



Tuomas Korhonen

ALUMIINISTEN PAINEVALUKAPPALEIDEN SUUNNITTELUOHJEISTUS

ALUMIINISTEN PAINEVALUKAPPALEIDEN SUUNNITTELUOHJEISTUS

Tuomas Korhonen
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Tuomas Korhonen
Opinnäytetyön nimi: Alumiinisten painevalukappaleiden suunnitteluohjeistus
Työn ohjaaja: Jukka Kinnula
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013
Sivumäärä: 79 + 7 liitettä

Työn tilaaja Elektrobit Wireless Communications Oy on langattomiin laitteisiin erikoistunut yritys. Nykyaikaiset laitteiden keveys- ja kestävyysvaatimukset tarkoittavat käytännössä sitä, että osat on monesti valmistettava kevytmetalleista. Elektrobit käyttää tuotteissaan alumiinista painevalettuja osia. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin alumiinisten painevalukappaleiden suunnitteluun liittyviä asioita ja tuotettiin tilaajalle tästä aiheesta ohjeistusdokumentti sekä koulutus. Ohjeistusdokumenttiin sisällytettiin tilaajan sisäisiä tietoja, joten sitä ei julkaistu tämän raportin yhteydessä.

Opinnäytetyössä kartoitettiin suunnitteluohjeiden lisäksi painevaluissa esiintyviä valuvikoja, alumiinin jälkikäsittelymenetelmiä sekä painevalettavia alumiiniseoksia ja niiden ominaisuuksia. Työn kartoitusvaiheessa tietoa etsittiin alan kirjallisuudesta sekä Internetistä. Elektrobitille tehdyssä suunnitteluohjeistuksessa käytettiin aineistona lisäksi työntekijöiden kokemukseräistä tietoa.

Painevalu on suursarjamenetelmä, joka soveltuu hyvin alumiiniseoksista valmistetuille suhteellisen pienille, mutta mittatarkoille kappaleille. Painevalujen geometrian suunnittelussa tärkeimpiä huomioitavia asioita ovat jakotaso, päästöt, pyöristykset ja seinämänpaksuus. Koska huomioitavia asioita on paljon, kannattaa valukappaleen suunnittelu yleensä suorittaa yhteistyössä valimon suunnittelijan kanssa. Parantamalla ja tehostamalla alumiinisten painevalukappaleiden suunnitteluprosessia voidaan saada aikaan suuria rahallisia säästöjä.

Asiasanat: painevalu, alumiini, suunnitteluohjeet

ALKULAUSE

Haluan kiittää Elektrobit Wireless Communications Oy:n puolesta opinnäytetyöni ohjaajina toimineita Manager Mikko Määtänniemeä ja Senior Design Engineer Sami Eloa asiantuntevista neuvoista sekä kannustuksesta.

Lisäksi kiitokset Oulun seudun ammattikorkeakoulun puolesta toimineelle ohjaajalle lehtori Jukka Kinnulalle käytännönläheisistä neuvoista sekä mielenkiinnosta työtäni kohtaan.

Oulussa 7.2.2013

Tuomas Korhonen

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 VALAMINEN	9
2.1 Yleistä	9
2.2 Menetelmät	10
2.2.1 Kestomuottimenetelmät	10
2.2.2 Kertamuottimenetelmät	11
3 PAINEVALU	12
3.1 Yleistä	12
3.2 Valuisku	12
3.3 Muotti	13
3.4 Suorituskyky	14
3.5 Valukonetyypit	14
3.5.1 Kylmäkammiokone	14
3.5.2 Kuumakammiokone	15
4 VALUVIAT	17
4.1 Yleiset mittaviat	17
4.2 Siirtymäviat	18
4.3 Muotoviat	18
4.4 Ainepuutokset	19
4.5 Pintaviat	21
4.6 Imuviat	22
4.7 Kaasuhuokoisuus ja rakkulat	23
4.8 Sulkeumat	24
4.9 Sulautumisviat	25
4.10 Halkeamat	26
4.11 Valuosien tarkastus	28
4.11.1 Silmämääräinen tarkastus	29
4.11.2 Magneettijauhetarkastus	29
4.11.3 Tunkeumanestetarkastus	29

4.11.4 Radiografinen tarkastus	30
4.11.5 Ultraäänitarkastus	30
4.11.6 Painetiiveyden tarkastus	31
5 VALETTAVAT ALUMIINISEOKSET	32
5.1 Alumiini-piiseokset	36
5.2 Alumiini-magnesiumseokset	36
5.3 Alumiini-kupari-titaaniseokset	37
5.4 Alumiini-pii-magnesiumseokset	37
5.5 Alumiini-pii-kupariseokset	37
5.6 Alumiini-sinkki-magnesiumseokset	38
5.7 Valettavien alumiiniseosten merkintä	38
5.7.1 Numeerinen nimikejärjestelmä	38
5.7.2 Kemialliseen koostumukseen perustuva nimikejärjestelmä	39
5.7.3 Tilatunnukset	40
6 LÄMPÖ- JA PINTAKÄSITTELYMENETELMÄT	41
6.1 Lämpökäsittelymenetelmät	41
6.1.1 Erkautuskarkaisu	41
6.1.2 Jännityksenpoistohehkutus	41
6.1.3 Pehmeäksihehkutus	42
6.1.4 Homogenisointi	42
6.2 Pintakäsittelymenetelmät	42
6.2.1 Mekaaniset menetelmät	43
6.2.2 Kemialliset menetelmät	44
6.2.3 Sähkökemialliset menetelmät	46
6.2.4 Pinnoittaminen	48
7 SUUNNITTELUOHJEITA	50
7.1 Valuasento ja jakopinta	51
7.2 Muotin täyttyminen	54
7.3 Päästöt	55
7.4 Seinämänpaksuus ja seinämien muoto	57
7.5 Pyöristykset	59
7.6 Risteyskohdat ja rivat	60

7.7 Keernojen käyttö	65
7.8 Reiät, kierteet ja insertit	66
7.9 Piirustukset ja merkinnät	68
7.10 Valujen koneistus	69
8 YHTEENVETO	71
LÄHTEET	73
LIITTEET	79

1 JOHDANTO

Työn tilaaja Elektrobit Wireless Communications Oy on kansainvälinen yritys, joka on erikoistunut langattomien laitteiden suunnitteluun. Tilaajan suunnittelemat tuotteet vaihtelevat telekommunikaatiotuotteista puolustusteollisuuden tuotteisiin. Nykyaikaiset laitteiden keveys- ja kestävyysvaatimukset tarkoittavat käytännössä sitä, että tuotteet on monesti valmistettava kevytmetalleista, kuten alumiini- tai magnesiumseoksista.

Työn tavoitteena on tutkia alumiinisten painevalukappaleiden suunnitteluun liittyviä asioita, jotka työn tilaaja on määritellyt lähtötietomuistiossa (liite 1). Työssä tutkitaan suunnittelusääntöjen lisäksi painevalua valumenetelmänä, valettavia alumiiniseoksia, alumiinin jälkikäsittelyjä, valuvikoja sekä niiden tarkastusmenetelmiä. Työssä tutkitaan määriteltyjä asioita vain painevalun näkökulmasta.

Työssä tuotetaan tämän raportin lisäksi tilaajalle samasta aiheesta ohjeistusdokumentti ja koulutus. Ohjeistusdokumentissa käytetään myös tilaajan sisäistä tietoa, joten sitä ei voida julkaista tämän opinnäytetyön yhteydessä. Ohjeistuksen ja koulutuksen tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa alumiinisten painevalukappaleiden suunnitteluprosessia.

Painevalu on muotin kustannuksien vuoksi erittäin kallis valumenetelmä, joten painevalujen suunnittelu kannattaa tehdä huolella. Painevalujen suunnittelussa täytyy huomioida kappaleen geometrian lisäksi valimon, muotinvalmistajan ja mahdollisen konepajan rajoitteet. Painevalujen geometrian suunnittelussa on huomioitava monia asioita, kuten jakotaso, päästöt, pyöritykset ja seinämänpaksuus. Standardisoituja suunnittelusääntöjä ja suosituksia käyttämällä pystytään tehokkaasti välttämään valuvikoja ja saamaan aikaan suuria rahallisia säästöjä.

2 VALAMINEN

2.1 Yleistä

Valaminen on valmistusmenetelmä, jolla pystytään valmistamaan halutun kokoinen ja muotoinen valukappale täyttämällä tarvittavan kappaleen geometriaa vastaava valumuotti sulalla valumateriaalilla. Tämän jälkeen sulan annetaan jähmettyä muottiin ja valmis valukappale voidaan poistaa muotista. Valmistusmenetelmänä valaminen on perusmenetelmä eli sillä saadaan valmistettua kappale lopulliseen tai melkein lopulliseen geometriaansa suoraan valettavasta raaka-aineesta. Myös muokattavien aihoiden ja erilaisten profiilien valaminen on mahdollista. (Ihalainen – Aaltonen – Aromäki – Sihvonen 2000, 66.)

Valaminen on yleensä nopein ja energiatehokkain menetelmä, jolla voidaan tuottaa valmis tuote suoraan raaka-aineesta. Valaminen soveltuu yksittäis- ja sarjatuotantoon kappaleen massan vaihdellessa alle grammasta satoihin tonneihin. Eri valumenetelmät ovat eri tavalla rajoittuneita taloudellisesti kannattavien sarjakokojen ja sopivien valukappaleiden massojen mukaan. Valukappaleen muoto ei juuri aseta rajoituksia, ja näin ollen valamalla voidaan valmistaa kappaleita, joiden muoto, mekaaniset ja tribologiset ominaisuudet ovat ainutlaatuisia. (Ihalainen ym. 2000, 66 - 67.)

Vaikka kaikki metallit ja metalliseokset ovat valettavia, niiden käyttäytyminen sulana voi vaihdella paljon. Tämän takia on kehitetty erityisesti valamiseen soveltuvia valumetalleja, jotka voidaan jakaa rautametalleihin ja ei-rautametalleihin. Rautametalleihin kuuluu harmaarauta eli suomugrafiittirauta, pallografiittirauta, valkoinen valurauta, adusoitu rauta, seostetut valuraudat sekä valuteräkset. Ei-rautametalleihin luetaan kevyet seokset eli alumiini-, magnesium- ja titaaniseokset sekä kevytmetallikomposiitit ja raskaat seokset eli kuparivaluseokset, sinkkivaluseokset ja superseokset. (Ihalainen ym. 2000, 67 - 73.)

Suunniteltavan kappaleen valmistusmenetelmän valinnassa täytyy huomioida kappaleen materiaalivaatimukset ja -vaihtoehdot, toleranssit, sarjasuus sekä kappaleen pinnanlaatu- ja geometriavaatimukset. Valukappaleen suunnittelu kannattaa suorittaa yhteistyössä valimon suunnittelijoiden kanssa, joilla valusuunnittelun tietotaito ja kokemus on hyvä. Valimon ja muotin valmistajan laitteiden ja menetelmien rajoitusten seurauksena lopullinen valukappale voi poiketa merkittävästi alkuperäisestä suunnitelmasta. (Meskanen – Höök 2009a, 1 - 2.)

2.2 Menetelmät

Käytettävä valumenetelmä on hyvä päättää jo kappaleen suunnitteluvaiheen alussa. Karkeasti luokiteltuna valumenetelmät voidaan jakaa kestomuottimenetelmiin ja kertamuottimenetelmiin. Valumenetelmä on valittava menetelmän rajoittavat tekijät huomioiden. Tällaisia tekijöitä ovat sarjakoko, kappaleen massa, toleranssit, valumateriaali, seinämänpaksuus, pinnanlaatu, kustannukset ja toimitusvaatimukset. (Meskanen – Höök 2009b, 1, 11.)

2.2.1 Kestomuottimenetelmät

Kestomuottimenetelmät vaativat yleensä sarjatuotantoa, koska muotti on arvokas. Korkea hinta johtuu siitä, että muotti valmistetaan metallista, keraameista tai grafiitista. Yleisimpiä kestomuottimenetelmiä ovat painevalu, matalapainevalu, kokillivalu ja keskipakovalu. Koska muottia ei hajoteta valun jälkeen, kappaleen muodot täytyy suunnitella siten, että muotti pystytään aukaisemaan ja kappale saadaan pois muotista. Kaikissa kestomuottimenetelmissä voidaan lisäksi käyttää liikkuvia keernoja sisäpuolisten muotojen aikaansaamiseksi. (Meskanen ym. 2009b, 1.)

