

Sinkkiseosten painevalu

Miskolc University

Käännös: Tuula Höök – Tampereen teknillinen yliopisto

Painevalu on valumenetelmä, jossa metalliseos työnnetään suurella, mutta kontrolloidulla nopeudella ja paineella työkaluteräksisen muotin muottipesiin. Yleensä työkaluteräs on korkealaatuisia kuumatyöterästä. Jos tavoitteena on vain pieni eräko, muottiin voidaan käyttää myös halvempia teräsmateriaaleja.

Muottipesä täytetään muutamassa millisekunnissa, jos valettava kappale on pienikokoinen. Pisimmät täyttöajat ovat suurille valukappaleille noin puolen sekunnin luokkaa. Äärimmäisen lyhyt täyttöaika tekee mahdolliseksi valaa hyvin ohuitakin muotoja. Sula virtaa ohuiden seinämien läpi, täyttää ne ja pysyy suurella todennäköisyydellä sulana kunnes muotti on kokonaan täynnä. Muotin lämpötila pidetään noin 150 °C jähmettymislämpötilan alapuolella, jolloin kappale jähmettyy paljon nopeammin kuin muissa valumenetelmissä. Nopea jähmettyminen tuottaa paineavalukappaleen tyypilliset ominaisuudet.

Muottipesän täyttymisen ja kappaleen jähmettymisen aikana pidetään muottipesässä yllä korkeaa painetta, tyypillisesti 14 - 69 MPa. Paineella edistetään muottipesien täyttymistä ja pesissä olevien yksityiskohtaistenkin muotojen kopioitumista valukappaleeseen. Lisäksi paineella tuotetaan kappaleeseen hyvä pinnanlaatu ja mittatarkkuus. Painevaltu sinkkikappale tarvitsee valukkeiden poistamisen jälkeen enintään kevyen koneistuksen. Usein sinkkipainevalu on tarkkamittaisena käyttövalmis suoraan valukoneesta otettuna. Sinkkipainevaluja voidaan tuottaa lyhyellä jaksonajalla monipesäisessä muotissa, joten ne ovat luontaisesti suurten tuotantomäärien tuotteita.

Painevalumenetelmä oli useiden vuosien ajan perusluonteeltaan enemmän käytäntöä kuin tiedettä. Muottipesän täyttämiseen, jähmettymisen hallintaan ja kappaleen ulostyöntöön tarvittavat käytännöt kehitettiin teollisuudessa yritys-erehdys -menetelmällä. 1960-luvun loppupuolella alkoi painevalututkimus ILZRO:n (International Lead Zinc Research Organization) ja painevaluteollisuuden yhteistyönä. Tavoitteena oli kerryttää parempi ymmärrys painevaluprosessin termodynaamikasta eli lämmön siirtymisestä ja sulan virtaamisesta muotin sisällä. Tutkimusten tulokset on siirretty painevalun parissa työskenteleville yrityksille erilaisten suunnitteluohjeiden muodossa. Samalla painevalutekniikka on nostettu käytännön tasolta soveltavaksi tieteeksi.

Painevalimot soveltavat nykyisin uutta tieteenalaansa tuottaen seinämänpaksuuksia, pinnanlaatua ja mittatarkkuuksia, joita ei olisi aikaisemmin voitu kuvitella. Valuihin voidaan valmistaa reikiä ja esimerkiksi napakeskiöitä mittatarkoilla ja hellityksettömillä keernoilla. Kappaleen mittatarkkuus on jo valun jälkeen niin hyvä, ettei kappaleisiin tarvita välttämättä mitään koneistuksia. Laaduntuottokyky vaihtelee kuitenkin valimoittain. Se on osa valimon hallussa olevaa tekniikkaa ja sellaisena myyntivaltti.

Eräs tärkeimmistä valuteknisistä saavutuksista on mahdollisuus tuottaa erittäin ohuita seinämiä. Sinkkipainevaluissa voi olla jopa 0,5 mm seinämänpaksuus. Aikaisemmin sinkkipainevalu tuli suunnitella pienimmällä valuprosessille mahdollisella seinämänpaksuudella pikemminkin kuin seinämänpaksuudella, jota kappaleen käyttöolosuhteet ja konstruktio vaativat. Kappaleet, joilla oli ulkonäkövaatimuksia, tuli suunnitella niin paksuilla seinämillä, että huokoisuutta ei varmasti esiintynyt ja pinnanlaadusta muodostui riittävä.

Painevalu voidaan suunnitella nykyisin enemmän kappaleen kuin prosessin ehdoilla. Useilla painevalimoilla on käytössään valuisun säätöjärjestelmä, joka mittaa, säätää ja tallentaa metallin virtausta kuvaavia parametreja. Jos valuisun säätöjärjestelmää käytetään yhdessä tyhjävalulaitteen kanssa, voidaan valukappaleen huokoisuus ehkäistä käytännössä kokonaan ja samalla tuottaa

kappaleeseen pieniä yksityiskohtia. Valuiskua säättävä järjestelmä varoittaa koneen käyttäjää ennen kuin vikoja ilmenee.

Suunnittelija voi siirtää painevalumenetelmän mahdollisuudet käytäntöön tekemällä suunnittelu-yhteistyötä painevalimon kanssa jo aikaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia. Yhteistyöllä on odotettavissa suuriakin kustannussäästöjä, jos painevalimon ohjeistuksella voidaan vähentää koneistuksia ja pienentää kappaleeseen kuluvan materiaalin määrää.

Tutkimus, teknologian siirto ja soveltaminen käytäntöön on jatkuva prosessi, joka pitää sinkki-painevaluteollisuuden kilpailukykyisenä muiden, vaihtoehtoisten tekniikoiden paineessa. Yhteis-työhön sitoutuneet painevalukappaleen suunnittelijat hyötyvät tekniikan kehittämisestä eniten.

