri sekoittumaan ilmaa, kuten vaakakammiossa. Kappaleisiin ei muodostu huokoisuutta yhtä herkästi kuin vaakakammioikoneilla valettaessa. Pystysuorat kylmäkammiokoneet ovat kooltaan keskikokoisia, tavallisesti sulkuvoima on muutamia tuhansia kN.

Kuumakammioainevalaminen

Kuumakammioainevalukoneen valukammio on uunin sisällä pystyasennossa. Kammio pidetään sulapinnan alapuolella, jolloin se täyttyy uudelleen männän palautuessa lähtöasemaansa valuiskun jälkeen. Sula nousee ns. hanhenkaulaa pitkin muotin valukanavaan. Muotin jakokanavat sijoitetaan myös kuumakammioainevalussa mieluiten ylöspäin tai yläviistoon, jotta sulaa ei virtaa kanaviin ennen aikaisesti.

Kuumakammioikoneilla voidaan valaa seoksia, joiden valulämpötila on suhteellisen matala ja jotka eivät pyri liian voimakkaasti liuottamaan teräksistä valukammiota ja mäntää. Tällaisia seoksia ovat lähinnä sinkki- ja magnesiumseokset.



Kuva 9. Kuumakammioainevalukoneen rakenne. Uunissa olevasta kammioista sula siirtyy hanhenkaulaa pitkin jousin tuettuun valupuolen muottipuoliskoon. Jousivoiman vaikutuksesta muotin sulkuvoima liittyy muotin tiiviisti kanavaan.

Kylmäkammiopainevalukoneen annostelutekniikka

Painevalettavilla seoksilla, eli alumiini-, sinkki- ja varsinkin magnesiumseoksilla, on voimakas taipumus hapettua sekä sulatuksen aikana että annosteltaessa painevalukoneeseen. Alumiiniseoksia valetaan yksinomaan kylmäkammiokoneilla. Kun sula annostellaan valukammioon, sen pinta on alttiina ilma-atmosfäärille ja hapettuu. Oksidikerros muodostuu sitä nopeammin, mitä korkeampi on sulan lämpötila, mitä kauemmin sulaa seisotetaan, ja mitä suurempi on ilman suhteellinen kosteus.

Valuiskussa tarvittava sulamäärä on tilavuudeltaan pieni, joten sen suhteellinen hapettumisaste tulee helposti suureksi. Vaikka tarjolla olisi oksideista puhdasta sulaa, valukoneen perinteiset annostelutavat eivät välttämättä riitä estämään oksidikalvojen kulkeutumista kappaleisiin. Kappaleissa olevat oksidikalvot heikentävät lujuutta, sitkeyttä, väsymiskestävyyttä, pinnanlaatua ja painetiiveyttä. Perinteisiä annostelutapoja ovat kauhonta käsin valukauhalla tai automaattisesti kauhontalaitteella.

Sula on mahdollista puhdistaa suodattamalla. Annosteluvaiheen loppuun voi olla käytännössä hankala järjestää suodatusta, mutta ennen annostelua se voitaisiin kuitenkin suorittaa. Sulan suodatus on paikallaan myös harkkosulatolla sekundääriharkkoja valettaessa.

Valukappaleisiin päätyvien oksidikalvojen määrää voidaan tehokkaasti vähentää välttämällä kauhontaa sulan pintaosasta ja suojaamalla sula ilman kosketukselta. Automaattinen kauhontalaite kahmaisee sulaa vasta työnnettyään kuona- ja pintaoksidikerrosta sivuun kauhontakohdasta. Sulan mukaan ei tällöin yleensä pääse paksuja pintaoksidikalvoja, mutta irrallisia oksidikalvon kappaleita mukana seuraa helposti. Kauhontalaite kahmaisee tietyn, kauhan koosta ja nostoasennosta riippuvan sulamäärän. Kauha on muotoiltu siten, että osa hapettuneesta pintasulasta juoksee sen takaosasta takaisin uuniin. Käsin kauhottaessa hapettunutta pintasulaa työnnetään vastaavasti sivuun. Sula ja oksidit sekoittuvat kauhottaessa keskenään oli kauhontamenetelmä mikä tahansa ja ajan mittaan kauhan seinämiin kerääntyy oksidikalvoja.

Sulan annosteluun voidaan käyttää myös robottia. Robotin etuna kauhontalaitteeseen verrattuna on, että se tekee tasaisen, nykimättömän liikkeen ja pystyy kauhomaan hyvin lähelle valukammion aukkoa. Sula ei vatkauu kauhassa kuljetuksen aikana, mutta hapettuu kuitenkin pinnaltaan ja jäähtyy, kuten muissakin kauhontamenetelmissä.