Kestomuottimenetelmä mahdollistaa tarkemman lopputuloksen kuin kertamuottimenetelmä. Tarkkuus johtuu muottimateriaalin lisäksi muotin jäähdytyksestä, joka tarkkuuden lisäksi parantaa kappaleen mikrorakennetta ja mekaanisia ominaisuuksia. Metallimuoteilla valetaan alumiini-, magnesium-,

titaani-, kupari- ja sinkkiseoksia ja vain harvoin terästä ja valurautaa. (Meskanen ym. 2009b, 1.)

2.2.2 Kertamuottimenetelmät

Kertamuottimenetelmissä muottimateriaalina käytetään hiekkaa, keraameja tai kipsiä. Valukappaleen irrotus tapahtuu hajottamalla muotti kappaleen ulkopuolelta ja sisäpuolelta. Tämän takia kappale voidaan muotoilla lähes vapaasti toisin kuin kestopuottimenetelmissä, joissa muottia ei voida hajottaa. (Meskanen ym. 2009b, 1.)

Kertamuottimenetelmissä muotin valmistukseen tarvitaan erillinen valumalli, joka valmistetaan yleensä puusta, vahasta, muovista, metallista tai styroksista ja hartsista. Mallimateriaali pitää valita halutun sarjakoona mukaan, sillä esimerkiksi metallimalli on pitkäkestoinen, mutta hyvin arvokas. Hiekkavalu, tarkkuusvalu ja kuorimuottivalu ovat yleisimpiä kertamuottimenetelmiä. (Meskanen ym. 2009b, 1.)

3 PAINEVALU

3.1 Yleistä

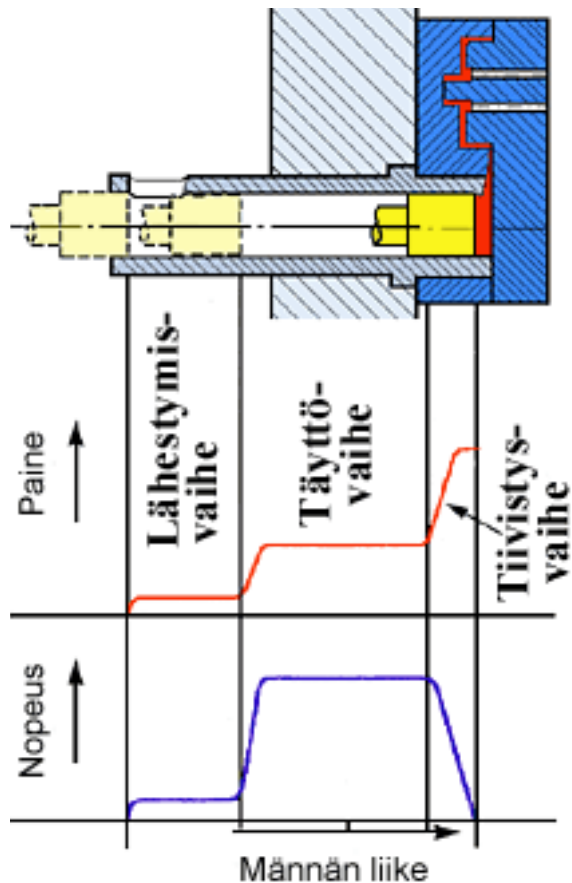
Painevalu on kestopuottimenetelmä, jossa materiaalisula puristetaan korkealla paineella ja nopeudella esilämmitettyyn kestopuottiin. Painevalu on suursarjatuotantomenetelmä varsin pienille ja ohutseinäisille ei-rautametallisille kappaleille. (Ihalainen ym. 2000, 90.) Painevalun etuja muihin valumenetelmiin verrattuina ovat (Itävuori – Höök, 2009, 1):

- pienempi työvoiman, materiaalin, jälki- ja oheistyön sekä tilan tarve
- valukappaleessa parempi pinnanlaatu ja mikrorakenne
- paine mahdollistaa ohuemmat seinämäpaksuudet
- pienempi ympäristön kuormitus, kuten päästöt ja melu.

Painevalukoneen toimintavaiheet ovat seuraavat: muotin sulkeminen, liikkuvien keernojen siirtäminen, valuiskun suorittaminen, kappaleen pitäminen puristuksessa, muotin avaus ja kappaleen ottaminen pois muotista. Muita painevalukoneen toimintavaihteita ovat muotin ruiskutus irrotusaineilla, kappaleen ulostyöntö sekä muotin kuivaus ja jäähdytys. (Itävuori ym. 2009, 1 - 5.)

3.2 Valuisku

Painevalukoneen valuisku on kolmivaiheinen (kuva 1). Ensimmäisessä vaiheessa eli lähestymisvaiheessa kone täyttää muotin sisäänvalukanavan kohdalle. Tällöin männän ja sulan liikkumisnopeus on hidasta. Toisessa vaiheessa eli täyttövaiheessa valumateriaali puristetaan muottiin sekunnin murto-osassa. Kolmas vaihe on tiivistysvaihe, jossa sulaa puristetaan ja pidetään paineessa kunnes se on jähmettynyt. Kolmas vaihe kestää sekunnista muutamiin sekunteihin valumateriaalista riippuen. (Meskanen ym. 2009b, 8.) Painevalukoneiden materiaalisulan puristusaine on 20 - 200 MPa, mikä edellyttää koneelta myös suurta sulkuvoimaa (Valujen taloudellinen käyttö. Osa 3 valmistusmenetelmät 1988, 19).



KUVA 1. Painevalukoneen valuiskun kolme vaihetta (Meskanen ym. 2009b, 8)

3.3 Muotti

Teräksestä valmistettu painevalumuotti jaetaan kiinteään puoliskoon eli pesäpuoliskoon (cavity) ja liikkuvaan puoliskoon eli keernapuoliskoon (core). Kiinteä muottipuolisko on kiinnitettynä valukoneen paikallaan pysyvään muottipöytään ja liikkuva muottipuolisko valukoneen liikkuvaan muottipöytään. Muottipuoliskojen kappaleen muotoavat osat ovat nimeltään muottipesiä. Sinne sula johdetaan valukanavistoa pitkin. Keernoilla tarkoitetaan kaikkea muottipesän pinnasta ulospäin suuntautuvaa muotoa. Yhdessä ilmanpoistokanaviston kanssa valukanavisto muodostaa painevalukoneen valujärjestelmän. Lisäksi muottiin voidaan lisätä ulosveto- ja keernanvetomekanismeja sekä jäähdytyskanavistoja. (Höök 2009b, 1.)

3.4 Suorituskyky

Painevalettava kappale voi painaa normaalisti 0,1 - 5 kg, mutta erikoistapauksissa jopa 45 kg. Kappaleiden tulee olla ohutseinäisiä. Minimiseinämänpaksuus on 0,5 - 1,5 mm riippuen seinämän pinta-alasta. Valumateriaaleina käytetään lähinnä magnesium-, alumiini- ja sinkkiseoksia sekä messinkejä. Suuren paineen takia menetelmä on hyvin tarkka, joten reiät, kierteet, merkinnät ja kapeat raot voidaan valaa valmiiksi ja samalla vähentää jälkityöstön tarvetta. Painevalussa saavutetaan yleensä 1,5 - 2,0 Ra pinnanlaatu. Koska muotti on suhteellisen arvokas, taloudellisesti kannattava sarjakoko on minimissään 1 000 - 5 000 valukappaletta. (Meskanen ym. 2009b, 9.) Painevalumuotin kestoikä on noin 50 000 - 200 000 valukertaa (Meskanen ym. 2009b, 2).

Painevalulla saavutettava toleranssiaste alumiiniseoksille on standardin SFS-EN ISO 8062-3 mukaan 6 - 9 DCTG (liite 2). Toleranssiasteeseen vaikuttaa kappaleen suurin kokonaismitta. Painevalun geometrinen toleranssiaste alumiiniseoksille vaihtelee välillä 2 - 4 GCTG (liite 3). (SFS-EN ISO 8062-3 2007, 30 - 32.)

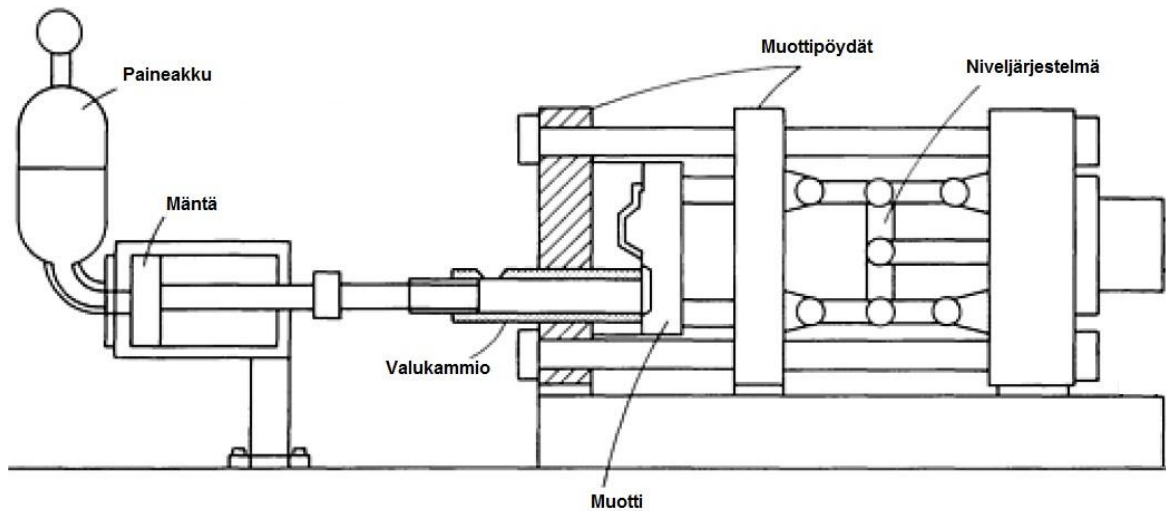
3.5 Valukonetyypit

3.5.1 Kylmäkammiokone

Painevalamiseen käytettävät koneet jaetaan kylmäkammi- ja kuumakammiokoneisiin niiden valujärjestelmien rakenteiden perusteella. Kylmäkammiokoneen valukammio on yleensä vaakatasossa ja liittyneenä suoraan muotissa olevaan valukanavistoon. Valukammio täyttyy erikseen ennen jokaista valuiskua. Tämä tapahtuu joko annostelulaitteella tai käsin. Alumiiniseoksista valmistettavat kappaleet valmistetaan lähes poikkeuksetta kylmäkammiokoneilla. (Itävuori ym. 2009, 5.)

Kylmäkammiopainevalukoneessa muotinpuoliskot on asennettuina valupuolella ja liikkuvalla puolella oleviin muottipöytiin (kuva 2). Valukammio johtaa kiinteän

muottipuoliskon ja valupuolella olevan muottipöydän ja läpi. Liikkuva kiinnityslevy liikkuu hydraulisen sulkusylinterin vaikutuksesta johteilla. Kun sulkusylinteri sulkee liikkuvan muotinpuoliskon kiinteää muotinpuoliskoja vasten, se samanaikaisesti lukitsee niveljärjestelmän, joka ottaa vastaan valumateriaalin puristuksesta aiheutuvan paineen. (Itävuori ym. 2009, 5.)