Painevaluprosessi

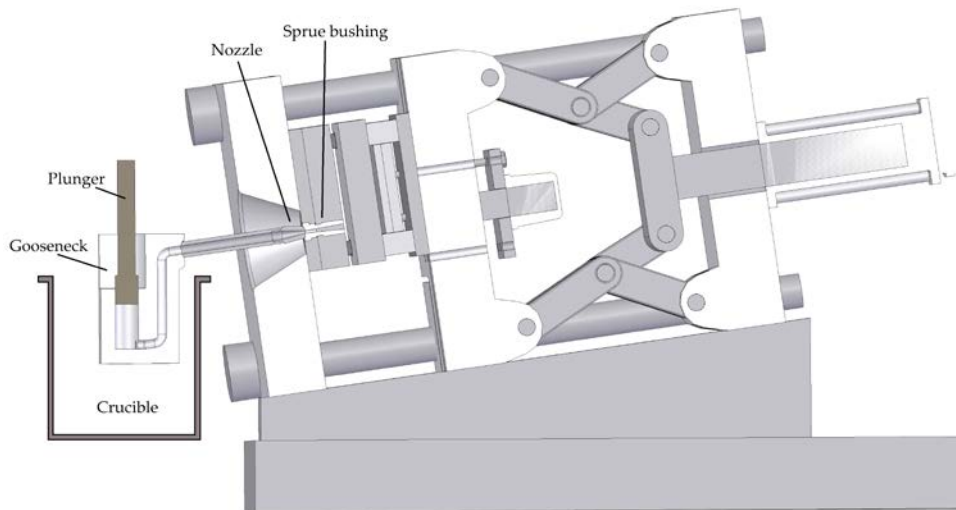
Painevaluprosesseja on kahta lajia: kuumakammiomenetelmä ja kylmäkammiomenetelmä. Kuumakammiomenetelmää käytetään sinkkiseoksille ZA-3, -5, -7 ja -8. Kylmäkammiomenetelmää käytetään seoksille ZA-12 ja -27.

Kuumakammiomenetelmä

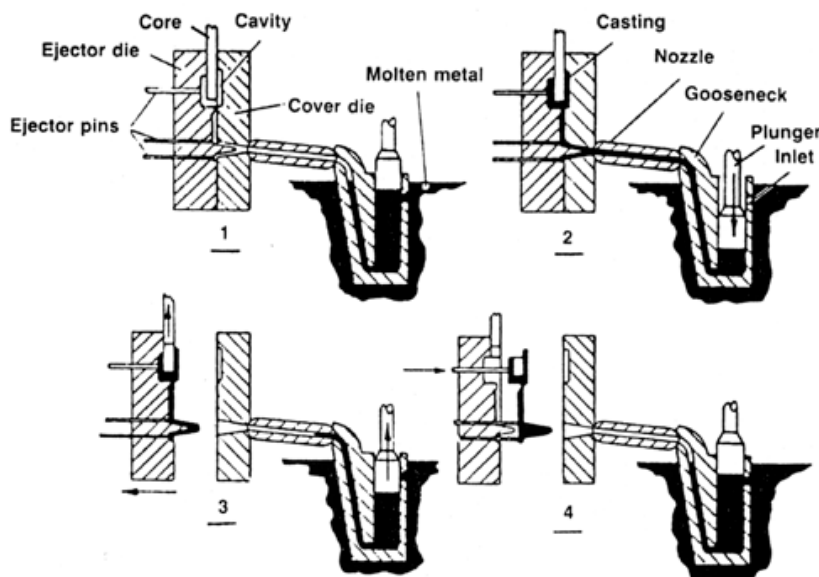
Kuumakammiopainevalukoneen rakenne on esitetty kuvassa 1. Kuumakammiomenetelmä -nimitys juontuu siitä, että koneen valukammio (hanhenkaula, gooseneck) mäntineen (plunger) on upotettu kuumanapitounin upokkaaseen (crucible) metallin sisään. Valuiskun energia tulee valukoneen hydraulijärjestelmästä ja osin paineakun kautta. Paineakun energia käytetään valuiskun täyttövaiheessa nopean liikkeen tuottamiseen.

Painevalukoneen valuiskun vaiheet on esitetty kuvassa 2. Muotti suljetaan ennen iskun aloittamista. Mäntää kuljetetaan alaspäin, aluksi hitaalla liikkeellä, jonka aikana valukammiossa oleva metalli virtaa valukammiohanhenkaulan, suuttimen ja muotin kanaviston kautta valuporteille. Tämän jälkeen paineakun paine vapautetaan ja koko muotti täyttyy. Muottipesän paine pidetään yllä, kunnes kaikki pesässä oleva metalli on jähmettynyt. Kun valukappale on jähmettynyt, muotti avataan. Mäntä palaa alkuasentoon muotin avausliikkeen aikana ja valukammio täyttyy uudelleen sulalla. Kun muotti on täysin auki, valukappale työnnetään muotista ulos ja kierto toistuu. Muotin pintaan ruiskutetaan irrotusainetta jokaisen valukierron jälkeen. Irrotusaine edistää valukappaleen irtoamista muotista.

Muottipesän viimeisenä täytyvät osat ottavat vastaan viileimmän valumetallin ja niihin muodostuu helposti valuvikoja. Nykyisten valukoneiden valuyksikön sisältämä tekniikka voi yhdessä muotin lämpötekniikan suunnittelun kanssa ehkäistä suuren osan valuvioista. Toisinaan muotin viimeksi täytyviin osiin täytyy suunnitella ylijuoksuja. Ylijuoksut ottavat viileimmän metallin vastaan, jolloin muotti täyttyy kauttaaltaan riittävän kuumalla metallilla. Ylijuoksuja käytetään vain tarvittaessa, koska ne lisäävät yhden muottipesällisen kuluttamaa metallia. Ylijuoksujen ja valukkeiden sisältämä metalli voidaan kuitenkin useimmiten kierrättää valimon sisällä.



Kuva 1 Kuumakammio-painevalukoneen poikkileikkaus.

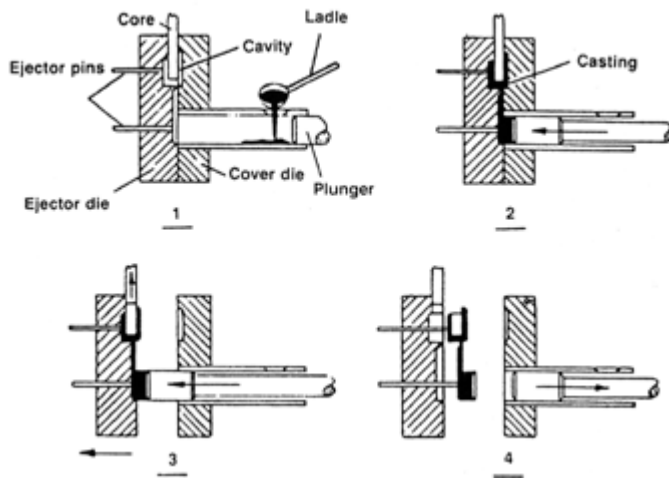


Kuva 2 Kuumakammio-menetelmän valujakson vaiheet. 1. Muotti suljetaan. 2. Mäntä painetaan alas ja muotti täyttyy. 3. Valukappale on jähmettynyt ja muotti avataan. Mäntä palaa takaisin alkuasentoon ja valukammio täyttyy sulalla. 4. Valukappale työnnetään ulos muotista.