Vaihtoehtoisiksi annostelumenetelmiksi osittain kaupanimiensä mukaan voidaan luokitella mm:

- Müller-Weingarten-painevalulinja yhdistettynä Vacural-annosteluun
- Westofen- ja Striko-tyyppiset annostelevat uunit
- Tyhjöventtiiliannostelu

Vacural-annostelu ja Müller-Weingarten sulatus- ja painevalumenetelmä perustuvat tyhjöuuniin, sulajärjestelmään ja täysin automatisoidun valukoneen ohjausjärjestelmään. Sula vedetään tyhjän avulla uunista pinnan alta sulaan upotettuja putkia pitkin. Annoserän suuruus voi olla 1...70 kg annostelutarkkuuden ollessa n. 2 %. Tyhjön imeminen muottiin kestää noin 0,1 s. Vacural-annostelun valvonta on kuitenkin jonkin verran ongelmallista. Monimutkaisten laitejärjestelyiden vuoksi menetelmä on jossain määrin teknisesti haavoittuva prosessi. Prosessin toimivuutta kontrolloi suurelta osin sähkötoimisen tyhjöventtiilin aukeamisnopeus ja toimintavarmuus.

Tyhjöventtiiliannostelussa valukoneen kammiio on sijoitettu tyhjäksi pumpattuun ilmatiiviiseen säiliöön. Sula siirretään valukammioon pitkin putkea, jonka toinen pää on upotettu sulatusuuniin. Annostelu tapahtuu putkeen kytketyllä venttiilillä. Sula välttyy ilmakosketukselta koko annostelu- ja valuprosessin ajan. Valukappaleista tulee lujia. Ne voidaan lämpökäsitellä ilman, että pinta repeilee.

Tavanomaisessa tyhjöpainevaluprosessissa valukoneen valukammioon ja muottiin imetään jään-
nöspaineeltaan alle 15 kPa tyhjä sen jälkeen, kun sula on annosteltu kammioon. Tyhjömenetelmällä
on mahdollista alentaa valukappaleiden kaasupitoisuutta huomattavasti, mutta ei täysin. Käytän-
nössä kaasupitoisuutta ei voi pienentää kaikki lämpökäsittelyt mahdollistavalle tasolle.
Tyhjöventtiiliannostelulla toteutetulla tyhjöpainevalulla kappaleisiin muodostuu hieno mikrorake-
nenne. Varsinkin pintakerros on selvästi hienorakeisempi kuin perinteisesti painevaletuissa
kappaleissa. Tämä johtuu sulan ja muottipinnan välisestä hyvästä kosketuksesta tyhjässä.

Westofen- ja Striko -annostelu-uunit ovat umpinaisia, nousuputkellisia uuneja. Sula annostellaan
uunin pohjalta pinnan yläpuolisen tilaan johdetun kaasunpaineen työntämänä. Annosteleva uuni
voidaan sijoittaa jo olemassa olevan painevalulinjan yhteyteen, joten se on helposti käyttöön otetta-
va vaihtoehto perinteiselle kauha-annostelulle. Uudessa valulinjassa annostelevan uunin
investointikustannukset ovat kauha-annosteluun verrattuna lähes samat.

Painevalukoneen ohjaus

Valukappaleen ja muotin rakenne, kanaviston muotoilu, ilmanpoisto, valettava seos ja muotin
lämpötila vaikuttavat muotin täyttymisolosuhteisiin ja siten lopulliseen valukappaleen laatuun.
Viimeksi mainittua lukuun ottamatta ne eivät kuitenkaan ole itse valutapahtuman kannalta säädel-
täviä. Valukoneen suorituskyky vaikuttaa myös valukappaleiden laatuun. Suorituskyvyn kannalta
olennaisia ovat esimerkiksi paineen ja sulavirran tuotto sekä paineen nousunopeus muotin täyttö-
vaiheen jälkeen. Valukoneen ohjauksessa tärkeimpiä säädeltäviä kohteita ovat valukierron
vaiheiden kestoajat, koneen osien liikenopeudet ja prosessipaineet. Valuvikojen torjunnassa niiden
hallinta on ratkaisevaa.

Seuraavan sivun taulukkoon (Taulukko 1) on koottu joitain voimakkaimmin valukappaleen laa-
tuominaisuuksiin suoraan tai välillisesti vaikuttavia tekijöitä.

Painevalukoneiden kehittäminen on vuosien varrella keskittynyt suurelta osin koneen anturointiin.
Anturoinnin tavoitteena on ollut kerätä prosessitietoa sekä valvoa ja ohjata valuprosessia paremmin
kuin aikaisemmin. Valukappaleiden laatuun vaikuttavia keskeisiä tekijöitä ovat:

- prosessipaineet
- männän nopeus
- muotin täyttymisaika
- valukoneen kapasiteetti valettavan kappaleen kokoon ja tyyppiin nähden
- muotin voitelu
- valukoneen kammion halkaisija ja täyttöaste
- muotin lämpötila
- muotin kiinnipitoaika.