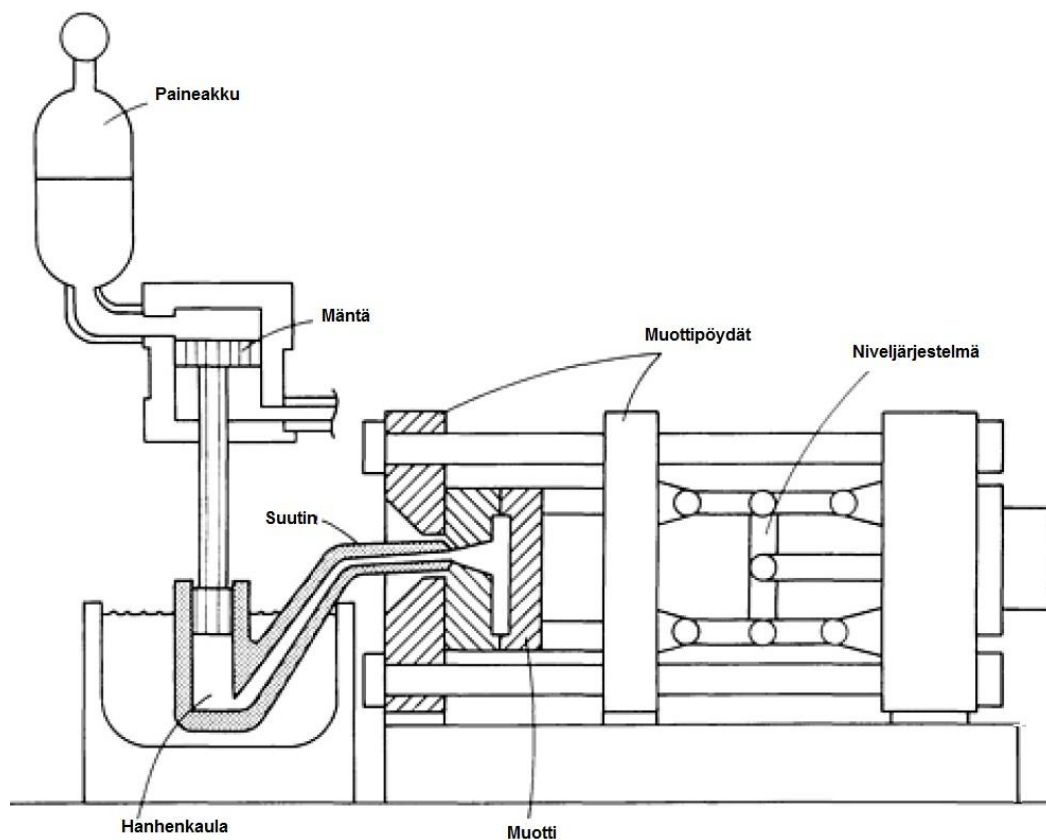
KUVA 2. Kylmäkammiopainevalukoneen rakenne (Sully 1998, 287)

Kylmäkammiokoneella pystytään valamaan erikokoisia kappaleita, kun valukammio vaihdetaan valukappaleelle sopivaksi. Kammio pyritään mitoittamaan siten, että sulaa materiaali täyttää kammion tilavuudesta 66 - 75 %. Näin ollen kammiossa on myös ilmaa, mutta iskun hidasta vaihetta säätämällä ilma saadaan poistumaan ilmanpoistokanaviston kautta pois ennen varsinaista valuiskua. Mikäli ilma kuitenkin jää sulan sisään, se voi aiheuttaa kappaleeseen huokoisuutta. Valuiskun toisella ja kolmannella vaiheella on kuitenkin ensimmäistä vaihetta suurempi merkitys kappaleen huokoisuuteen. (Itävuori ym. 2009, 5.)

3.5.2 Kuumakammiokone

Kuumakammiokone eroaa kylmäkammiokoneesta valukammion osalta, joka onkin sijoitettuna suoraan uunin sisälle pystyasentoon (kuva 3). Sulaa puristetaan valukammiossa hanhenkaulaa pitkin muottipuoliskoja väliin. Muilta

osin koneen rakenne vastaa kylmäkammiopainevalukoneen rakennetta. Koska valukammio on sulapinnan alapuolella, kammiota täyttyy itsestään valuiskun jälkeen ja prosessi nopeutuu. Tämä kone mahdollistaa vain sellaisten seosten valamisen, joiden valulämpötila on matala eivätkä ne liuota mäntää tai valukammiota. Menetelmää käytetään lähinnä magnesium- ja sinkkiseoksille. (Itävuori ym. 2009, 7.) Lisäksi menetelmä soveltuu myös lyijy- ja tinaseoksille niiden matalan sulamispisteen takia (Ihalainen ym. 2000, 90).



KUVA 3. Kuumakammiopainevalukoneen rakenne (Sully 1998, 287)

4 VALUVIAT

Millään valumenetelmällä ei voida valmistaa täydellistä tuotetta, joten valuviat mielletäänkin kappaleen laatuominaisuuksiksi. Tietyt valuviat ovat kuitenkin tyypillisiä tietyille valumenetelmille. Koska valuvioilta ei voida välttyä täydellisesti, on tärkeää, että asiakas määrittelee laatukriteerinsä täsmällisesti toimittajalle. Asiakkaan määriteltäviä kriteereitä ovat ulkonäkövaatimukset, lujuusvaatimukset, koneistettavat pinnat sekä kappaleen mitat ja muoto. (Meskanen – Höök 2010, 2.)

Valuviat voivat johtua heikosta valukappaleen, muotin ja mallin suunnittelusta tai huonosta materiaalin sulatuksesta, kuljetuksesta sekä käsittelystä. Lisäksi vikoja voi myös aiheutua muotin kokoamisesta, keernanvalmistuksesta tai valun aikana tapahtuvista virheistä. Valuvikoja ovat mitta-, muoto-, pinta-, siirtymä-, imu-, huokoisuus- ja sulautumisviat sekä materiaalin rakenneviat, ainepuutokset, sulkeumat ja halkeamat. Lisäksi valimolla voi olla omia valukoneesta, muotista tai valumateriaalista johtuvia valuvikoja, joten valukappaleen suunnittelu kannattaa suorittaa yhteistyössä valimon suunnittelijan kanssa. (Meskanen ym. 2010, 1 - 2.) Tässä luvussa on käsitelty vain painevaluissa esiintyviä valuvikoja.

4.1 Yleiset mittaviat

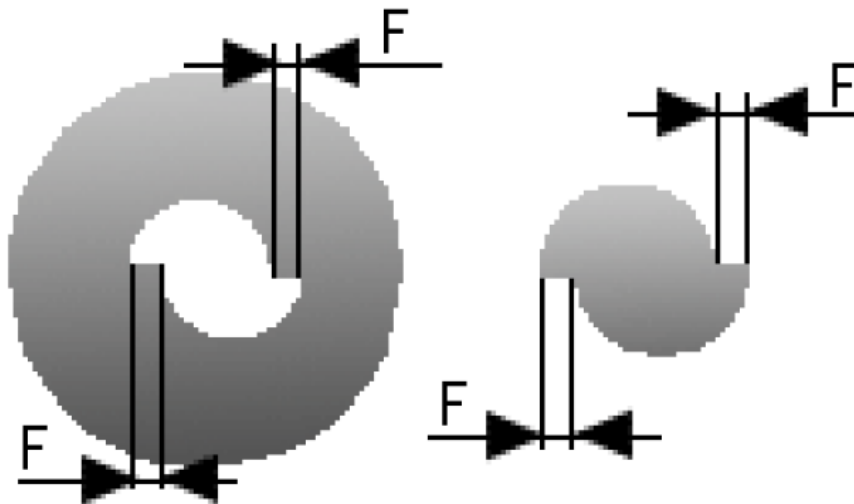
Valukappaleen jokin mitta voi olla erisuuruinen kuin on alun perin määritelty. Tämä voi johtua muotti- tai varustevirheestä. Muotin suunnittelussa on voitu valukappaleen kutistumavara eli krymppi laskea väärin tai kappaleen monimutkainen muoto olisi vaatinut eri osiin kappaletta eri kutistumavarat. Yleisten mittavikojen ilmetessä suunnittelijan täytyy miettiä, onko hän valinnut valumenetelmän, jolla päästään hänen vaatimiin mittatarkkuuksiin. (Meskanen ym. 2010, 2 - 3.)

Yleisiä mittavikoja ovat myös liian suuri ja pieni ainevahvuus. Erityisesti painevalussa liian suuri ainevahvuus voi johtua valukoneen alhaisesta

sulkuvoimasta, liian ohuesta liikkuvasta muottilaatasta tai muotin liikkuvan puoliskon riittämättömästä tuennasta. Liian pieni ainevahvuus, joka johtuu yleensä huolimattomasta keernojen käytöstä, ei ole ongelma painevalussa. (Meskanen ym. 2010, 3.)

4.2 Siirtymäviat

Siirtymävikoja voi painevalussa tapahtua kappaleen jakotasossa (kuva 4). Tämä voi tapahtua, mikäli kestromuotin ohjaus on huono. Lisäksi lämpölaajeneminen aiheuttaa siirtymävikoja jakotasoon, mikäli muottipuoliskojen ohjaukset ovat liian väljät. (Meskanen ym. 2010, 4.)



KUVA 4. Siirtymäviika jakotasossa (Meskanen ym. 2010, 4)

4.3 Muotoviat

Muotista johtuvat muotoviat, aiheuttavat harvoin ongelmia painevalussa. Reikien ja muotojen puuttuminen voi kuitenkin myös johtua keernojen virheellisestä käytöstä. Tämä on mahdollista myös painevalussa, jos liikkuva tai kiinteä keerna on murtunut valun aikana. (Meskanen ym. 2010, 5 - 6.)

Muita muotovikvoja ovat käyritymät. Näitä aiheutuu kappaleen eri osissa olevista sisäisistä jännityksistä sekä liian pienistä päästöistä. Sisäiset jännitykset voivat aiheutua sulan kutistumisesta. Mikäli painevalukappaleen

päästöt ovat liian pienet, kappale tarttuu muottiin ja ulostyöntäjät voivat vääntää kappaletta kieroksi. Jotta käyristymiltä vältyttäisiin, kappaleen suunnittelussa on pyrittävä pitämään kappaleen seinämänpaksuus mahdollisimman vakiona. Painevalujen suunnittelussa täytyy siis olla tarkkana päästöjen ja seinämävahvuuksien kanssa. (Meskanen ym. 2010, 5 - 6.)

4.4 Ainepuutokset

Ainepuutokset voivat johtua vajaavalusta, vuotaneesta muotista, kylmäjuoksusta tai leikkausviasta. Vajaavalussa valumateriaalia ei ole ollut tarpeeksi muotin täyttymisen kannalta, koska kauhontalaite on ottanut liian vähän sulaa tai kaatanut sen osittain tai kokonaan ohi kylmäkammiopainevalukoneen valukammioista. Valukoneeseen on myös voinut tulla jokin toimintahäiriö, joka on aiheuttanut vajaavalun. (Meskanen ym. 2010, 7.)

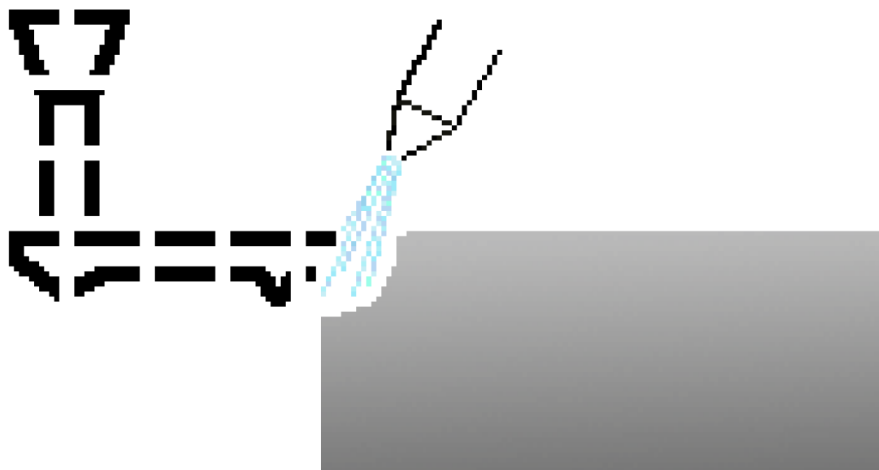
Mikäli muotti on vuotanut, kappale on jäänyt samalla tavalla vajaaksi kuin vajaavalussa. Tämä on vain harvoin ongelma painevalussa, mutta voi joskus johtua liian pienestä jakopinnan pinta-alasta. Valukoneen toimintahäiriö voi myös aiheuttaa muotin huonon sulkeutumisen, jonka seurauksena muotti vuotaa. (Meskanen ym. 2010, 7.)