Kylmäkammio-menetelmä

Seoksille ZA-12 ja -27 käytetään kylmäkammio-menetelmää, koska niiden valulämpötilat ovat alueella, jolla sinkki-alumiiniseokset alkavat liuottaa valukammiossa ja männässä olevaa rautaa. Samaa menetelmää käytetään alumiiniseosten painevalussa. Kylmäkammio-painevalukoneen valukierro on esitetty kuvassa 3. Perusteissaan kiertä sisältää samat vaiheet kuin kuumakammio-menetelmässäänkin. Valukammioita ei kuitenkaan ole upotettu uuniin. Valettava annos kuljetetaan yleensä automaattisesti toimivalla kauhontalaitteella vaakasuorassa olevaan valukammioon. Järjestelmään ei kuulu suuttimia. Mäntä liikkuu valukammiossa niin pitkälle kuin valumetallin annoksen tilavuus antaa mahdollisuuden. Annos lasketaan siten, että mäntä pysähtyy noin valukammion halkaisijan kolmasosan etäisyydelle muotin jakopinnasta. Männän eteen muodostuu

tällöin kylmäkammiomenetelmälle tyypillinen valujäänös (tabletti, "biscuit"). Muilta osin kylmäkammiomenetelmän valukierto vastaa kuumakammiomenetelmän valukiertoa.



Kuva 3 Kylmäkammiomenetelmän valujakson vaiheet. 1. Muotti suljetaan ja valettavan metallin annos kauhotaan vaakasentoiseen valukammioon. 2. Mäntä liikkuu eteenpäin ja muotti täyttyy. 3. Valukappale on jähmettynyt ja muotti avataan. Mäntä seuraa muotin avausliikettä ja painaa valujäänöksen valukammioista ulos. 4. Valukappale työnnetään ulos muotista. Mäntä palaa takaisin alkuasentoon.

Menetelmien ominaisuuksia

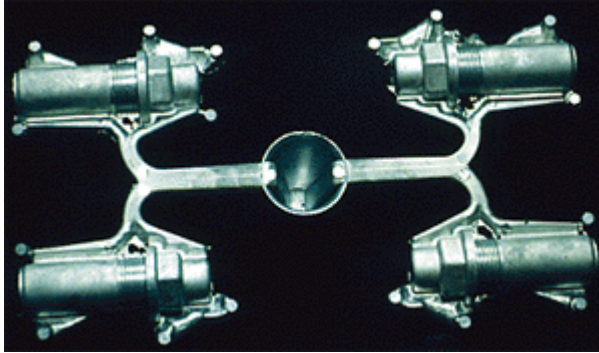
Uunissa upotettuna oleva valukammio antaa kuumakammiomenetelmälle kuusi etua kylmäkammiomenetelmään verrattuna:

- Valukammio täyttyy itsestään, kun muotti avautuu ja mäntä liikkuu ylöspäin; valukammion täyttyminen ei pidennä valujakson aikaa
- Jaksossa on vähemmän vaiheita, jolloin prosessin automatisointi on helpompaa
- Valettava raaka-aine jäähtyy vähemmän ja pysyy tasalämpöisenä, koska sitä ei tarvitse erikseen siirtää valukammioon
- Muotti täytetään useimmiten pienemmällä paineella, jolloin valukoneen sulkujärjestelmään kohdistuvat voimat ovat myös pienempiä
- Valumateriaali juoksee paremmin, jolloin kappaleessa voi olla ohuemmat seinämät; kappaleista tulee materiaaliominaisuuksiltaan tasalaatuisempia
- Valumateriaali altistuu vähemmän ilma-atmosfäärille ja hapettumiselle

On myös neljä merkittävää yhteistä ominaisuutta:

- Kappaleet ovat ulostyönnettäessä valukkeissa eli valurangassa kiinni. Valuranka muodostuu suuttimessa, kanavissa ja ylijouksuissa jähmettyneestä metallista. Kappaleet siirretään valurankoineen leikkuriin, joka irrottaa rangon. Valuranka voidaan siirtää suoraan leikkurista valukoneella olevaan uuniin ja kierrättää takaisin valuraaka-aineeksi. Valukappaleita ja rankaa kutsutaan toisinaan yhteisnimellä valos (shot).
- Muottipesän sisäinen paine nousee jyrkästi täyttövaiheen lopussa. Paineen nousu edistää pesän täyttymistä, syöttää jähmettymiskutistuman aiheuttamat tyhjet tilat kappaleen sisällä ja tiivistää kappaletta tiheydeltään tasaisemmaksi. Jos paine on asetettu liian suureksi, valukoneen sulkujärjestelmä kuormittuu liikaa ja muotti voi raottua. Metallin pääsee tällöin purkaantumaan muotin jakopinnalle muodostaen pursetta. Purseenmuodostus on hyvin hallittavissa uusimmalla tekniikalla. Joissain kylmäkammiopainevalukoneissa on paineenkorotusjärjestelmä, joka kasvattaa hydraulijärjestelmän paineen moninkertaiseksi tehostaen kappaleen syöttämistä ja tiivistämistä. Koska kappaleen uloin kerros on jo jähmettynyt, kun valuisun tiivistysvaihe alkaa, kappaleeseen voidaan kohdistaa hyvin korkeakin paine muotin raottumatta.

- Painevalukoneen sulkuvoiman täytyy olla suurempi kuin muottipesässä syntyvä metallipaine kerrottuna kappaleen jakotason suuntaisella poikkipinta-alalla. Painevalukoneet luokitellaan sulkuvoiman perusteella. Koneen sulkuvoimaksi määritetään voima, jonka kone kestää pitkässä ajossa, ei hetkellistä maksimisulkuvoimaa. Suuret valukoneet tuottavat suuren sulkuvoiman, mutta ne ovat kalliimpia ja liikkuvat hitaammin kuin pienet valukoneet. Koneen koko vaikuttaa siis valukappaleen kustannuksiin.
- Metallin maksimipaine voi raottaa muottilaattoja hieman, jolloin jakopintaan nähden koh-tisuorat mitat kappaleessa kasvavat. Muotin raottuminen tulee ehkäistä huolella, jos valukoneella aiotaan valmistaa tarkkamittaisia kappaleita.



Kuva 4 Kappaleet ja valuranka. Kappaleet irrotetaan valurangasta leikkurissa.

Painevalumuotti

Kuumakammiopainevalumuotti koostuu kahdesta muottipuoliskosta: kiinteä muottipuolisko eli pesäpuoli ja liikkuva muottipuolisko eli keerna- tai ulostyöntöpuoli. Muottipuoliskojen välistä pintaa kutsutaan jakopinnaksi. Jakopinnan ja muottipesän muoto sekä osien liikesuunnat riippuvat valukappaleesta. Muotin kiinteä puolisko kiinnitetään valukoneen paikoillaan pysyvään muottipöytään. Kuumakammiopainevalumuotin suutin, joka johtaa valumateriaalin jakokanaviin, on kiinteässä muottipuoliskossa. Muotin suutin on yhteydessä valukoneen suuttimeen. Muotin liikkuvassa puoliskossa on ulostyöntöjärjestelmä, suurin osa kiinteistä keernoista sekä jakokanavisto johtamassa metallin suuttimesta valuporteille ja edelleen muottipesiin.