Prosessiparametrit pyritään asettamaan siten, että kappaleen hyvän laadun lisäksi saavutetaan
suuri tuotantonopeus, pitkä kestoikä muoteille ja taloudellinen raaka-aineen kulutus. Säätoarvojen
haku tehdään koneen ja muotin ollessa kaikin tavoin tuotantoa vastaavassa tilassa, muotin pinta-
lämpötila oikealla alueella ja jäähdytysvesikierto normaali. Valukappaleiden mittatarkkuuden ja
tasaisen mikrorakenteen kannalta olisi edullista, jos painevalukone voisi toimia keskeytyksettä
vähintään kahdeksan tuntia. Muotin lämpötila vakioituu ja pysyy tasaisena, jolloin hylkykappalei-
den määrä vähenee ja tuotanto on tasaisen nopeaa. Keskeytymätön tuotanto vähentää edelleen
painevalumuotin lämpöshokkeja ja niiden aiheuttamia vaurioita. Ongelmia voi tuoda säätölaittei-
den epälineaarisuus, säädön vaikeasti arvioitava vaikutus sekä eri säätöjen yhteisvaikutus.

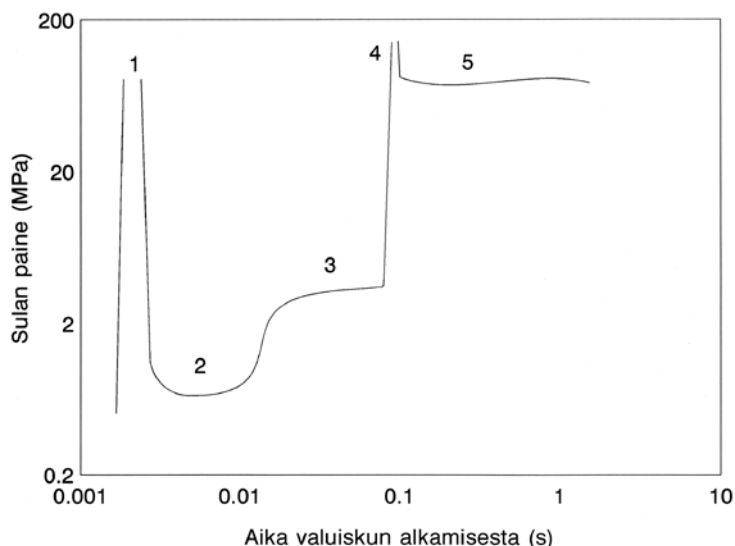
Taulukko 1 Valukappaleen laatuominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä.

Koneen parametri	Mittatarkkuus	Pinnanlaatu	Vajaatäyttö	Huokoisuus	Mekaaniset ominaisuudet
Täyttöaika		x	x	x	
Sulan nopeus sisäänvaluporteilla		x		x	
Täyttöpaine		x		x	
Jälkipuristuspaine				x	
Kanaviston konstruktio		x	x	x	
Sulan lämpötila		x	x	x	
Sulan metallurginen laatu			x		x
Muotin lämpötila	x	x	x	x	x
Muotin sulkuvoima	x				
Muotin ilmanpoisto	x	x	x		
Kappaleen jäähtymisnopeus	x				x
Ulostyöntölämpötila	x	x			
Muotin voitelu		x		x	

Valuuskun ja jähmettymisvaiheen aikana sulan paine muuttuu seuraavan kuvan (Kuva 10) esittämällä tavalla. Paineessa esiintyy alussa hetkellinen huippu (1), jonka aiheuttaa sulan hitausvoimamännän kiihdyttäessä sitä liikkeeseen. Huippu ei kohdistu muottiin asti. Seuraavassa vaiheessa kanavisto täyttyy sisäänvaluportille saakka. Paine pysyy suhteellisen matalana (2). Muotin täyttövaiheessa sulan paine nousee hiukan valuporttien kuristuksen vuoksi (3).

Kun muotti tulee täyteen, sula ja valupään hydrauliiikka pyrkii hitausvoiman vuoksi jatkamaan liikettään. Tällöin syntyy voimakas painehuippu (4), joka välittyy muottipesän sisällä olevaan sulaan pyrkien avaamaan muottia. Jos muotti raottuu, sen jakopinnoille pääsee sulaa ja kappaleeseen muodostuu nk. jakopintapursetta. Painehuippua pyritään rajoittamaan joko valukoneen ohjauksella tai eräiden valukoneiden erityisellä rakenteella, jossa hydraulijärjestelmä käsittää kaksi toisiinsa yhteydessä olevaa työsylinteriä. Toisen sylinterin mäntä liikkuu normaalia hitaammin ja siten myös pysähtyy helposti. Nopeammin liikkuvan männän ja iskumännän pysähtymistä edeltää painehuippu, joka myös jää pienemmäksi.

Täyttövaiheen päätyttyä pidetään yllä tiivistyspainetta (5), jossa voi esiintyä tahatonta heilahtelua. Tiivistyspaineen nousu on sidoksissa männän nopeuteen muotin täyttövaiheessa. Jälkipuristus jatkuu juoheasti painehiipun jälkeen, jos mäntä pysähtyy hitaasti. Jos jähmettyminen edistyy suunnatusti muottiontelon takaosista kohti sisäänvaluportteja, tiivistyspainetta voidaan jähmettymisen aikana vielä lisätä yli sulkuvoimaa vastaavan laskennallisen arvon.