Kylmäjuoksussa valukappaleesta puuttuu osa, joka johtuu liian kylmästä valumateriaalista tai painevalussa myös liian kylmästä muotista (kuva 5). Valujärjestelmässä voi myös olla puutteita. Kylmäjuoksuja syntyy seinämävahvuuksien ollessa liian pieniä. Painevalussa muotin ilmanpoisto voi olla riittämätön tai ylijooksut on suunniteltu väärin. Valukappaleen muoto ei välttämättä mahdollista sellaisen valukanaviston käyttöä, jotta sulan virtausmatka pysyisi tarpeeksi lyhyenä, vaan sula jähmettyy liian aikaisin. Lisäksi sulan virtausreitit saattavat olla liian monimutkaisia tai kapeita varsinkin valuportin vastakkaisella puolella olevien keernojen takana. (Meskanen ym. 2010, 7.)



KUVA 5. Kylmäjuoksu (Meskanen ym. 2010, 7)

Muotista poistettu painevalukappale sisältää purseita ja valuportteja. Näiden poistaminen kappaleesta voidaan suorittaa manuaalisesti tai suuremmissa sarjoissa hydraulisella leikkaimella. (Sully 1998, 295.) Leikkausviat aiheuttavat ainepuutoksia valmiisiin valukappaleisiin valuporttien ja valukkeiden poiston yhteydessä (kuva 6). Valuportin ja syöttöjen kohdaksi tulisi valita laaja tasainen pinta, josta näiden irrotus on helppoa. Tämän pinnan lähellä olevat osat ja liittymät tulisi varustaa tarpeeksi isoilla pyörityksillä. Lisäksi valukkeiden ja kappaleen liittymäkohtiin tulisi suunnitella lovet, jotka helpottavat valukkeiden poistoa. Valukkeiden ja kappaleen raja pitää merkitä selvästi piirustuksiin ja kappaleeseen. Lisäksi on huomioitava, että valukkeiden poisto kaarevilta pinnoilta on hyvin hankalaa. (Meskanen ym. 2010, 8.)

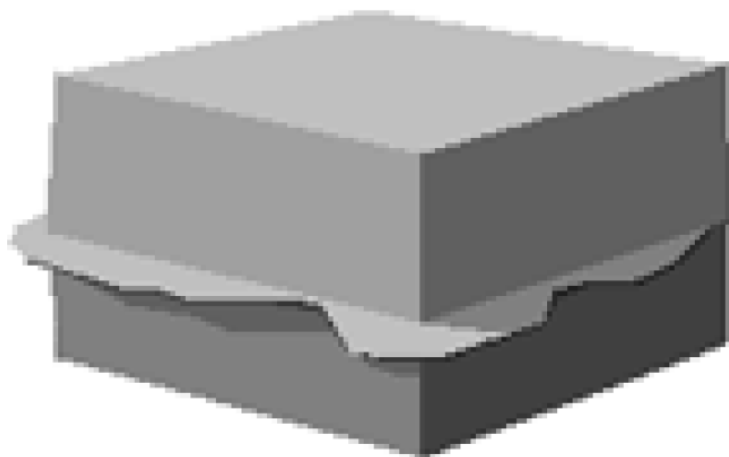


KUVA 6. Valukkeiden virheellisestä poistamisesta johtuva leikkausvika (Meskanen ym. 2010, 8)

4.5 Pintaviat

Pintaviat jaetaan ulospäin ja sisäänpäin suuntautuviin pintavikoihin. Monet pintaviat ovat ongelmia vain hiekkavalussa sekä valumenetelmissä, joissa käytetään hiekkakeernoja. Painevaluissa esiintyviä ulospäin suuntautuvia pintavikoja ovat lähinnä vain purseet. Sisäänpäin suuntautuvia pintavikoja ei juuri painealuissa esiinny. (Meskanen ym. 2010, 9 - 14.)

Purseen ollessa kappaleen jakopinnassa, muotin jakopinta on ollut epätasainen tai muotti on ollut huonosti kiinnitetty (kuva 7). Painealuissa koneen sulkuvoima on myös voinut olla riittämätön. Purse merkitsee monesti myös sitä, että kappaleessa on lisäksi mittavikoja muotin aukeamissuunnassa. Purseenpoistosta aiheutuu lisää työ- ja puhdistuskustannuksia. Jotta purseilta voitaisiin välttyä, muottiin on pyrittävä saamaan suora jakopinta, joka on helpoin hioa tasaiseksi. (Meskanen ym. 2010, 10.)



KUVA 7. Jakopintapurse (Meskanen ym. 2010, 10)

Halkeamapurseita voi syntyä painealuissa, mikäli muotti on lämpöväsynyt tai siihen on syntynyt halkeamia. Tällaiset säröt ja halkeamat aiheuttavat valukappaleen pintaan ohuita suonimaisia muotoja. Halkeamapurseiden syntyyn voidaan vaikuttaa oikealla materiaalivalinnalla sekä muotin sopivalla jäähtyksellä. Lisäksi purseita voi myös syntyä, mikäli muotissa olevat välykselliset osat, kuten keernat ja ulostyöntimet, ovat kuluneet.

Painevalukappale tulisi suunnitella siten, että se on helppo ruiskuttaa voiteluaineilla. Tämän takia erityisesti korkeissa muodoissa pitäisi olla riittävät päästöt. (Meskanen ym. 2010, 10 - 11.)

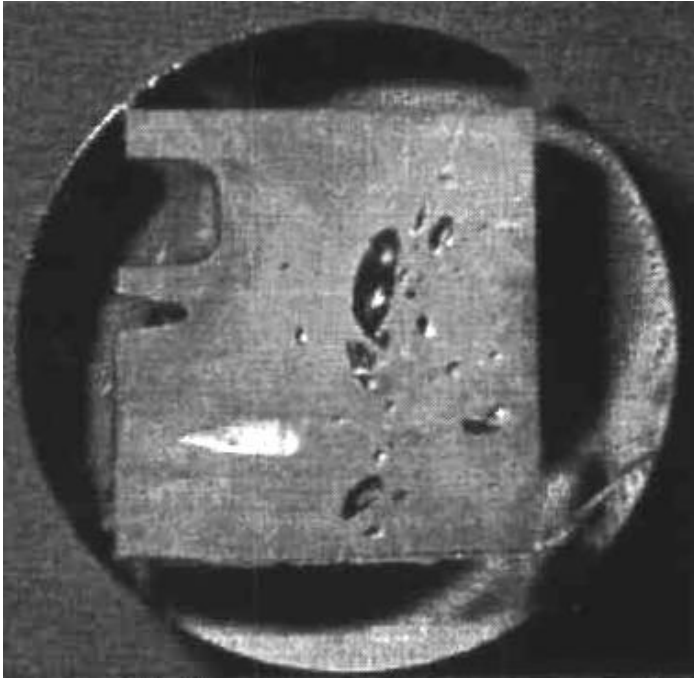
4.6 Imuviat

Imu- eli kutistumisviat johtuvat kappaleen jähmettymisen aikana tapahtuvasta kutistumisesta (Meskanen ym. 2010, 1). Imuvikoja ovat imupainauma, avoimu, imuontelo, imuhuokoisuus ja mikroimu. Painevalussa imupainauma syntyy kohtaan, jossa on taipumusta imu- tai kaasuhuokoisuudelle tai kohtaan, jonne syöttö on ollut heikkoa (kuva 8). Erityisesti seinämien risteyskohtiin on riski muodostua imupainaukia, mutta niitä voidaan välttää lisäämällä jäähdytystä tällaisiin kohtiin. Kappaleen suunnittelussa tulisi välttää suuria ainekeskittymiä ja pitää seinämänpaksuus tasaisena. (Meskanen ym. 2010, 14 - 16.)



KUVA 8. Imupainauma seinämien risteyskohdassa (Meskanen ym. 2010, 14)

Imuonteloita esiintyy kaikissa valumenetelmissä. Imuontelo tarkoittaa kappaleen sisällä, erityisesti paksuissa kohdissa, olevaa säännötöntä onteloa (kuva 9). Imuonteloita ei voida kokonaan poistaa valutekniikalla, mutta niitä voidaan siirtää jäähdytyksen avulla kohtiin, joissa niistä ei ole haittaa. Imuonteloiden välttämiseksi kappaleeseen ei saisi suunnitella suuria ainekeskittymiä tai monimutkaisia risteyskohtia. (Meskanen ym. 2010, 15.)



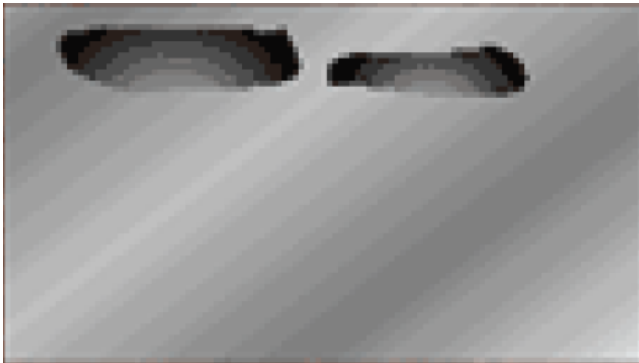
KUVA 9. Isoja imuonteloita ja pienempiä kaasuhuokosia kappaleen poikkileikkauksessa (Chien-Lung 1997, 184)

Myös imuhuokoisuutta ja mikroimua esiintyy kaikissa valumenetelmissä. Imuhuokokset ovat paljain silmin havaittavia pieniä imuonteloita. Näitä esiintyy vain rajoitetulla alueella kappaleessa. Koska imuhuokoisuutta syntyy tasapaksuihinkin kappaleisiin, niitä on vaikea välttää valutekniikan avulla. Niitä kuitenkin voidaan siirtää jäähtyksen avulla kohtiin, joissa niistä on vähiten haittaa. Valukappaleen keskilinjalle syntyy kuitenkin aina hieman keskilinjahuokoisuutta. Mikroimut ovat silmällä havaitsemattomia imuhuokosia. (Meskanen ym. 2010, 16.)

4.7 Kaasuhuokoisuus ja rakkulat

Painevalukappaleeseen voi syntyä pintahuokosia, jotka ovat jopa 100 mm suuria pyöreitä ja laakeita rakkuloita (kuva 10). Tämä rakkula voi olla metallin täyttämä, avoin tai ohuen metallikuoren peittämä. Nämä pintahuokokset syntyvät, kun jokin ulkopuolinen aine, kuten muotin jäähdyttämiseen käytetty aine, kasaantuu kappaleen sisään. Vesi on tyyppinen aine, joka aiheuttaa

kaasuhuokoisuutta. Lisäksi käytettävä valumateriaali voi olla liian kylmää tai kaasunpoisto voi olla suunniteltu puutteellisesti. (Meskanen ym. 2010, 16 - 18.)



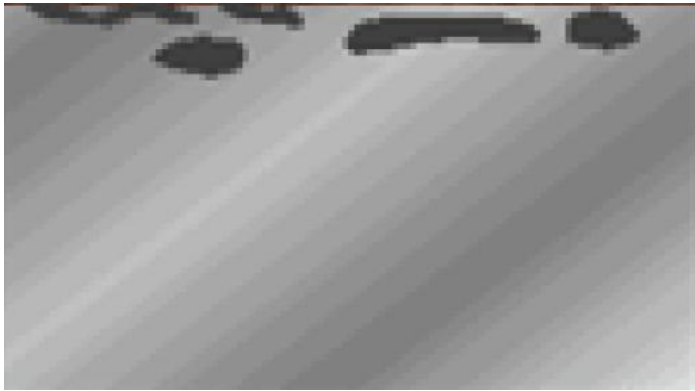
KUVA 10. Pintahuukonen kappaleen sisällä (Meskanen ym. 2010, 16)

Eri rakkulatyypeistä painevalussa voi esiintyä lähinnä pienoizrakkuloita ja pistorakkuloita. Pienoirakkulat ovat tasaisesti jakautuneet kappaleeseen tai ryhmittyneet tietyille alueille. Nämä johtuvat materiaalisulasta, johon voi olla liuenneena kaasuja. Kappaleeseen pitäisi suunnitella sopivat kohdat ilmanpoistolle. Lisäksi muotissa voi olla kosteutta ruiskutusaineesta tai peitosteesta. (Meskanen ym. 2010, 17 - 18.)