Kylmäkammiopainevalumuotti on samanlainen kuin kuumakammiopainevalumuotti sillä erotuksella, että suuttimen korvaa valukammion päässä muotoutuva valujäännös.

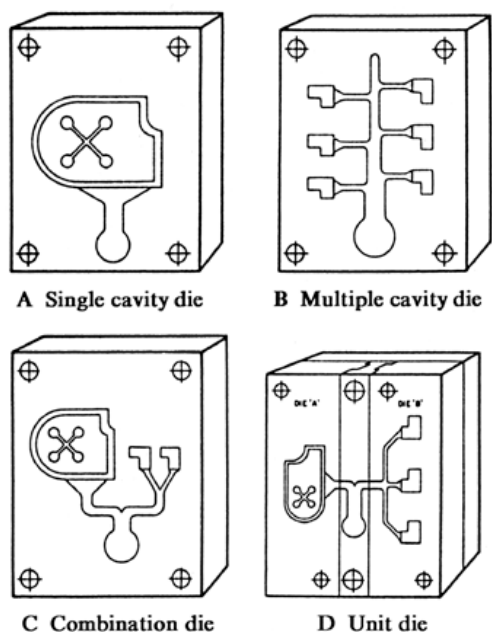
Muottipesä antaa valukappaleelle muodon. Se työstetään muottipuoliskoihin tai muottipuoliskoihin kiinnitettäviin pesäinsertteihin. Muottipuoliskot ohjataan toisiinsa ohjaustapeilla ja -holkeilla. Muotti ja kappale suunnitellaan siten, että kappale on muotin avautuessa liikkuvalla puolella valmiina ulostyönnettäväksi. Kappaleen tulisi irrota vapaasti muotin kiinteän puolen pesästä ja kiinnittyä riittävän tukevasti liikkuvan puolen pesään. Kappale työnnetään pois muotista valukoneen hydrauliliikasta käyttövoimansa saavalla ulostyöntöjärjestelmällä. Ulostyöntimien onnistunut sijoittelu on useimmiten tärkeää sekä ulostyöntön onnistumiselle että kappaleen ulkonäölle. Tämän vuoksi ulostyöntö tulisi huomioida jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa.

Kumpaankin muottipuoliskoon voidaan asettaa liikkuvia ja kiinteitä keernoja. Kiinteät keernat ovat erillisiä, muottipesään kiinnitettyjä, sen pinnasta ulospäin suuntautuvia ja valettavan kappaleen muotojen mukaan valmistettuja metallikappaleita. Liikkuvat keernat ovat luisteille tai muulla tavoin liikkuviin muotin osiin kiinnitettyjä tai niiden erottamattomaksi osaksi valmistettuja, valettavan kappaleen muotojen mukaan valmistettuja metallikappaleita. Valukappale täytyy suunnitella siten, että liikkuva keerna voidaan siirtää esteettä. Painevalumuotin liikkuvat keernat

siirretään mekaanisesti muotin avautumisliikkeen vaikutuksesta tai hydraulisyntereillä. Keernat voi sijoittaa kumpaan muottipuoliskoon tahansa, joko muottilaatan sisään tai jakopinnalle. Valun kannalta paras paikka on jakopinnalla. Liikkuvat keernat lisäävät muotin valmistus- ja huoltokustannuksia. Ne voivat myös pidentää valujaksoon kuluva aikaa. Jos niillä kuitenkin voidaan valaa jokin yksityiskohta, joka muuten olisi täytynyt koneistaa, nämä ylimääräiset kustannukset ovat perusteltuja.

Muotin liikkuvat osat valmistetaan välyksellisinä. Välyksellä on taipumus kasvaa ajan kuluessa, koska muotti kuluu käytössä. Kun välyksestä tulee riittävän suuri, valumetalli pääsee tunkeutumaan siihen muodostaen ohuita purseita. Purseet täytyy useimmiten poistaa valmiista kappaleesta. Valukappaleen suunnittelijan olisi hyvä muodostaa mielikuva kappaleen vaatimasta muottikonstruktiosta ennakoidakseen mahdolliset purseita muodostavat kohdat sekä se, millä tavalla purse voidaan poistaa.

Yksinkertaisimmillaan muotti sisältää ainoastaan yhden pesän (Kuva 5a, yksipesäinen muotti, single cavity die). Jos tuotantomäärät ovat suuria, pesien lukumäärää voidaan kasvattaa. Muottia, jossa on enemmän kuin yksi samanlainen pesä, kutsutaan monipesäiseksi muotiksi (Kuva 5b, multiple-cavity die). Muottia, jossa on enemmän kuin yksi pesä, mutta pesät ovat erilaisia, kutsutaan perhemuotiksi (Kuva 5c, combination die tai family die). Perhemuottia voidaan käyttää valuille, jotka kokonsa ja tuotantomääriensä puolesta sopivat yhtä aikaa valettavaksi. Perhemuotilla valmistetaan usein jonkin valukappalekokoontalon osia tai jopa kaikki osat.



Kuva 5 Kaaviokuva erilaisista muottipesäkokoontaloista. A Yksipesäinen muotti (Single cavity die); B Monipesäinen muotti (Multiple cavity die); C Perhemuotti (Combination die); D Vaihtopesämuotti (Unit die)

Vaihtopesämuotti sopii erityisen hyvin pienille tuotantomäärille. Vaihtopesämuotin runko koostuu pitimestä, johon voidaan kiinnittää standardikokoisia muottilaattoja. Laatoissa voi olla yksi tai useampia pesiä (Kuva 5d, unit die). Pesät voivat olla samanlaisia tai erilaisia aivan kuten perhemuotissakin. Vaihtopesämuotti nopeuttaa työkalunvaihtoa ja tuo lisää joustavuutta tuotantoon. Sen puoliskot eivät kuitenkaan kohdistu toisiinsa yhtä suurella tarkkuudella kuin tavanomaisessa muotissa. Jakokanavilla on myös taipumus pidentyä.

Muotin täyttäminen

Valtaosa nykyisestä painevalualan tutkimus- ja kehitystyöstä on keskittynyt muotin täyttämisen tekniikkaan, eli kuinka saada muotti täytettyä hyvin. Muottipesään virtaava metalli etenee enemmän tai vähemmän turbulenti. Turbulenssi sekoittaa sulan joukkoon ilmaa, jolloin valmiiseen valuun muodostuu kaasuhuokoisuutta. Huokoisuudella on taipumus keskittyä kappaleen paksuihin osiin.