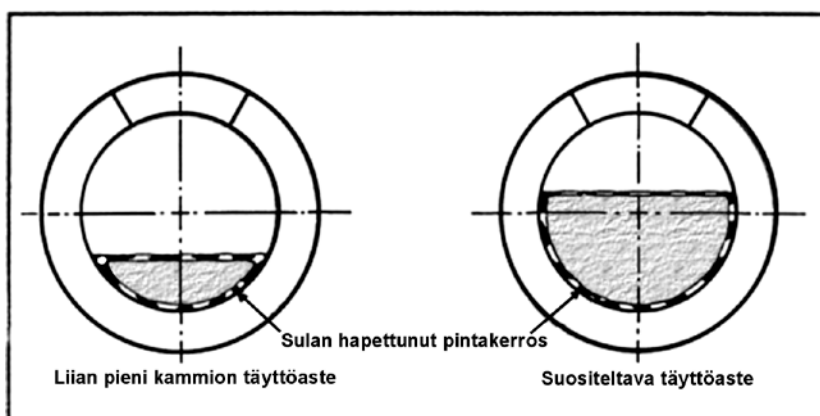


Kuva 10. Sulassa vallitseva paine valuiskun aikana. Kanaviston ja muotintontelon täyttymistä vastaavat alueet (2) ja (3), huiput (1) ja (4) johtuvat kiihdyttävään sulan ja pysähtyvään männän hitausvoimista, ja jälkipuristusta edustaa alue (5). Vastaavasti voidaan esittää paineen riippuvuus valukoneen männän siirtymästä; tällöin käyrä on muuten saman näköinen, mutta täytön jälkeisen huipun jälkeen männän pysähtyminen katkaisee käyrän siihen.

Valukammion täyttöaste vaikuttaa kappaleen laatuun huomattavasti. Kammiossa olevan sulan pinnalle muodostuu nopeasti oksidikerros. Täytettyyn sulamäärään nähden liian tehokas jäähdytys voi lisäksi johtaa sulan puuroutumiseen kammion seinämällä. Oksidi- ja puurokerros rikkoutuu, kun mäntä työntää sulan muottiin. Oksidit vaikeuttavat muotin täyttymistä tukkimalla valukanavistoa ja sisäänvaluportteja. Ne heikentävät myös valukappaleiden ominaisuuksia jäämällä niihin sulkeumiksi.

Valukammio kannattaa panostaa niin täyteen kuin mahdollista. Samalla on kuitenkin varottava, ettei sula tulvi ulos kaatoaukosta. Kohtuullisena täyttöasteena voidaan pitää 65...75 % kammion tilavuudesta. Liian pieni täyttöaste johtaa suuriin lämpöhäviöihin ja aaltoliikeilmiöön männän edellä kulkeutuvassa sulassa. Valukammiossa on pienellä täyttöasteella runsaasti kaasuja, jotka eivät välttämättä ennätä poistua muotista valuiskun aikana.

Jotta valuolosuhteet pysyvät tasaisina, valukammioon tulee täyttää sama sulamäärä jokaisella valuiskulla. Tällöin iskun toinen vaihe alkaa aina samasta kohdasta valukammiota. Tietyille kappalekoolle ja -tyypille sopiva valukone valitaan ensi kädessä iskussa tarvittavan sulamäärän ja kammion riittävän täyttöasteen perusteella.



Kuva 11. Täyttöasteen vaikutus hapettuneen sulan osuuteen kammiossa.

Pienihalkaisijaisessa kammiossa sulan pinta pysyy helpommin yhtenäisenä ja stabiilina. Valumännän nopeus ensimmäisessä vaiheessa on tyypillisesti 0,2...0,5 m/s. Nopeus valitaan helposti liian suureksi; kriittinen nopeus sulan pinnan pysymiseksi kammiossa yhtenäisenä ilman siihen sekoituvia ilmakuplia noudattaisi metreinä sekunnissa lauseketta:

$$0,03634 (1 - \text{kammion täyttöaste}) / \text{kammion halkaisija (cm)}.$$

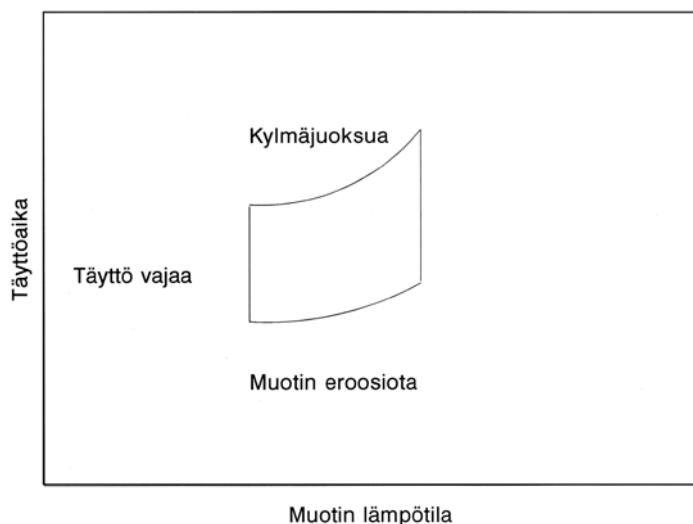
Nopeudeksi toisessa vaiheessa sopii 3...3,5 m/s kappaletyypistä riippuen, jolla muotin täyttymisajaksi muodostuu yleensä 0,02...0,04 s. Sopiva nopeus riippuu myös valettavasta seoksesta. Esimerkiksi magnesiumseoksilla männän nopeuden on oltava suurempi kuin alumiiniseoksilla. Toisessakin vaiheessa nopeus valitaan usein suureksi, jotta varmistetaan monimutkaisten ja ohutseinäisten kappaleiden täyttymisen.