Pistorakkulat ovat välittömästi valupinnan alapuolella olevia pisaranmuotoisia rakkuloita. Ne johtuvat painevalussa materiaalisulan koostumuksesta. Sulassa oleva mahdollinen kaasu on jäänyt muottipinnan tasalle, kun valukappale on jähmettynyt. (Meskanen ym. 2010, 18.)

4.8 Sulkeumat

Painevaluissa esiintyy kuonasulkeumia, oksidisulkeumia ja kylmähauleja. Lisäksi erityisesti alumiiniseoksilla esiintyy oksidisulkeumien lisäksi suolasulkeumia. Kuonasulkeuma tarkoittaa kappaleen sisään jäänyttä kuonaa (kuva 11). Syynä voi olla sulan koostumus tai ongelmat valujärjestelmässä. Mikäli valumateriaali muodostaa kuonaa, pitäisi valusankoon tai muottiin asentaa suodatin. (Meskanen ym. 2010, 19 - 20.)



KUVA 11. Kuonasulkeuma voi johtua sulan koostumuksesta (Meskanen ym. 2010, 19)

Oksidisulkeuma on kappaleen sisään jääneestä oksidikalvosta tai -kertymästä johtuva valuvika. Syynä oksidisulkeumaan on sulamateriaalin riittämätön puhdistus, huono valujärjestelmä, väärin suoritettu kauhonta tai kostea valusanko. (Meskanen ym. 2010, 20.)

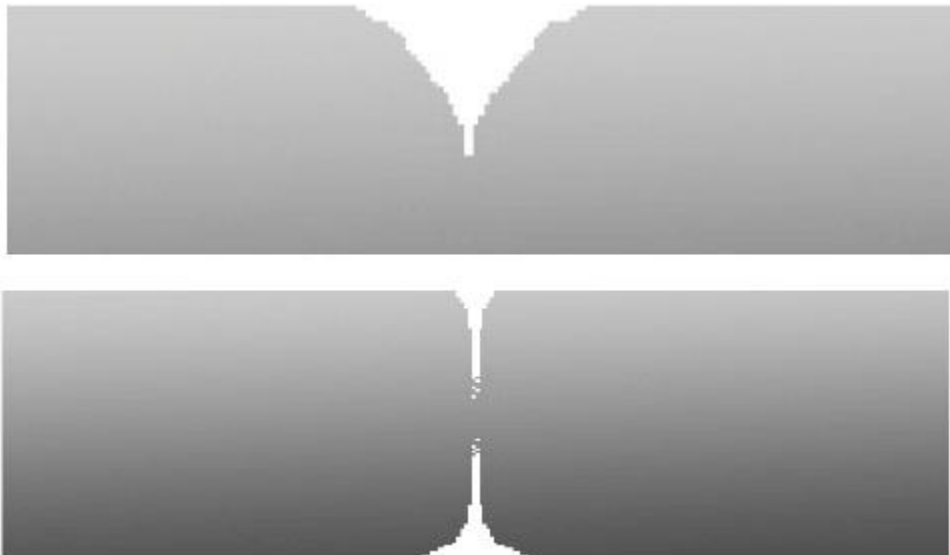
Kylmähauli on metallihauli, joka on jäänyt sulamatta ympäröivään metalliin. Metallihauli on voinut muodostua metalliseoksen matalammissa lämpötiloissa jähmettyvistä seosaineista. Syynä voi myös olla kuumana tai kylmänä kaadettu sula. Suolasulkeumat johtuvat puhdistus- tai suojasuolojen aiheuttaman kuonan jäämisestä valumateriaalin sisälle sulkeumaksi. Huono puhdistuskäsittely aiheuttaa suolasulkeumia. (Meskanen ym. 2010, 20.)

4.9 Sulautumisviat

Painevalussa esiintyy sulautumisvioista pääasiassa kylmäpoimuja ja -saumoja. Kylmäpoimu on kappaleen pinnassa sijaitseva poimu tai uurre, joka ei ulotu kokonaan seinämän läpi. Kylmäpoimu johtuu huonosti juoksevasta sulasta, jota edesauttaa kappaleen ongelmallinen konstruktio. Kappaleen suunnittelussa pitäisi välttää liian ohuita seinämiä ja ainevahvuuksia kohdissa, jonne sula virtaa viimeisenä. Myös keernojen taakse jääviä ohuita seinämiä tulee välttää. Kylmäpoimuja välttääkseen suunnittelijan on tiedettävä eri valumenetelmien

minimiseinänpaksuudet sekä virtausmatkan vaikutukset valun lopputulokseen. (Meskanen ym. 2010, 21 - 22.)

Kylmäsauma on kappaleessa oleva kappaleen seinämän läpi yltävä katkeama, jossa on pyöristyneet reunat (kuva 12). Kylmäsauma voi ilmetä seinämään nähden pystysuuntaisena tai seinämän suuntaisena halkeamana. Seinämään nähden pystysuuntainen kylmäsauma on edellä mainitun kylmäpoimun vakavampi muoto. Seinämän suuntainen kylmäsauma johtuu painevalussa valuiskun virheellisestä ajoituksesta. Syynä voi myös olla painevalumuotin raottuminen valuiskun aikana tai painevalukoneen riittämätön sulkuvoima. Ennen kappaleen suunnittelua on huomioitava, että valimolla on käytössään riittävän suuri painevalukone. (Meskanen ym. 2010, 21 - 22.)

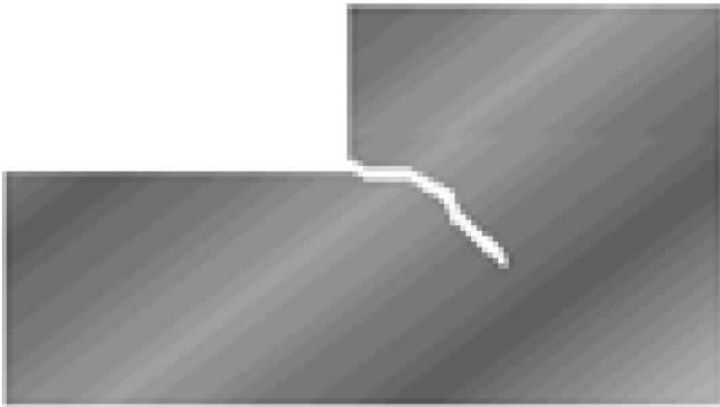


KUVA 12. Yläpuolella kylmäpoimu ja alapuolella kylmäsauma (Meskanen ym. 2010, 21)

4.10 Halkeamat

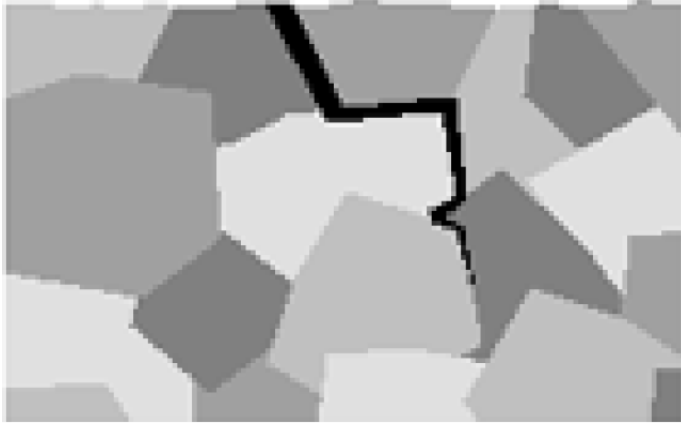
Eri halkeamatyyppejä ovat imuhalkeama, kuumahalkeama, kylmähalkeama ja lämpökäsittelyhalkeama. Näitä kaikkia ilmenee kaikissa valumenetelmissä. Imuhalkeama johtuu valussa tapahtuneista imuvirheistä (kuva 13). Valujärjestelmä voi olla huonosti suunniteltu, valulämpötila on liian korkea tai

valukappaleen konstruktio on ongelmallinen. Imuhalkeamia pystytään kontrolloimaan säätämällä jäähdytystä paikallisesti tehokkaammaksi tai heikommaksi. Imuhalkeamia voidaan myös välttää suunnittelemalla kappaleen seinämäpaksuudet mahdollisimman tasaisiksi. Mikäli seinämäpaksuuksien täytyy vaihdella, täytyy käyttää riittäviä pyörityksiä. Erityisesti terävät nurkat ja pienet pyörityssäteet keräävät itseensä lämpöä, joka aiheuttaa kappaleeseen sisäisiä jännityksiä. (Meskanen ym. 2010, 22 - 24.)



KUVA 13. Imuhalkeama syntyy helposti kappaleen terävään nurkkaan (Meskanen ym. 2010, 22)

Kuumahalkeama on kappaleen kiteiden välissä etenevä halkeama, jossa murtopinnat ovat hapettuneet (kuva 14). Syynä kuumahalkeamaan on sulan liian korkea lämpötila tai väärä koostumus. Kuumahalkeamia voidaan kontrolloida paikallisella jäähdytyksen säädöllä ja niiden riskiä voidaan pienentää välttämällä suurien ainekeskittymien suunnittelua kappaleeseen. Tarvittaessa on käytettävä suuria pyörityksiä tai vahvistusripoja ohuen ja paksun seinämän risteyksessä. Myös riittävät päästöt vähentävät painevalussa kappaleen kuumahalkeamataipumusta. Ulostyöntötapit voivat lisäksi vaurioittaa kappaletta, jossa on kuumahalkeamia. Myös tämän takia ulostyöntötappien paikat on suunniteltava huolella. (Meskanen ym. 2010, 23.)



KUVA 14. Kuumahalkeama materiaalin kiteiden välissä (Meskanen ym. 2010, 23)

Kylmähalkeamakin on kappaleen kiteiden välissä kulkeva halkeama, mutta sen reunat eivät ole hapettuneet. Kylmähalkeamataipumusta voidaan vähentää kappaleen konstruktio muutoksilla, koska kylmähalkeama johtuu jähmettymisen aikana kertyneiden sisäisten jännitysten laukeamisesta. Lisäksi painevalussa voidaan sulan jähmettymisaikaa muotissa vähentää. Tällöin jännitykset eivät kasva liian suuriksi. Kappaleen suunnittelussa tulisi välttää jännitysristikkoja ja tarvittaessa kappaleen jäykistämiseen tulisi käyttää vahvistusripoja. Myös keernojen riittävästä päästöistä pitää huolehtia. (Meskanen ym. 2010, 23.)

Lämpökäsittelyhalkeamat syntyvät kappaleen epäonnistuneen lämpökäsittelyn jälkeen. Tämän takia suunnittelijan tulisikin huomioida eri lämpökäsittelymenetelmien vaatimukset valukappaleelle. Esimerkiksi reikiä ei saisi sijoittaa liian lähelle lämpökäsiteltävän kappaleen reunaa. (Meskanen ym. 2010, 24.)

4.11 Valuosien tarkastus

Valuosien tarkastusmenetelmät voidaan luokitella silmämääräisiin tarkastuksiin, pintamenetelmiin, volumetrisiin menetelmiin sekä mittatarkastuksiin. Pintamenetelmiin luetaan pääasiassa tunkeumaneste- ja magneettijauhetarkastus. Muita pintamenetelmiä ovat pyörrevirta- ja jäljennetarkastus sekä lämpökuvauus. Volumetrisiin menetelmiin kuuluvat

radiografinen tarkastus ja ultraäänitarkastus. Mittatarkastusmenetelmät, kuten vetokokeet ja kovuusmittaukset, jätetään tässä osiossa huomioimatta. (Niemi 2010a, 1 - 2.)

4.11.1 Silmämääräinen tarkastus

Silmämääräinen eli visuaalinen tarkastus on kaikista tärkein tarkastusmenetelmä, ja se suoritetaan aina ensimmäisenä (Niemi 2010a, 2). Silmämääräisesti valukappaleista voidaan tarkastaa karkeat pinta- ja muotoviat sekä pinnankarheus. Sekä pinta- ja muotovikojen että pinnankarheudenkin tarkastus perustuu kappaleen sekä vertailupalojen tai vertailuvalokuvasarjojen vertailuun. (Meskanen – Höök 2009c, 1 - 2.)