Painevalu jähmettyy pintakerroksesta sisäänpäin. Pintakerroksessa on parhaat mekaaniset ominaisuudet. Se on tavallisesti tasainen eikä siinä ole silmin havaittavia vikakohtia. Ainetta poistavat jälkikäsitteilytoimenpiteet, kuten koneistaminen ja hionta, saattavat paljastaa pintakerroksen alla olevia, mahdollisesti huokoisuutta sisältäviä kerroksia. Jos painevalulta vaaditaan painetiiveyttä tai hyvää pinnanlaatua, olisi hyvä jättää valu kokonaan koneistamatta. Jos koneistus on kuitenkin välttämätön, ainetta tulisi poistaa niin matala kerros kuin mahdollista. Painetiiveyden voi yrittää palauttaa impregnoimalla.

Muotin valujärjestelmä eli järjestelmä, joka siirtää sulan metallin muottipesiin, on ratkaisevan tärkeä rakenne muottipesien täyttymisen kannalta. Valujärjestelmä tulee suunnitella virtauksen suunnassa pehmeillä ja asteittaisilla muutoksilla. Tällöin sulaan sekoittuu mahdollisimman vähän ilmaa ja kappaleiden huokoisuus vähenee. Kanava tulee suunnata muottipesää kohti siten, että pesän sisälle suihkuava metalli muodostaa oikean suuntaisen ja muotoisen virtauskuvion. ILZRO on kehittänyt kanaviston suunnittelutekniikkaa esimerkiksi mitoituksen ja kanaviston osien mittasuhteiden osalta ja siirtänyt tietoa painevalimoiden käyttöön.

Joillain painevalimoilla on käytössään tyhjövalulaitteita. Jos laitetta käytetään hyvin suunnitellussa muotissa hyvän prosessinsäätölaitteen kanssa, sinkkivaluista on mahdollista saada käytännössä lähes huokosettomia. Muotin valujärjestelmä suunnitellaan erityisesti tyhjövalulaitteistoja varten. Laitteisto poistaa muottipesässä olevan ilman juuri ennen valuiskua. Monimutkaisistakin kappaleista saadaan tasalaatuisia ja pesä täyttyy hyvin.

Painevalun talous

Sinkkipainevaluprosessin mahdollistamat tuotantomäärät ja suuri tarkkuus tuovat menetelmään selkeitä taloudellisia etuja. Yhden tuotetun kappaleen kokonaiskustannukset muodostuvat valumetallin, tuotantolaitteiden ja -henkilöiden, muotin ja viimeistelyn aiheuttamista kustannuksista.

Metallikustannukset

Painevaluseosten hinta vaihtelee talouden sykleissä, kuten monen muunkin hyödykkeen hinta. Valukappaleen tilaaja voi niin halutessaan käyttää tiettyyn päivämäärään sidottua painevaluseoksen hintaa ja lisätä siitä merkinnän ostosopimukseen.

Metallikustannukset koostuvat valumetalliseoksen listahinnan lisäksi sulatuskustannuksista ja valimon sisäisen kierrätysmetallin kustannuksista. Kierrätysmetalli muodostuu irti leikatusta valukkeista ja susikappaleista. Painevalimot pyrkivät järjestelmällisesti vähentämään metallikustannuksia pienentämällä susiprosenttia ja minimoimalla valukkeiden tilavuuden.

Laitteistokustannukset

Painevalukone on huomattava investointi, erityisesti uusimmalla ja kehittyneellä ohjausjärjestelmällä varustettuna. Laitteistokustannukset muodostavat suuren osan painealujen tuotantokustannuksista. Tuotantovauhti määrää valukappaleille kohdistuvat laitteistokustannukset, koska ne täytyy suhteuttaa tietystä ajassa tuotettujen valukappaleiden määrään. Tuotantovauhtiin vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi painealukoneen koko, yhteen valukiertoon kuluva aika, kappaleen paino, yhdellä valukappaleella tuotettavien kappaleiden määrä ja susiprosentti.

Vaikka luetellut tekijät ovat ensisijaisesti painealuyrittäjän kiinnostuksen kohteita, ne ovat samalla myös tekijöitä joihin voi vaikuttaa valukappaleen suunnittelun kautta. Kappaleessa voi esimerkiksi olla jokin yksittäinen massiivinen kohta, joka vaatii muihin osiin verrattuna pitkän jäähdytys- ja jäähtymisaajan. Tällainen kohta määrää täysin valukiertoajan. Jos mahdollista, kohta tulisi suunnitella uudelleen siten, että metallin määrää pienennetään tai siten, että kohdan ympärillä olevan, lämpöä johtavan muottimateriaalin ala kasvaa. Valukierron aika lyhenee ja valukustannukset pienenevät.

Painealukoneen käyttökustannukset yhtä valukappaleella kohti riippuvat koneen koosta, muotin monimutkaisuudesta (esimerkiksi liikkuvat keernat), yhdellä valukappaleella tuotettavien kappaleiden määrästä ja hukkamateriaalin määrästä. Luetellut tekijät riippuvat osin toisistaan ja ne vaihtelevat valuyrityksestä toiseen. Valukappaleille tarjottu hinta saattaa tästä syystä olla erilainen eri painealimista kysyttäessä, vaikka valimot olisivat tekniikaltaan samantasoisia.

Muottikustannukset

Sinkkiseokset valetaan matalammassa lämpötiloissa kuin muut painealuseokset eivätkä ne reagoi helposti muottiteräksen kanssa. Sinkkiseosten muotit kestävät pitkään. Huoltokustannukset ovat myös alhaiset verrattuna muihin seoksiin.

Sinkin painealumuotit valmistetaan työkaluteräksistä. Muotissa on yksi tai kaksi valettavan kappaleen muotojen mukaan valmistettua pesää, joiden rakennetta voi monimutkaistaa liikkuvilla osilla, kuten luisteilla. Painealumuotin hankintakustannus on korkea, mutta perusteltavissa, jos muotilla valmistettavien kappaleiden määrä on niin suuri, että kappaleiden yksikkökustannus pysyy kohtuullisena. Muottikustannus on perusteltavissa myös pienemmille tuotantomäärille, jos valumenetelmällä voidaan tuottaa tarkkamittainen komponentti, jolle ei tarvitse tehdä lainkaan kalliita jälkikäsitteilytoimenpiteitä.

Sinkin painealumuotti altistuu rankoille käyttöolosuhteille. Sula valumetalli täytetään muottiin, jonka jälkeen seuraa välitön nopea jäähdytys. Lyhyessä ajassa tapahtuva kuumeneminen ja jäähtyminen aiheuttavat yhdessä lämpöshokin, joka valukierto valukappaleelta heikentää muottimateriaalia. Vaikka materiaali on työkaluterästä, se vaurioituu viimein. Muottimateriaalin heikkenemisen vauhti on riippuvainen työkaluteräksen laadusta, sen lämpökäsittelyn onnistumisesta, valettavan metallin mukana tulevan lämmön määrästä sekä lämpötilan noususta muottiteräksessä.