Painevalumuotin kestoikä eli laadultaan hyväksyttävien kappaleiden lukumäärä loppuun kulunutta muottia kohti, on tärkeä tuotantokustannuksiin vaikuttava tekijä. Muotin kulumisnopeus riippuu ratkaisevasti valukoneen ohjauksesta sekä erityisesti muottipesän valmistukseen valittujen terästen laadusta, lämpökäsittelyn onnistumisesta ja muottipesän työstölaadusta. Muottipesään ei saa jäädä kipinätyöstettyä pintaa, pinnan viimeistely tulee tehdä huolella ja lisäksi täytyy kiinnittää erityistä huomiota terien kulumiseen. Kulunut terä voi tuottaa hiusmurtumia, jotka toimivat alkuna lämpöväsymissäröille. Kun otetaan huomioon painevalumuotin korkea hankintahinta ja käyttöiän aikana kertyvät huolto- ja korjauskustannukset, on perusteltua huomioida kaikki käyttöikään vaikuttavat tekijät.

Taulukko 2 Eri käyttökohteisiin tarkoitetuille painevalukappaleille sopivat tiivistyspaineen arvot

Valmistettavat tuotteet	Tiivistyspaine (MPa)		
	Alumiini- ja magnesiumseokset	Sinkkiseokset	Messinki
Kulutustavarat	alle 40	10...20	30...40
Tekniset tuotteet	40...60	20...30	40...50
Paineenkestävät tuotteet	80...100	25...40	80...100
Kromattavat kappaleet		22...35	

Valukoneen perusohjausparametrit voidaan yksinkertaistaa toimintaikkunaksi (process window) siten, että toiseksi muuttujaksi otetaan täyttöaika ja toiseksi muotin lämpötila. Muotin lämpötila koostuu tuotantonopeuden, sulan lämpötilan ja muotin jäähdytystehon vaikutuksista. Parametrit, joilla saadaan valettua hyvälaatuisia kappaleita, asettuvat toimintaikkunaan seuraavan kuvan (Kuva 12) esittämällä tavalla. Rajoittavina tekijöinä ovat valuviat ja liiallisesta paineesta johtuva voimakas muotin kuluminen:



Kuva 12. Valuprosessin täyttöaikaan ja muotin lämpötilaan perustuva toimintaikkuna, jota rajoittavat valuviat ja muotin korostunut kuluminen.

Muotin esilämmitys ja voitelu

Valu aloitetaan aina lämmitettyyn muottiin, koska kylmän muottipinnan ja sulan kosketus aiheuttaa voimakkaan rasituksen, joka johtaa nopeaan pinnan säröilyyn. Huolellisestikin esilämmitetystä muotista saadaan aluksi vain muutamia susikappaleita. Tavanomaisesti käytettyjen H13-laatuisten muottiterästen iskusitkeys lisääntyy vasta transitiolämpötilan noin 150 °C yläpuolella, joten esilämmityslämpötila on valettavasta seoksesta ja kappaleen seinämänpaksuudesta riippuen 150 ... 350 °C. Esilämmityslämpötila on tyypillisesti 30 ... 50 °C muotin lopullista toimintalämpötilaa alempi.

Lämmitys tapahtuu joko vastuksilla, kanavissa kiertävällä kuumennetulla öljyllä tai infrapunasäteilyllä, jolloin käyttölämpötila saavutetaan yleensä tunnissa. Muottipuoliskot lämmitetään samaan lämpötilaan, jotta pienivälkyiset ohjaimet ja liikkuvat osat eivät takertelisi. Tuotannon aikana muottipuoliskoja jäähdytetään useimmiten eri tavoin, koska erityisesti keernat pyrkivät kuumenemaan voimakkaammin kuin pesämuodot. Muotin pintalämpötila pidetään mieluummin tasaisesti kohtuullisen korkeana kuin annetaan sen välillä laskea, koska termistä väsymistä aiheuttava lämpötilavaihtelu lyhentää muottien kestoikää. Jos tuotanto keskeytyy muutamaksi tunniksi, muotin lämmitys jätetään päälle.