4.11.2 Magneettijauhetarkastus

Magneettijauhetarkastuksessa kohteena oleva kappale täytyy ensin magnetoida. Tämän jälkeen kappaleen pinnalle levitetään kantajanesteessä olevaa rautajauhetta. Kun kappale altistetaan magneettikentälle, pyrkivät rautahiukkaset kerääntymään magneettikentän häiriökohtiin. Nämä kohdat voidaan havaita visuaalisesti. Menetelmällä pystytään tyypillisesti paljastamaan huokosia sekä säröjä kappaleen pinnalla tai heti sen alapuolella. Magneettijauhetarkastus on tarkka menetelmä, mutta vaatii tarkasteltavalta kohteelta sileän pinnan. (Meskanen ym. 2009c, 2 - 3.)

4.11.3 Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastuksessa tarkastettava valukappale joko kastetaan tunkeumanesteeseen tai maalataan sillä. Kun tunkeumaneste on vaikuttanut jonkin aikaa, se poistetaan kappaleesta ja pintaan levitetään kehitemaali. Kehitemaali värjäytyy pintavikojen, kuten huokosten, kohdalla tunkeumanestejäämien ansiosta. Tunkeumanestetarkastusta voidaan käyttää vain kappaleen pintaan asti ulottuvien vikojen etsimiseen, mutta se sopii myös ei-magneettisille kappaleille. Tunkeumanestetarkastus on halpa ja usein riittävän tarkka menetelmä, ja sitä käytetäänkin usein

magneettijauhetarkastuksen yhteydessä. Menetelmän tarkkuuteen vaikuttaa olennaisesti tutkittavan kappaleen pinnankarheus. (Meskanen ym. 2009c, 4 - 5.)

4.11.4 Radiografinen tarkastus

Radiografiset tarkastusmenetelmät soveltuvat kappaleiden sisällä olevien vikojen etsimiseen. Tarkistus suoritetaan siten, että tutkittavan kohdan läpi lähetetään ihmiselle vaarallista isotooppi- tai röntgensäteilyä. Kappaleen taakse sijoitettu filmi kerää säteilyn intensiteetin muutoksista johtuvat mahdolliset viat näkyviin. Menetelmä sisältää monia eri vaiheita, jotka lisäävät menetelmän epävarmuutta. Yhden työvaiheen epäonnistuminen voi siis aiheuttaa koko tarkastuksen epäonnistumisen. (Meskanen ym. 2009c, 7.)

Radiografisilla menetelmillä voidaan tarkastaa kaikkien erityyppisten valujen rakenne. Eri valumateriaaleilla ei ole vaikutusta vikojen havaittavuuteen. Menetelmällä löydetään erityisen hyvin pinta- ja tilavuusviat, mutta tasomaisia vikoja on hankala löytää. (Meskanen ym. 2009c, 7 - 8.)

4.11.5 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastuksella, kuten myös radiografialla, voidaan etsiä kappaleen pinnanalaisia vikoja. Ultraäänitarkastus on kuitenkin huomattavasti turvallisempi ja halvempi menetelmä kuin radiografia. Ultraäänitarkastuksessa tutkittavaan kappaleeseen lähetetään ultraääntä, joka heijastuu takaisin luotaimen kappaleen sisällä olevien vikojen rajapinnoista. Vastaanotetut impulssit voidaan vahvistaa ja johtaa oskilloskoopin kuvaruudulle, josta voidaan analysoida havaittujen vikojen paikkaa ja kokoa. (Meskanen ym. 2009c, 6.)

Vikojen pinnanlaadulla on merkitystä niiden havaittavuuden kannalta. Heikko pinnanlaatu vaikeuttaa pienien vikojen havaitsemista, koska osa ultraääniaallosta heijastuu muualle kuin tulosuuntaansa. Toisaalta suuremmat viat voi olla helpompi havaita, mikäli niiden pinnanlaatu on huono. Pieniä ja pyöreitä vikoja, kuten huokosia, on melko vaikea havaita ultraäänellä niiden ääntä heijastavan pinnan pienuuden takia. Toisaalta tasomaiset viat, kuten

halkeamat, löydetään helposti, mikäli ultraääniäalto on laitettu etenemään mahdollisimman kohtisuorassa etsittävään vikaan nähden. (Meskanen ym. 2009c, 6 - 7.)

4.11.6 Painetiiveyden tarkastus

Painetiiveys voidaan tarkastaa valukappaleista, joiden täytyy käytössä kestää nesteen tai kaasun painetta. Painetiiveyden tarkastuksessa löydetään kappaleen seinämien läpi ulottuvia vikoja eli vuotokohtia. Valukappaleen huokoiset kohdat tai halkeamat ovat yleensä vuotokohtia, vaikka sitä ei paljain silmin tavallisesti huomaakaan. Erityisesti kaasut pystyvät läpäisemään valukappaleen seinämän jo pienestäkin epäjatkuvuuskohdasta. (Meskanen ym. 2009c, 8.)

Pienten kappaleiden painetiiveys tarkastetaan täyttämällä ne paineilmalla, minkä jälkeen ne upotetaan veteen. Suuret kappaleet täytetään paineilmalla ja pintaan levitetään saippualliuosta. Molemmissa menetelmissä vuotokohta ilmenee pinnan läpi tihkuvan paineilman aiheuttamana kuplimisena. Tarkastuksessa käytettävän paineilman paineen pitää olla 1,5-kertainen kappaleelle määritellyyn paineenkestoon verrattuna. Paineilman lisäksi vuotokohtia pystytään etsimään myös tunkeumanesteen avulla, mutta tämä menetelmä on varsin hidas. Painetiiveys voidaan tarkastaa myös ultraäänellä, jolloin menetelmä on automatisoitavissa. (Meskanen ym. 2009c, 9.)

5 VALETTAVAT ALUMIINISEOKSET

Tässä luvussa on esitelty yleisten alumiiniseosluokkien ominaisuuksia sekä Eurooppalaisen EN-standardien mukaiset alumiiniseosten merkintäohjeet. Tarkat alumiiniseostyyppien seostukset, ominaisuudet sekä merkintäohjeet löytyvät seuraavista standardeista:

- SFS-EN 1706. 2010. Alumiini ja alumiiniseokset. Valut. Kemiallinen koostumus ja mekaaniset ominaisuudet.
- SFS-EN 1780-1. 2003. Alumiini ja alumiiniseokset. Uudelleen sulatettavien harkkojen, esiseosten ja valujen nimikkeet. Osa 1: Numeerinen nimikejärjestelmä.
- SFS-EN 1780-2. 2003. Alumiini ja alumiiniseokset. Uudelleen sulatettavien harkkojen, esiseosten ja valujen nimikkeet. Osa 2: Kemialliseen koostumukseen perustuva nimikejärjestelmä.
- ja SFS-EN 1780-3. 2003. Alumiini ja alumiiniseokset. Uudelleen sulatettavien harkkojen, esiseosten ja valujen nimikkeet. Osa 3: Kemiallisen koostumuksen esittämissäännöt.

Puhdas alumiini (Al) on valumateriaalina vaikea valaa, sen on pehmeää ja lujuudeltaan suhteellisen heikkoa (Carlholt 2009, 1). Tämän takia alumiinia seostetaan pääasiassa piillä (Si), raudalla (Fe), magnesiumilla (Mg), kuparilla (Cu), sinkillä (Zn), nikkelillä (Ni), titaanilla (Ti), kromilla (Cr), lyijyllä (Pb), tinalla (Sn) ja mangaanilla (Mn) (SFS-EN 1706 2010, 16). Seostuksella alumiinista saadaan lujempaa, valettavampaa ja paremmin korroosiota kestäväää (Lukkari 2001, 10).

Alumiiniseokset ovat sitkeitä, kevyitä, tiiviitä ja suhteellisen lujia, ne johtavat kiitettävästi lämpöä ja sähköä sekä kestävät korroosiota hyvin (taulukko 1). Näiden ominaisuuksien ja kierrätettävyyden ansiosta alumiiniseoksia käytetään paljon auto- ja elektroniikkateollisuudessa. (Meskanen – Höök 2009d, 3.) Taulukossa 2 on esitelty eri seosaineiden vaikutuksia valuseoksiin ja liitteessä 4 on lueteltu eri painevaluseosten ominaisuuksia.

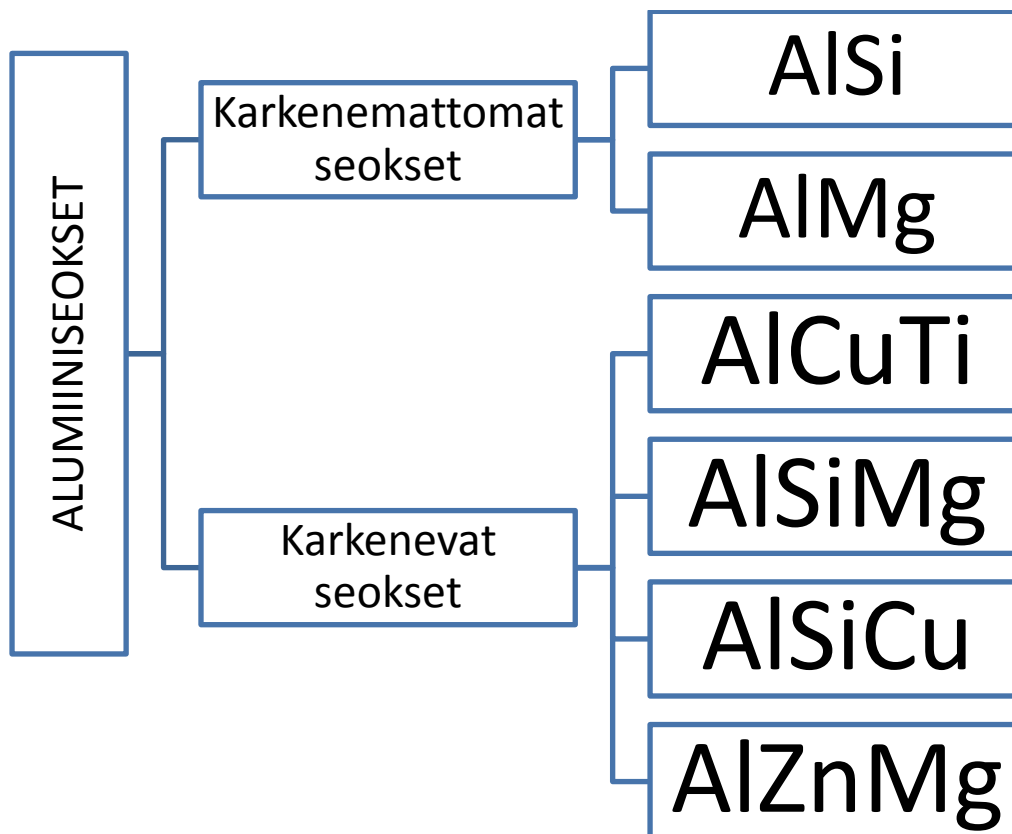
TAULUKKO 1. Alumiiniseosten edut ja haitat (Carlholt 2009, 2)

Edut	Haitat
<ul style="list-style-type: none"> • luja, valuseoksilla noin 200 – 450 MPa murtolujuus 	<ul style="list-style-type: none"> • matala sulamispiste ja pieni lujuus korkeammissa lämpötiloissa
<ul style="list-style-type: none"> • keveys, tiheys noin 2,7 g/cm³ 	<ul style="list-style-type: none"> • suuri lämpölaajenemiskerroin
<ul style="list-style-type: none"> • hyvä korroosionkesto, hitsattavuus, muokattavuus 	<ul style="list-style-type: none"> • huono väsymisenkesto
<ul style="list-style-type: none"> • hyvä sähkön- ja lämmönjohde, sekä heijastavuus, eivät ole magneettisia 	<ul style="list-style-type: none"> • pieni kimmokerroin, kovuus, virumislujuus ja kulumiskestävyys
<ul style="list-style-type: none"> • kierrätettävä 	

TAULUKKO 2. Seosaineiden vaikutukset alumiiniseoksiin (Carlholt 2009, 8)

Seosaine	Vaikutus
Pii	Parantaa valettavuutta, kovuutta ja lujuutta.
Magnesium	Lisää korroosionkestoa, lujuutta ja kovuutta.
Kupari	Saa seoksen karkenemaan. Parantaa seoksen kovuutta, lujuutta ja lastuttavuutta. Heikentää korroosionkestoa.
Sinkki	Lujuus ja kovuus kasvavat, mutta voi heikentää korroosionkestoa. Seos vanhenee itsestään jos pitoisuus alle 4 %.
Rauta	Tavallisesti epäpuhtausaine. Pienentää korroosionkestoa suurissa pitoisuuksissa. Estää sulan tarttumisen muottiin, vähentää lämpöväsymissäröilyä. Voi aiheuttaa huokosia.
Mangaani	Tavallisesti epäpuhtausaine. Voi muodostaa raudan ja kromin kanssa kovia pisteitä. Vähentää raudan haitallisia vaikutuksia.
Nikkeli	Tavallisesti epäpuhtausaine. Parantaa kromin kanssa lujuutta korkeissa lämpötiloissa.