Valumetalli virtaa jokaisella valukappaleella muottipesän läpi suurella nopeudella. Virtaus kuluttaa muottiterästä eroosiomekanismilla. Yksi valukappale aiheuttaa vain hyvin pienen eroosiovaikutuksen, mutta toistuessaan useiden valukiertojen ajan ilmiö tulee näkyväksi. Voimakkaimmin eroosiolle altistuvia kohtia ovat ne, joissa metalli virtaa huomattavan suurella nopeudella tai vaihtaa äkillisesti suuntaa. Epäsäännölliset muottipesän muodot sekä kohdat, joita ei pysty jäähdyttämään tehokkaasti, kulumat eroosion vaikutuksesta myös nopeasti. Useimmiten eroosiolle alttiit kohdat voitaisiin ennakoida ja poistaa jo valukappaleen suunnittelun aikana, jos valimon ja kappaleen tilaavan yrityksen välinen yhteistyö käynnistettäisiin riittävän varhaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia.

Muottiteräksen eroosio näkyy valmiissa valukappaleessa selkeimmin terävien nurkkien pyöröistymisenä, pinnanlaadun heikkenemisenä ja joidenkin seinämien paksuuntumisena. Kun muotti

vaurioituu, se poistetaan tuotannosta ja korjataan. Kun korjaaminen ei enää ole mahdollista, muottipesät ja pulpulta koko muotti vaihdetaan uuteen.

Jälkikäsitteilykustannukset

Painevalukappaleille suoritetaan yleisesti seuraavat viisi jälkikäsitteilytoimenpidettä koneistamisen ohella: valukkeiden leikkaaminen, rummutus, kiillotus, hionta hiekkapaperilla ja hionta hiomakivellä.

Valukkeiden leikkaaminen: Painevalukappaleet poistetaan muotista suuttimen tai tabletin, jakokanavien, ylijooksujen ja purseen kanssa. Kappaleet erotetaan näistä ylimääräisistä osista tavallisimmin viimeistelyleikkurissa. Ylimääräiset osat (eli valukkeet) sulatetaan ja käytetään valujen raaka-aineena. Pienikokoisten ja minikokoisten painevalukappaleiden kanavat voidaan poistaa ulostyönnön yhteydessä. Tällöin ei tarvita erillistä leikkaustyövaihetta. Kappaleen on oltava jäykkä, jotta se kestää leikkaamisen aiheuttaman vääntörasituksen. Valukkeet tarjoavat jonkin verran tukea leikkaamista varten. Toisinaan tuki on riittävä, mutta ei aina, jolloin kappale saattaa vaatia lisätukea. Valukappaleen suunnittelijan on hyvä keskustella myös leikkaustyövaiheesta valimon kanssa jo aikaisissa suunnitteluvaiheissa, jotta kappale voidaan muotoilla hyvin leikattavaksi.

Painevalukalukappale leikataan usein koko jakolinjan mitalta. Leikkaintyökalun kustannukset ovat pienimmillään, jos jakolinja on yhdellä tasolla. Kustannukset pienenevät edelleen, jos jakolinjalla ei ole epäsäännöllisiä muotoja. Monimutkaisien, monitasoisten viimeistelyleikkaimen kustannukset on kuitenkin mahdollista perustella, jos sillä suoritettu leikkaustyövaihe korvaa joitain muita, ehkä kalliimpia viimeistelyvaiheita. Kappaleen yksikkökustannukset vähentyvät.

Rummutus: Rummutusta käytetään usein muotojen vuoksi hankalasti leikattaville painevalukappaleille; esimerkiksi kappaleille, joissa purse on muodostunut muotin liikkuvien osien ympärille. Valut asetetaan säiliöön, joka on täytetty hiovilla ainesosilla ja altistetaan värähtelylle. Hiovat ainesosat kuluttavat ensimmäisenä kaikki ulokkeet, kuten purseen.

Kiillottaminen: Jakolinja näkyy valmiissa painevalukappaleessa vähintään matalana harjanteena, jossa toisinaan on myös pursesta. Jos kappaleella on ulkonäkövaatimuksia, purseetonkin jakolinja siistitään. Purseen korkeus ja paksuus riippuvat muotin kuluneisuuden asteesta sekä valuiskun säätöparametreista. Valuiskun säätäminen voi joissain tapauksissa vähentää purseen muodostusta tai jopa ehkäistä sen kokonaan.

Ulkonäöltään vaativissa, esimerkiksi kiiltäviksi kromattavissa kappaleissa jakolinja siistitään purseenpoiston jälkeen kiillottamalla. Kiillottamiseen käytetään pehmeää, suurella nopeudella pyörivää laikkaa ja erittäin hienorakeista hioma-ainetta.

Hionta hiekkapaperilla ja hiomakivellä: Jos painevalussa on tavallista paksumpi ainevahvuus jakopinnalla, se viimeistellään hiomalla, joko nauhahiomakoneella tai hiomakivellä. Useimmiten vaihe tehdään käsityönä. Käsityövaihetta ei kuitenkaan pysty tekemään tarkasti, jolloin on vaarana, että joltain kriittiseltä alueelta poistuu liian suuri määrä ainetta. Suunnittelijan tulee yksilöidä kappaleen piirustukseen kaikki kriittiset alueet, jotta niiden viimeistely osataan tehdä riittäväällä huolellisuudella ja oikeat menetelmät valiten.

Sinkkipainevalujen ominaisuudet

Sinkkipainevalu jähmettyy muotissa hyvin nopeasti. Painevalun mikrorakenteesta tulee hienojakoinen ja mekaanisista ominaisuuksista hyvät. Valuseoksen mukana tullut lämpö poistuu muottipesän pintakerroksen kautta muottiteräkseen. Muottiteräs jäädytetään kierrättämällä muotin jäähdytyskanavien läpi jäähdytysnestettä, vettä tai lämmönsiirtoöljyä.

Sinkkipainevalut jähmettyvät pintakerroksista sisäosiin pain. Seinämiin muodostuu kaksi selvästi erillistä kerrosta (Kuva 6). Päällimmäistä, hyvin hienorakeista kerrosta kutsutaan valunahaksi. Se on paksuudeltaan tavallisesti 0.4 - 0.5 mm. Valunahassa ei tavallisesti ole lainkaan huokoisuutta. Huokosilla on taipumus ryhmittyä paksujen seinämien keskiosiin. Valunahassa on muuhun aineeseen nähden erinomaiset mekaaniset ominaisuudet johtuen sen hienorakeisuudesta ja huokosettomuudesta. Koska valunahka on kauttaaltaan saman paksuista kappaleen seinämänpaksuudesta riippumatta, painevalukappaleiden ohuet seinämät ovat lujempia kuin paksut seinämät. Suunnittelijat eivät useinkaan osaa ottaa tätä painevalujen ominaisuutta huomioon.