Muottipesän pinnat sekä ulostyöntimien päät ja valumännän pää voidellaan irrotus- ja voiteluaineella jokaisen valukierron välillä. Irrotus- ja voiteluaineen käyttö vaikuttaa muotin kulumisnopeuteen ja valukappaleiden pinnanlaatuun. Se muodostaa kalvon estämään sulan ja muottipinnan kosketuksen sekä vaimentaa hiukan muottipinnan lämpöshokkia ja samalla sulan jäähtymistä täytön aikana.

Tavanomaisimmin käytetyt nestemäiset vesi- tai öljypohjaiset irrotusaineet sisältävät melko suuria määriä kiintoaineita, yleensä hiutalemaista tai kolloidista grafiittia. Niiden viskositeetti on suuri, mutta ne ovat suihkutettavissa. Vesiliukoiset irrotusaineet ovat väkeviä emulsioita, joita voidaan edelleen laimentaa vedellä. Vesipohjaiset voiteluaineet osallistuvat myös muotin jäähtytykseen. Aineista ei tulisi jäädä jäämiä muottiin tai muodostua kaasuja valun aikana.

Voitelemiseen käytetään nk. ruiskutuslaitetta tai ruiskutuspäällä varustettua robottia. Ruiskutuslaite tai robotti toimii automaattisesti yhdessä valukoneen kanssa. Robotti voidaan kohdistaa voitelemaan täsmälleen tarvittavista paikoista, ruiskutuslaitteen säätäminen on hankalampaa. Ruiskutusaika ja -paine säädetään laitteelle siten, ettei kuumalla muottipinnalla höyrystyvä kerros estä aineen leviämistä. Syvät ja kapeat muodot voivat aiheuttaa hankaluuksia. Jos ruiskutuslaite ei pysty tuottamaan riittävää painetta, irrotusaine ei tunkeudu muottipinnalla höyrystyvän veden läpi riittävän pitkälle muottipesän muotoihin.

Ruiskutus tulisi mahdollisuuksien mukaan suunnata kohtisuoraan muottia vasten. Painevalu-muotin pinta ei kuitenkaan juuri koskaan ole tasomainen, minkä vuoksi osa voiteluaineesta osuu aina viistolle pinnalle. Irrotusaineen ruiskutuspaineen arvoksi soveltuu alumiini- ja sinkkiseoksille maksimissaan noin 6 bar riippuen suihkutussajasta ja painevalu-muotin lämpötilasta. Suihkutusetäisyyden tulee olla niin lyhyt kuin mahdollista. Hyvänä etäisyytenä voidaan pitää 10...20 cm muotin pinnasta.

Muottia ei tule ruiskuttaa irrotus- ja voiteluaineella liian pitkään ja/tai liian suurella vesimäärällä. Vesi siirtää lämpöä muotista pois, jolloin muotti jäähtyy. Suuri lämpötilavaihtelu tuottaa muotin pinnalle ajan mittaan lämpöväsymissäröjä. Paksu voiteluainekerros ehkäisee muotin kulumista, mutta toisaalta karstaannuttaa pesäpinnat ja takerruttaa kappaleen kiinni. Oikealla voiteluaineiden ja veden suhteella sidotaan osa valettavan metallin mukana tulevasta lämpömäärästä ja pidetään muotin lämpötila halutulla alueella.

Ruiskutettavien irrotusaineiden lisäksi käytetään siveltäviä, tahnamaisia irrotusaineita. Ne muodostavat melko paksun, hyvin muotin pintaan tarttuvan suojakerroksen. Irrotusaineen toimiva komponentti on yleensä luonteeltaan stabiili kiinteä voiteluaine, tavallisesti grafiitti. Siveltävä tahna levitetään muotin pintaan aika-ajoin, esimerkiksi aina vuoron aluksi.

Karstaantunut ja mahdollisesti metallien hitsautumia muodostanut muottipesä puhdistetaan muovi- tai lasikuulilla kuulapuhalluskoneessa. Sopivasti valittu kuulamateriaali muodostaa muotin pintaan suojaavan ja voitelevan kerroksen. Puhaltaminen paikkaa lämpöväsymissärojä jonkin verran.

Jos painevalumuotin pintoja kiillottaa liikaa, voiteluaine ei tartu hyvin muotin pinnalle ja kappaleen irtoaminen muotista hankaloituu. Jos muotin pinta on hyvin sileä, irrotusaine luistaa pois sularintaman edeltä muotin täytyessä. Muotti kuluu nopeasti, vaikka kiiltävä pinta toisaalta vaikeuttaa lämpösärojen ydintymistä. Kuulapuhallus parantaa muotin voitelun tehokkuutta, koska karheammalle pinnalle jää suihkutuksesta enemmän voiteluainetta. Liian karhea pinta kuitenkin vaikeuttaa valun irrottamista.