Valettavat alumiiniseokset voidaan jakaa karkeneviin ja karkenemattomiin seoksiin ja edelleen pienempiin eri ryhmiin pääseosaineiden perusteella (kuva 15). Tavallisten seosaineiden lisäksi painevalettavat seokset sisältävät lisäksi rautaa noin 1,2 %. Raudan tarkoituksena on ehkäistä alumiinin tarttumista muottipesään sekä muottipesän syöpymistä. (Carlholt 2009, 6.)



KUVA 15. Alumiiniseosten jaottelu (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 60)

Alumiinin ja alumiiniseosten valamisesta tekee vaikeaa niiden taipumus liuottaa kaasuja sekä niiden suuri kiteytymiskutistuma. Kaasujen liuotustaipumuksen takia sula alumiiniseos on puhdistettava kaasuista tarkasti, ennen kuin valu voidaan suorittaa. Lisäksi käytettävät muotit on kuivattava. (Koivisto – Laitinen – Niinimäki – Tiainen – Tiilikka – Tuomikoski 2001, 175.)

Vaikka alumiiniseoksen syöpyminen onkin epätodennäköistä, kannattaa välttää alumiinin liittämistä tavalliseen teräkseen tai kupariseoksiin. On suositeltavaa käyttää pintakäsiteltyä alumiinia ja ruostumatonta terästä, mikäli tällainen suora liitos on pakollinen. Lisäksi monet rakennusmateriaalit kuten tuore betoni ja laasti syövyttävät alumiinia voimakkaasti. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 112 - 113.)

5.1 Alumiini-piiseokset

Alumiini-piiseos eli silumiini on karkenematon valuseos, joka on kohtalaisen luja, korroosion kestävä, hitsattava ja on hyvin valettava. Se sopii hyvin painetiiviisiin osiin, jotka ovat monimutkaisia. Lisäksi kuparia voidaan lisätä parantamaan AlSi-seoksen työstettävyyttä ja lujuutta. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 60.) AlSi-seokset ovat parhaiten valettavissa olevia alumiiniseoksia. Niissä on yleensä 11 - 13 % piitä. Lämpökäsiteltävissä seoksissa on lisäksi vähäisiä määriä magnesiumia, kuparia, mangaania, nikkeliä tai rautaa. Silumiinin sitkeyttä voidaan parantaa alentamalla piipitoisuutta jopa 5 %:iin asti. Lisäksi magnesiumin lisääminen parantaa seoksen mekaanisia ominaisuuksia. Silumiinit kestävät muun muassa rikkiä, ammoniakkia, hiilidioksidia, rikkivetyä, sekä typpihappoa ja erinäisiä orgaanisia aineita. (Meskanen ym. 2009d, 4.)

5.2 Alumiini-magnesiumseokset

AlMg-seokset ovat myös karkenemattomia seoksia. Niillä on erityisen hyvä korroosionkestävyys erityisesti merivedessä ja niitä pystyy myös hyvin anodisoimaan ja kiillottamaan. Seoksen lujuus kasvaa magnesiumpitoisuuden kasvaessa, mutta pitoisuuden ollessa yli 7 % seos vaatii erillisen lämpökäsittelyn valamisen jälkeen. Tällä saavutetaan hyvä korroosionkesto ja murtovenymä. AlMg-seosten valaminen on haastavaa, mutta sitä voidaan helpottaa piilisäyksellä. Lisäksi kuparia lisäämällä voidaan parantaa seoksen lämmönkestävyyttä, mutta kupari heikentää korroosionkestävyyttä. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 60.)

Valuominaisuuksien heikkoudesta huolimatta AlMg-seoksilla on kaikista valettavista alumiiniseoksista parhaat kiillotettavuus- ja syöpymiskestävyysominaisuudet. Seoksen lujuus perustuu siihen, että seoksessa oleva magnesium lujittaa kiinteää alumiiniliuosta. Lisäksi AlMg-seoksissa on yleensä hiukan mangaania, piitä, berylliumia tai titaania. Näitä seoksia käytetään yleisesti meri- ja ilmailu- ja autoteollisuudessa. (Meskanen

ym. 2009d, 4.) Tunnettuja kauppallisia AlMg-seoksia ovat duranalium, perluman ja hydranalium (Valujen taloudellinen käyttö. Osa 2 valumetallit. 1998, 41).

5.3 Alumiini-kupari-titaaniseokset

AlCuTi-seokset ovat kaikista lujimpia valettavia alumiiniseoksia ja niillä on erityisen hyvä murtovenymä. Tämä johtuu titaanilisäyksen aiheuttamasta reagoon pienentymisestä. AlCuTi-seokset voidaan keinovanhentaa ja mikäli seokseen lisätään myös magnesiumia, vanhennus voidaan suorittaa luonnollisesti. AlCuTi-seosten valettavuus on huonompi kuin AlSiMg-seosten, johtuen niiden taipumuksesta kuumahalkeiluun. Lisäksi seos ei siedä varsinkaan piitä epäpuhtautena. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 60 - 61.) AlCuTi-seoksia käytetään varsinkin pyöriville kappaleille, jotka joutuvat ottamaan vastaan iskumaisia kuormituksia. (Alumiini. Valaminen ja työstäminen. 1975, 14).

5.4 Alumiini-pii-magnesiumseokset

Jo muutaman kymmenysprosentin magnesium lisäys tekee AlSiMg-seoksen karkenevaksi, jolloin seoksen lujuus kasvaa huomattavasti muiden ominaisuuksien muuttumatta. Yli 5 % piipitoisuus heikentää valettavuutta, mutta pinnanlaatu, työstettävyys ja kiillotettavuus paranevat. Lisäksi kuparin lisäys parantaa vieläkin seoksen karkenevuutta, lujuutta ja työstettävyyttä. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 61.) Näillä seoksilla on hyvät korroosionkesto-ominaisuudet varsinkin suolavesiolosuhteissa, joten niitä käytetään laajasti laivateollisuudessa, kemian teollisuudessa ja rakennusteollisuudessa. AlSiMg-seoksia voidaan anodisoida ja kiillottaa helposti. Näiden seosten lujuutta voidaan kasvattaa magnesiumpitoisuutta kasvattamalla. (Carlholt 2009, 6.)

5.5 Alumiini-pii-kupariseokset

AlSiCu-seokset ovat karkenevia valuseoksia, ne ovat monikäyttöisiä sekä helppoja valaa ja jatkotyöstää. Niitä käytetään erityisesti silloin, kun korkeille lujuus-, korroosionkesto- ja murtovenymävaatimuksille ei ole tarvetta. Kuparia ja

piitä seoksessa on yleensä yhteensä noin 10 %. Suurempi kuparipitoisuus parantaa seoksen kiillotettavuutta ja lastuttavuutta, kun taas suurempi piipitoisuus parantaa seoksen valettavuutta. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 61.) AlSiCu-seokset ovat edullisimpia alumiiniseoksia (Carlholt 2009, 6). AlSiCu-seokset vaativat pintakäsittelyn suojaamaan, mikäli kappaletta käytetään syövyttävissä olosuhteissa (Alumiini. Valaminen ja työstäminen. 1975, 14).

5.6 Alumiini-sinkki-magnesiumseokset

AlZnMg-seokset ovat korroosionkestäviä ja niillä on hyvä murtovenymä sekä lujuus. Karkeneminen ei välttämättä vaadi erityistä erkautusta, vaan voidaan lopettaa keinovanhentamalla tai luonnollisesti vanhentamalla. Anodisoimalla AlZnMg-seoksen pinta saadaan kirkkaammaksi kuin AlMg-seoksilla, mutta korroosionkesto jää sitä huonommaksi. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 61.) AlZnMg-seokset ovat kuitenkin vaikeita valaa. (Meskanen ym. 2009d, 5).

5.7 Valettavien alumiiniseosten merkintä

Alumiiniseokset voidaan merkitä numeerisella tai kemialliseen koostumukseen perustuvalla nimikejärjestelmällä. Molempien merkintätapojen loppuun voidaan tarvittaessa lisätä tilatunnus, joka ilmoittaa materiaalin valumenetelmän ja lämpökäsittelyn. (SFS-EN 1706. 2010, 12.)

5.7.1 Numeerinen nimikejärjestelmä

Numeerisessa nimikejärjestelmässä valettavan alumiiniseoksen, esimerkiksi EN AC-44000 -seoksen nimike muodostuu seuraavasti (SFS-EN 1780-1. 2003, 4):

1. etuliite EN, jonka jälkeen tyhjä väli
2. kirjain A, joka tarkoittaa alumiinia
3. kirjain C, joka tarkoittaa valuja (B tarkoittaa uudelleen sulatettavia harkkoja ja M tarkoittaa esiseoksia)
4. väliviiva
5. viisi numeroa, jotka ilmaisevat seoksen koostumuksen.

Viisinumeroisen tunnuksen ensimmäinen numero ilmaisee alumiiniseoksen pääseosaineen seuraavasti (SFS-EN 1780-1. 2003, 4 - 6):

- kupari: 2XXXX
- pii: 4XXXX
- magnesium: 5XXXX
- sinkki: 7XXXX
- esiseokset: 9XXXX.

Viisinumeroisen tunnuksen toinen numero ilmaisee alumiiniseoksen seosryhmän seuraavasti (SFS-EN 1780-1. 2003, 6):

- 21XXX: AlCu
- 41XXX: AlSiMgTi
- 42XXX: AlSi7Mg
- 43XXX: AlSi10Mg
- 44XXX: AlSi
- 45XXX: AlSi5Cu
- 46XXX: AlSi9Cu
- 47XXX: AlSi(Cu)
- 48XXX: AlSiCuNiMg
- 51XXX: AlMg
- 71XXX: AlZnMg.

Viisinumeroisen tunnuksen kolmas numero määrittelee tarkan alumiiniseoksen seosryhmän sisällä. Neljäs ja viides numero ovat yleensä 0. (SFS-EN 1780-1. 2003, 6.) Valettava AlSi11-seos on aiemmin esimerkkinä mainittu EN AC-44000 -seos (SFS-EN 1706. 2010, 16).

5.7.2 Kemialliseen koostumukseen perustuva nimikejärjestelmä

Kemialliseen koostumukseen perustuvaa nimikettä tulee käyttää joko hakasuluissa viisinumeroisen nimikkeen perässä tai ilman hakasulkuja viisinumeroisen nimikkeen tilalla. Jälkimmäisessä tapauksessa nimikkeessä tulee olla samat neljä ensimmäistä vaihetta, kuten numeerisessa

nimikejärjestelmässä. (SFS-EN 1780-2. 2003, 6.) Esimerkiksi EN AC-45400 [AlSi5Cu3] ja EN AC-AlSi5Cu3 molemmat tarkoittavat siis samaa seosta (SFS-EN 1706. 2010, 26).

Seosaineille käytettävien kemiallisten merkkien pitää olla kansainvälisen merkistön mukaisia (SFS-EN 1780-2. 2003, 6). Näiden seosaineiden pitoisuus merkitään painoprosenttia vastaavana numerona kemiallisen merkin perään standardin SFS-EN 1780-3 mukaisesti (SFS-EN 1780-3. 2003, 6).

5.7.3 Tilatunnukset

Seosmerkinnöistä voidaan vielä tehdä täydellisiä lisäämällä loppuun valumenetelmän ja toimitustilan tunnukset seuraavasti (SFS-EN 1706. 2010, 12):

- valumenetelmä
 - S: hiekkavalu
 - K: kokillivalu
 - D: painevalu
 - L: tarkkuusvalu
- toimitustila
 - F: valutila
 - O: hehkutettu
 - TX: lämpökäsitelty, jossa X-kirjaimen tilalla oleva numero ilmaisee, kuinka lämpökäsittely suoritetaan.