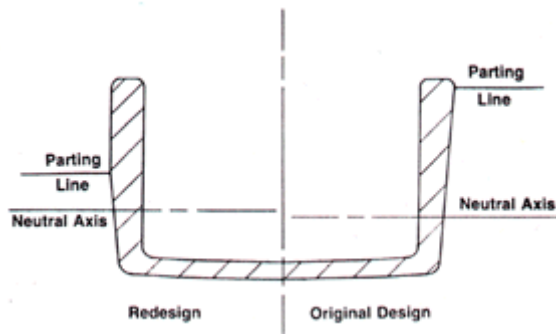


Kuva 6 Poikkileikkaus painevalukappaleen seinämästä. Poikkileikkauksessa näkyy vasemmalla valunahka ja sen oikealla puolella eri tavalla kiteytynyt seinämän sisäosa. Matti Niemi, Tampereen teknillinen yliopisto.

Jakolinjan sijainti vaikuttaa valun onnistumiseen huomattavan paljon, koska valuportit ja ylijuuksujen portit on välttämättä sijoitettava muotin jakopinnalle. Valuportti johtaa valettavan metalliseoksen muottipesään sisälle. Ylijuuksun portti johtaa kaasut ja huonolaatuisen metallin pesästä ulos. Jakolinja ja portit vaikuttavat kappaleen ulkonäköön ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Porttikohdat näkyvät selkeästi valmiissa kappaleessa. Kappaleen suunnittelijan tulisi keskustella valuporteista ja ylijuuksujen porteista valimon kanssa, jotta niiden sijainti tulee valittua molempia osapuolia tyydyttävällä tavalla. Valun tulee onnistua ja ulkonäön tulee olla hyväksyttävä.

Jakolinjalta pois leikattu ylimääräinen metalli paljastaa kappaleen seinämän sisäosat, jotka voivat olla huokoisia tai rosoisia. Kun tällaiset alueet altistuvat jaksottaisille rasituksille, huokoisuus voi toimia jännitysten keskittäjänä, jolloin kappaleeseen muodostuu väsymisvikoja ennakoitua aikaisemmin. Huokoisuus saattaa olla ongelmallinen myös kappaleen ulkonäön kannalta.

Toisinaan on tarpeen suunnitella valukappale uudelleen siten, että jakolinja siirretään johonkin vähän rasetettuun kohtaan. Kuva 7 esittää sinkistä painevalumenetelmällä valmistetun kahvan poikkileikkauksen. Kahva altistui käytössä jaksottaiselle taivutukselle, joka muodosti sen yläpuolelle veto- ja alapuolelle puristusjännitystilan. Kappaleen jakolinjalla, portin alla oli huokoisuutta, joka aiheutti maksimaalisten rasitusten alueelle jännityskeskittymiä. Kahva suunniteltiin uudelleen siten, että jakolinja tuli lähemmäksi neutraaliakselia, jolla rasitukset olivat vähäisempiä. Uuden konstruktion haittapuoleksi todettiin, että jakopintapursetta muodostuu aikaisempaa näkyvämpään paikkaan, joten kappaletta täytyi viimeistellä hiomalla varsin pitkään.



Kuva 7 Sinkistä valmistetun kahvan poikkileikkaus. Alkuperäinen ja muokattu versio. Muokkauksen tavoitteena oli siirtää jakolinja pois kappaleen eniten rasitetuista osista.

Valuviat

Valuviat ovat erityisen haitallisia valukappaleen kuormitetuilla alueilla. Pinnoitettavilla, näkyviin tarkoitetuilla osilla ei saa olla pienikokoisiakaan vikoja, koska useimmat pinnoitusmenetelmät korostavat niitä. Osa valuvioista johtuu valuprosessista ja ne on mahdollista poistaa säätämällä prosessia sopivaksi. Kappaleen suunnittelijan täytyy kuitenkin olla perillä valuvikojen muodostumiseen vaikuttavista tekijöistä, koska osa tekijöistä on sidoksissa kappalekonstruktioon.

Säröily

Säröilyyn pyritään useimmissa tapauksissa vaikuttamaan kasvattamalla muotin lämpötilaa, suuntaamalla sulan virtaus muotin sisällä edullisemmin ja parantamalla voitelutekniikkaa. Valukappaleen konstruktiosta saattaa kuitenkin vaikuttaa säröjen muodostumiseen siinä määrin, että prosessiin kohdistuvat säätötoimenpiteet eivät riitä ja valimo pyytää tekemään joitain pieniä kappalemuutoksia.

Kutistuminen voi aiheuttaa säröilyä jos, kappaleessa laajaan pintaan kiinnittyy ripa tai jokin muu vapaata kutistumista rajoittava muoto. Kutistuma voi pitkällä matkalla kasvaa niin suureksi, että sen aiheuttama jännitys ylittää metallin kuumamurtolujuuden. Kappale repeää tällöin rivan ja laakean alueen risteyskohdasta. Repeämä voidaan välttää muotoilemalla kappaleeseen lisää ripoja, jotka jakavat kutistumisvoimat tasaisesti. Toinen vaihtoehto on aikaistaa kappaleen ulostyöntöä niin paljon, ettei kutistuman aiheuttama jännitys ennätä nousta kuumamurtolujuuden yläpuolelle.

Paksuseinämäiset, suorakulmaiset kehysrakenteet ovat herkkiä muodostamaan säröjä nurkkakohtiin, koska nurkka jäähmettyy suhteellisen hitaasti. Nurkkiin muodostuu myös kutistuman aiheuttamia jännityskeskittymiä. Sopivalla nurkkapyörityssäteellä voi lieventää jännityksiä. Valuiskun kolmannen vaiheen painetta voi myös olla tarpeen kasvattaa.

Kylmäjuoksut

Kylmäjuoksuja voi muodostua kohtiin, joissa kaksi vastakkaisista sulavirtaa kohtaa. Tällaisia virtauksia voi esiintyä keernan takana, mutta myös siinä tapauksessa, että osa muottipesästä täytyy takaisinvirtauksella. Valimo pyrkii korjaamaan tilannetta suuntaamalla sulan virtaus muottipesän sisällä uudella tavalla.