Tyhjöpainevalaminen

Tavanomaisessa painevalutekniikassa muottiontelon täytyminen joudutaan usein varmistamaan suurella täyttöpaineella ja männännopeudella, koska muotissa oleva ilma muodostaa vastapaineen muottiin siirtyvää sulaa vastaan. Sulan kohdatessa muotissa laajenevat kaasut se hajoaa useaksi virraksi, jotka myöhemmin sulautuvat yhteen ja näkyvät valukappaleen pinnalla virtausjuovina. Samalla sulan mukana muottiin kulkeutuva ilma ja kaasut jakautuvat pieniksi sulkeumiksi. Suuri täyttöpaine ja männännopeus lyhentävät painevalukoneen ja valumuotin käyttöikä sekä lisäävät kappaleiden puhdistuskustannuksia purseiden muodostumisen vuoksi. Kappaleiden mittatarkkuus voi kärsiä suuresta täyttöpaineesta, koska painevalumuotti saattaa iskun aikana avautua jonkin verran, ja keernat saattavat siirtyä.

Tyhjöpainevalua käyttäen voidaan vähentää kaasuhuokosten määrää noin 1 %:iin, kun perinteisessä painevalussa huokoisuus voi nousta 8..10 %:iin. Kaasuhuokokset tekevät lämpökäsittelyn ja hitsauksen lähes mahdottomiksi. Paineen nousu huokosissa rikkoo kappaleen pintakerroksen tai muodostaa pintarakkuloita. Ilmiö aiheuttaa ongelmia myös kappaleiden jauhemaalauksessa. Maali voi alkaa kuplia jo alle 200 °C:n lämpötilassa, kun huokosista purkautuu kaasuja maalikerrokseen. Myös kuumeneminen käyttökohteessa pilaa kappaleen pinnan.

Huokoisuutta, pintavikoja, ilmataskuja ja tarvittaessa lämpökäsittely- ja hitsausongelmia voidaan vähentää imemällä muottiin tyhjä ennen valuiskua. Tyhjövalu myös yksinkertaistaa muottia. Ylijouksuja tarvitaan vähän, jos ollenkaan. Ilmanpoistokanavia ei muotissa tietystikään ole lukuun ottamatta itse imukanavaa. Niiden puuttuminen merkitsee muottirakenteen yksinkertaistumisen lisäksi puhdistustyön vähenemistä. Paine nousee tiivistykseen nopeammin, koska muotti on tiivis. Valuiskun painetta voidaan alentaa parhaimmillaan 30 %. Iskun loppuvaiheen painehuippu alenee ja valukoneen sulkuvoima riittää suurempien kappaleiden valamiseen. Muotin raottumisesta johtuva jakopintapurseen muodostuminen jää vähäiseksi, ja vaara muottiin jääneiden purseiden aiheuttamasta vääntymisestä sen taas sulkeutuessa on pienempi.

Tyhjöprosessi lisää painevalukappaleiden murtolujuutta noin 10 %. Kappaleiden poikkipinnan kovuus kasvaa, mutta pinnan kovuus muodostuu suurin piirtein samaksi kuin perinteisesti painevaluetuissa kappaleissa. Poikkipinnan kovuus on tyypillisesti matalampi kuin pinnan kovuus, mikä johtuu huokoisuudesta kappaleen sisäosissa. Iskusitkeyttä tyhjöprosessi ei sanottavasti paranna.

Perinteisellä painevaluprosessilla valettavat vaikeahkot kappaleet tuottavat useimmiten keskimäärin 10 % hylkymäärän. Tyhjövalaminen saattaa pienentää hylkyprosenttia jopa kymmenenteen osaan. Välillisesti huokoisuuden ja muiden vikojen väheneminen voi mahdollistaa kappaleiden

seinämänpaksuuden pienentämisen, joka keventää kappaleita ja säästää raaka-ainetta. Samalla jähmettymisajan lyheneminen lisää tuotantokapasiteettia. Tyhjän imeminen tapahtuu yleensä samanaikaisesti valuuskun alkuvaiheen kanssa eikä pidennä tahtiaikaa.

Tyhjöpainevalu on monissa tapauksissa hyvä ratkaisu monimutkaisten ohutseinämäisten kappaleiden valamiseen. Tyhjövalu on toisinaan ainoa mahdollisuus valmistaa vaativia valukappaleita. Perinteinen painevalaminen on säilynyt yleisenä tuotantomenetelmänä, koska tyhjöpainevalamiseen liittyviä erityispiirteitä, käyttöönoton edellytyksiä tai laitteiden ylläpitoa ei riittävän hyvin tunneta. Tyhjöprosessin kustannukset on edelleen koettu korkeiksi. Tyhjövalaminen kannattaisi arviolta 30...40 %:lle painevalukappaleita eli noin 2/3 kappaleista kannattaa jatkossakin valaa perinteisellä tavalla.

Tyhjövalaminen soveltuu hyvin alumiini-, sinkki- ja magnesiumseoksille, rajoitetusti messingeille ja melko huonosti muille kupariseoksille. Messinkikappaleiden painevalaminen tyhjöissä vähentää muuten niiden pinnan alle helposti muodostuvaa huokoisuutta. Mekaaniset tyhjöventtiilit toimivat hyvin alumiini- ja magnesiumseosten painevalussa, mutta kupariseoksia valettaessa sulan korkea lämpötila heikentää niiden toimintavarmuutta. Magnesiumseosten tyhjövalua voidaan luonnehtia vaikeammaksi kuin alumiiniseosten.

Tyhjän imemiseen tarvitaan yksinkertaisimmillaan vain pumppu, venttiili ja venttiilin avaamiseen tarvittava anturi. Anturi voidaan kytkeä esimerkiksi havaitsemaan työsylinterin hitaan liikkeen alkaminen. Tyhjöventtiili imukanavineen liitetään joko kiinteään tai liikkuvaan muotinpuoliskoon. Tyhjöventtiileitä voi olla useampiakin. Tyhjölaitteiden koko riippuu valettavan kappaleen tyypistä ja koosta.

Vanhoissa muoteissa voi olla tyhjövalulle sopimaton rakenne. Muotti voi olla niin ahdas, ettei siihen saada sijoitettua tyhjöventtiileitä ja tyhjökanavia. Muotin jäähdytyskanavat voivat viedä suurimman osan vapaasta tilasta. Uudet muotit kannattaa suunnitella kooltaan ja muodoltaan tyhjöpainevaluun soveltuviksi, vaikka laitteita ei heti otettaisikaan käyttöön.

Ilma poistetaan paitsi muotista, myös kammionsta ennen valuuskun alkua. Eräissä tyhjölaiteistoissa jatketaan pumppaamista aivan valuiskuun asti, jotta voitelu- ja irrotusaineiden höyrystyessä muodostamat kaasut poistuvat. Tyhjökanaviin imeytyy 20 ... 50 % suihkutetun irrotusaineen määrästä. Toimintahäiriöiden yleisimpiä syitä ovat venttiilin huollon puute sekä venttiiliin kulkeutunut lika ja rasva.

Valukoneen säädöt poikkeavat perinteisestä painevalusta. Säättö tapahtuu suurelta osin kokemuksen perusteella. Kammion halkaisija voidaan vastapaineen puuttuessa valita suuremmaksi ja saman tilavuuden saamiseksi pituus pienemmäksi kuin perinteisessä painevalussa. Nopean vaiheen alkamisajankohta ei ole yhtä tarkka kuin perinteisessä painevalussa. Iskun pituutta on vaikea määrittää tarkasti, vaikka männän liike ja liikkeen toistettavuus olisivat ensiarvoisen tärkeitä laatuun vaikuttavia tekijöitä. Tyypillisiä virheitä ovat liian hidaskäyttö tai nopea isku, tyhjökanavien väärä mitoitus ja sijoitus, puutteellinen valujärjestelmä ja väärä muotin täyttymisnopeus.

Valumännän nopeus vaihtelee valuuskun ensimmäisessä vaiheessa välillä 0,3...1 m/s, eli se on perinteiseen painevaluun verrattuna tyypillisesti 40...60 % suurempi, ja toisessa vaiheessa 2...2,7 m/s. Sulan nopeus sisäänvaluporteilla voidaan valita pienemmäksi kuin perinteisessä painevalussa, tyypillisesti 20...40 m/s. Alimman käyttökelpoisen nopeuden määrää sulan mukana muottionteloon päätyvien oksidipartikkelien tehokas pirstoutuminen muotin täytyessä.

Nopeus sisäänvaluporteilla vaikuttaa voimakkaasti painevalukappaleiden pinnanlaatuun, kylmäjuoksuihin ja huokoskokoon. Erittäin vaativa valukappale edellyttää kokemusten perusteella tyhjövalussakin korkeaa täyttöpainetta. Jälkipuristuspainetta voidaan alentaa paksuseinämaisten valujen tapauksessa 20...35 % ja ohutseinämäisten 40...50 %, eli alumiini- ja magnesiumseoksille sopii 200...600 bar ja sinkkiseoksille 100...300 bar.

Tyhjöpainevalun etuja perinteiseen painevaluun verrattuna ovat

- kaasuhuokoisuuden ja kutistumishuokoisuuden väheneminen
- painetiiviyden paraneminen
- erittäin ohutseinäisten kappaleiden valumahdollisuus
- mekaanisten ominaisuuksien vaihtelun pieneneminen
- mahdollisuus pienentää täyttö- ja jälkipuristusaineita, ja siten pienempi sulkuvoiman tarve
- pienempi sulan virtausta vastaan kohdistuva vastapaine muotin täytyessä
- ilma ei hajota muotissa metallisuihkua, jolloin ilma ja kaasut eivät sekoitu muottiin syöksyvään sulaan
- männän ja muotin voiteluaineiden palamis- ja höyrystymistuotteita kulkeutuu muottiin vähemmän
- purseiden muodostuminen vähenee, ellei toimita valukoneen suorituskyvyn rajalla, ja siten kappaleiden puhdistustarve vähenee
- mahdollisuus kappaleiden lämpökäsittelyyn
- kappaleiden hitsausmahdollisuus paranee
- muotin kestoikä pitenee
- muotin ylijuksujen kokoa voidaan pienentää