Kutistumat

Jos muotti kuumenee paikallisesti, kappaleeseen muodostuu usein tälle kohdalle repaleista ja epäsäännöllistä kutistumien aiheuttamaa huokoisuutta. Paikallista kuumaa kohtaa voi yrittää jäähdyttää aikaisempaa voimakkaammin tai vaihtoehtoisesti pidentää valujakson aikaa siten, että

muotin ja kappaleen jäähtyminen voi tapahtua pitemmän ajan kuluessa. Jos valujakson pidentäminen ei ole mahdollista, korjaavana toimenpiteenä voi seuraavaksi harkita portin ja jakokanavien laajentamista, jotta kutistumahuokosia muodostava kohta voidaan syöttää tehokkaasti. Joissain tapauksissa voi olla tarpeen lisätä rivoituksia, jotta syöttäminen mahdollistuu.

Kutistumahuokoisuutta muodostuu todennäköisimmin kappaleen paksuihin seinämiin. Paras keino kutistumien ehkäisemiseksi on paksujen kohtien keventäminen keernoittamalla. Kutistumien syynä voi olla toisaalta myös liian matala tiivistyspaine valuiskun kolmannessa vaiheessa. Ratkaisuna on mahdollisuuksien mukaan lisätä kolmannen vaiheen painetta.

Kaasuhuokoisuus

Loukkuun jäänyt kaasu muodostaa valukappaleen sisään pyöreitä huokosia. Kun huokoisuutta on lähellä kappaleen ulkopintaa, se voi nostaa pinnan rakkuloille kuumentamisen aikana tai välittömästi ulostyönnön jälkeen, kun kappale on vielä kuuma. Pinnoituksessa muodostuva lämpö saattaa olla riittävä. Huokoisuusongelmaa voi pyrkiä vähentämään tekemällä ilmanpoistokanaviin, valukanavistoon, muottipesän täyttymisolosuhteisiin tai voiteluun muutoksia. Tyhjöläitteellä ja huolellisella prosessimuuttujien säädöllä huokoisuudesta voi päästä kokonaan eroon.

Kutistumahuokoisuus

Kutistumahuokokset ovat epäsäännöllisen kokoisia ja muotoisia. Niillä on taipumus esiintyä kappaleen paksuimmissa osissa, koska paksut osat syöttävät ohuempia osia jähmettymisen aikana. Kutistumahuokokset saattavat vaikuttaa kappaleen eheyteen. Etenkin, jos ne muodostuvat koneistettaville, esimerkiksi kohtiin, joihin valmistetaan sisäkierteitä. Kutistumahuokokset eivät sisällä kaasua, joten ne eivät voi nostaa kappaleen ulkopintaa rakkuloille.

Kutistumahuokoisuutta voi kontrolloida asettamalla painevalun prosessimuuttujat sopivasti. Joissain tapauksissa on kuitenkin tarpeen tehdä kappaleeseen muutoksia. Muutokset kohdistetaan erityisesti paksuihin seinämiin. Sisäkierteet tulisi työstää keernoitettuihin alkureikiin, jolloin kierre on mahdollista muovata tiiviiseen ja huokosettomaan metallikerrokseen.

Erkaumat

Sinkkiseokset ZA 12 ja 27 voivat muodostaa erkaumia sulattamisen aikana ja kappaleen jähmettyessä. Erkaumien muodostuminen vähenee, jos sulatus tehdään oikeilla menetelmillä ja painevalu jähmettyy muotissa niin nopeasti, ettei erkautumista ennätä tapahtua.

Rakkulat

Rakkuloita muodostuu kappaleen ulostyönnön jälkeen tai jos kappaletta myöhemmin kuumentaan. Rakkuloiden syynä on lähelle ulkopintaa muodostunut voimakas kaasuhuokoisuus. Rakkuloita voidaan ehkäistä antamalla kappaleen jähmettyä muotissa riittävän pitkään ennen ulostyöntöä. Tällöin pintakerros ennättää jäähtyä ja vahvistua. Parempi tapa on kuitenkin pyrkiä vaikuttamaan syihin, joilla huokoisuus on muodostunut.

Vetojäljet (hankaumat)

Kappaleeseen muodostuu ulostyönnön aikana vetojälkiä (eli hankaumia kappaleen sivuille), jos muottipesään on jäänyt tahattomasti pieni vastahellitys tai vajaita hellityksiä. Vastahellitys voidaan korjata hiomalla, mutta vajaata hellitystä ei voi korjata muuten kuin työstämällä muottipesä uudelleen. Ulostyöntö voi olla myös epätasapainossa siten, että ulostyöntölaatat kallistuvat ja kiilaavat kappaleen muottipesän pystyseinämiin nähden vinoon asentoon. Osa kappaleen seinämisestä laahautuu tällöin muottipesän seinämiä vasten. Kevyet vetojäljet, esimerkiksi lievä kiillottumi-

nen, voivat olla hyväksyttäviä kappaleen näkymättömiin jäävillä pinnoilla, esimerkiksi rei'issä, jotka on toteutettu hellittämättömillä keernoilla.

Kappaleen vääntyileminen

Valukappale voi vääntyillä ulostyönnön aikana, jos jokin sen osa takertuu muottipesään kiinni. Takertumisen syynä voi olla pieni paikallinen vastahellitys, hellityksetön pinta tai liian pieneksi mitoitettu hellitys. Vastahellitykset täytyy hioa pois tai joissain tapauksissa työstää koko muottipesä uudelleen, jotta hellitykset saadaan kaikkialla riittävän kokoisiksi. Hellitykset tulisi tarkistaa yhdessä valimon kanssa jo siinä vaiheessa, kun kappaletta suunnitellaan. Vääntyily voi toisaalta johtua myös muotin ylikuumenemista, jolloin ratkaisua haetaan jäähdytystehon lisäämisestä tai valukierron ajan pidentämisestä.

Joillakin muodoilla (esimerkiksi jännitysristikko, jossa on toisiinsa kiinnittyneitä eri paksuisia seinämiä) on taipumus kutistua eriasteisesti siten, että seurauksena on kappaleen vääntyminen. Tällaisiin muotoihin asetetaan toisinaan rivoitus, joka ehkäisee ja jakaa kutistuman tasaisemmin. Kutistumia voidaan tasoittaa myös jäähdyttämällä muottia sopivasti eri teholla eri puolla pesää.

Lämpösäröily

Muotin säröily on useimmiten lämpöväsytymisen aiheuttamaa. Lämpöväsytymissäröt muovautuvat valukappaleeseen hiukan koholla olevina, hienoina suonimaisina muodostelmina. Muotin käyttöikä voidaan jatkaa kiillottamalla se muottipesän osa, jossa säröily on ensimmäisenä ollut havaittavissa. Lämpöväsytymistä voidaan jarruttaa esikuumentamalla muotti huolellisesti, käyttämällä mahdollisimman alhaisia lämpötiloja ja käyttämällä säännöllistä sumuvoitelua.