Täten kokillivaletun, liotushehkutetun sekä täysin keinovanhennetun EN AC-42000 -seoksen täydellinen nimike on EN AC-42000-K-T6 (SFS-EN 1706. 2010, 12).

6 LÄMPÖ- JA PINTAKÄSITTELYMENETELMÄT

6.1 Lämpökäsittelymenetelmät

Lämpökäsittelyt ovat jälkikäsitteilyjä, joilla kappaleen mekaanisia ominaisuuksia saadaan muutettua käyttötarkoituksen kannalta paremmiksi. Lämpökäsittelyillä voidaan esimerkiksi muuttaa kappaleen sitkeyttä, myötö- tai murtolujuutta. Painevalukappaleita ei yleensä lämpökäsitellä, koska kappaleen sulkeumat ja huokokset saattavat laajetessaan aiheuttaa ongelmia kappaleisiin. Mikäli huokoisuus on pientä, voidaan kappaletta kuitenkin tarvittaessa lämpökäsitellä. (Carlholt 2009, 14.) Yleisimpiä alumiinin lämpökäsittelyjä ovat erkautuskarkaisu, jännityksenpoistohehkutus, pehmeäsihehkutus ja homogenisointi (Lukkari 2001, 16).

6.1.1 Erkautuskarkaisu

Erkautuskarkaisu voidaan suorittaa karkeneville alumiiniseoksille. Erkautuskarkaisun ensimmäisessä vaiheessa kappale liotushehkutetaan, minkä jälkeen kappale sammutetaan jäädyttämällä se nopeasti. Sammutuksen jälkeen kappaleen annetaan vanheta luonnollisesti tai kappaleelle suoritetaan keinovanhennus. Vanhennus aiheuttaa kappaleeseen erkautuneita partikkeleita, jotka kohottavat materiaalin lujuutta. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 221 - 222.) Painevaluille tehtävä erkautuskarkaisu kannattaa suorittaa ilman liotushehkutusta. Tällöin kappaleen myötö- ja murtolujuutta voidaan kasvattaa ilman suurta riskiä, että kappaleen pintaan nousee kuplia. (Carlholt 2009, 14.)

6.1.2 Jännityksenpoistohehkutus

Jännityksenpoistohehkutuksella kappaleen sisäisiä jännityksiä voidaan lieventää. Jännityksenpoistohehkutus suoritetaan valukappaleelle yleensä vasta koneistuksen yhteydessä, koska koneistus voi vapauttaa kappaleen sisäisiä jännityksiä. Näiden jännitysten vapautuminen voi aiheuttaa kappaleen

vääntyilemistä. (Carlholt 2009, 15.) Jännityksenpoistohehkutus suoritetaan alumiiniseoksille pitämällä kappaletta 200 - 300 °C lämpötilassa, jolloin vältetään lujuuden liiallinen laskeminen (Lukkari 2001, 18).

6.1.3 Pehmeäksihehkutus

Pehmeäksihehkutuksella saadaan kappale sitkeäksi ja pehmeäksi. (Lukkari 2001, 18). Pehmeäksihehkutus suoritetaan karkeneville alumiiniseoksille pitämällä kappaletta 380 - 450 °C lämpötilassa noin 30 minuuttia riippuen alumiiniseoksesta. Kuumentamisen tulisi tapahtua nopeasti, koska liian hidas kuumennus ja pitoaika voivat johtaa kappaleen raerakenteen kasvamiseen. Kappale jäähdytetään ensin noin 250 °C lämpötilaan uunissa, minkä jälkeen kappaleiden vapaa jäähdytys käyttölämpötilaan voidaan suorittaa ilmassa tai vedessä. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 93 - 94.)

6.1.4 Homogenisointi

Homogenisointi voidaan suorittaa ennen kuumamuokkausta, jolloin se parantaa kappaleen kuumamuokattavuutta sekä tasaa valussa syntyneitä suotautumia. Valukappaleet homogenisoidaan, jotta niiden sitkeyttä voitaisiin kasvattaa. Lisäksi anodisoitavuus paranee ja jännityskorroosion riski pienenee. Homogenisointi suoritetaan pitämällä valukappaletta noin 430 °C lämpötilassa 8 - 10 tuntia. (Koivisto ym. 2001, 172.)

6.2 Pintakäsittelymenetelmät

Alumiinia pintakäsitellään, jotta kappaleelle saadaan haluttu ulkonäkö ja että kappale saadaan kestäväseen määritetyssä käyttöympäristössä. Jo puhdas alumiini on korroosionkestävä, sillä alumiinin pinnalle muodostuu ilmassa suojaava oksidikerros. Tämä oksidikerros on tiivis, kiinnipysyvä ja kova. Mikäli se vaurioituu, se korjautuu itsestään heti. Ainoastaan vahvat hapot, emäkset ja suolat voivat äärimmäisen kovien olosuhteiden ohella vaurioittaa oksidikerrosta. Alumiinin pintakäsittelytavat jaetaan mekaanisiin, kemiallisiin ja

sähkökemiallisiin menetelmiin sekä pinnoittamiseen (taulukko 3). (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 5.)

TAULUKKO 3. Alumiinin pintakäsittelymenetelmiä (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 6; Raaka-aine käsikirja 5, Alumiinit. 2006, 125)

Menetelmä	Käsittely	Tulos
Mekaaniset	Hionta	Yhdensuuntaisia hiontajälkiä hiontasuunnassa
	Kiillotus	Tasainen, kiiltävä pinta
	Harjaus	Silkinhohtoinen, himmeän kiiltävä pinta
	Kuvionti	Erlaisia optisia erikoisefektejä
	Kuulapuhallus	Himmeä, rakeinen pinta
	Rummutus	Pienosille, pinta vaihtelee himmeästä kiiltävään
Kemialliset	Peittäus	Himmeä valkoinen pinta
	Kiiltopeittäus	Tasainen ja heijastavan kiiltävä pinta
	Reaktiopinnoitus	Suojaava oksidi-, kromaatti- tai fosfaattikerros. Keltainen, vihreä tai harmaa pinta
	Ei-galvaaninen pinnoitus	Pinnalle saostetaan esim. sinkkiä, tinaa, kuparia, nikkeliä kromia tai hopeaa
Sähkökemialliset	Anodisointi (eloksointi)	Väritön tai värillinen toiminnallinen, suojaava ja koristeellinen kerros. Käytetään myös eristämiseen.
	Elektrolyyttinen kiillotus	Kiiltävä ja tasainen pinta
	Galvaaninen pinnoitus	Pinnoitus esim. sinkillä, tinalla, kuparilla, nikkelillä, kromilla tai hopealla
Pinnoittaminen	Maalaaminen	Taloudellinen, suojaava ja koristeellinen pinta
	Muovipinnoitus	Toiminnallinen, suojaava ja koristeellinen päällystys
	Emalointi	Lasimainen, kova, suojaava ja koristeellinen pinta
	Metalleilla ja keraameilla päällystäminen	Metalli- tai keraamipinnoite ruiskuttamalla tai upottamalla. Tavallisesti teknisiin käyttötarkoituksiin

6.2.1 Mekaaniset menetelmät

Mekaaniset pintakäsittelymenetelmät poistavat tai siirtävät materiaalia tasoittaen kappaleen pinnan. Materiaalia poistavia menetelmiä ovat hionta, kuulapuhallus ja kiillotus (taulukko 4). Siirtäviä menetelmiä ovat harjaus ja loistokiillotus. Mekaaniset menetelmät ovat joko kappaleen loppukäsittelyjä tai

sähkökemiallisten ja kemiallisten menetelmien esikäsitteilyjä. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 5.)

TAULUKKO 4. Mekaanisten pintakäsittelyjen ominaisuuksia (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 8)

Ulkonäkö	Menetelmä	Edut	Haitat
Kirkas, kiiltävä	Loistokiillotus	Paras mekaanisesti saavutettava kiilto	Kallis monivaiheprosessi, varsinkin pienosille
	Rummutus	Taloudellinen, varsinkin pienosien massatuotannossa	Ei yhtä kiiltävä kuin loistokiillotus. Ei sovellu isoille osille
Silkinhohto, puolikiiltävä	Harjaus ja kiillotus	Taloudellinen menetelmä, mutta ei yhtä heijastava pinta kuin loistokiillotuksella	Menetelmät antavat lähes samanlaisen tuloksen
	Puhdistus teräsvillalla	Sopii monimutkaisille osille	Vaatii huolellista työtä
Kuvioitu, himmeä	Hiekka- ja kuulapuhallus	Suuret vaihtelumahdollisuudet	Pintaan jäänyt hionta-aines voi olla vahingollista myöhemmässä prosessissa. Tuote voi deformoitua.

6.2.2 Kemialliset menetelmät

Kemialliset pintakäsittelymenetelmät tarkoittavat menetelmiä, joissa pintaa käsitellään kemiallisesti ilman sähköä (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 11). Tämä voidaan suorittaa, joko upottamalla kappale käsittelykylpyyn tai suihkuttamalla pintakäsittelyaine kappaleen pintaan (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 130). Tällaiset menetelmät ovat lähinnä maalaamisen, pinnoituksen ja anodisoinnin esikäsitteilyjä, mutta joskus ne ovat myös loppukäsittelyjä. Kemialliset menetelmät soveltuvat kappaleen puhdistukseen, rasvanpoistoon, kiillotukseen ja pinnoitukseen. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 11.)

Peittäus ja kiiltopeittäus

Alumiinin pinnalle kertynyt lika, rasva sekä oksidikerros voidaan poistaa peittaamalla kappale emäksisessä tai happamassa liuoksessa halutun pinnan mukaan. Peittäus poistaa vain pienet likakertymät, joten suuremmat kertymät

on puhdistettava liuottimella. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 11.) Tavallisesti peittäusliuoksena käytetään 50 °C lämpötilassa olevaa laimeaa emäksistä NaOH-liuosta. Tällöin kappaleelle saadaan vaalea ja tasainen mattapinta. Kiiltopeittäus suoritetaan happamalla liuoksella ja sillä saadaan aikaiseksi peilikiiltävä pinta. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 130.)

Reaktiopinnoitus

Alumiinin luonnollista oksidikerrosta voidaan paksuntaa alumiinin ja oksidoivan liuoksen reagoidessa keskenään. Tämä muodostuva kemiallinen reaktiopinta on vahvuudeltaan noin 1 µm. Vaikka reaktiopinnoitus parantaa myös korroosionkestävyyttä, sitä käytetään yleensä liimauksen ja maalauksen esikäsitteilynä. Erilaisia reaktiopinnoitusmenetelmiä ovat kromatointi, fosfatointi ja böhmitointi. Kromatointi voidaan vielä jakaa keltakromatointiin, viherkromatointiin ja värittömään kromatointiin. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 130 - 131.)

Kemiallinen pinnoitus

Alumiinin kemiallinen pinnoitus voidaan käytännössä suorittaa upottamalla tai katalyyttisin menetelmin. Koska alumiini on kemiallisesti aktiivinen metalli, upotettaessa metallipinnoitteeseen sen pinnalle saostuu ohut metallikalvo. Alumiinikappaleita voidaan pinnoittaa upottamalla lyijyllä, tinalla, hopealla, kuparilla, messingillä, sinkillä ja raudalla. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 13 - 14.)

Alumiinin katalyyttinen kemiallinen pinnoitus tapahtuu kylvyssä, joka sisältää metallin suolaa, stabilisaattoreita ja pelkistysainetta. Kylvyssä katalyytti hajoaa ja alumiinin pinnalle saostuu haluttu metallikerros. Alumiini voidaan katalyyttisesti pinnoittaa kuparilla, koboltilla, kullalla, palladiumilla ja nikkellillä. Tämä menetelmä sopii erityisen hyvin monimutkaisille kappaleille. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 15.)

Syövytys ja kemiallinen kiillotus

Mikäli alumiinin pinta halutaan erikoisemman näköiseksi, voidaan kappaleelle suorittaa kemiallinen syövytys. Syövytyksellä voidaan tuottaa himmeitä, silkinhohtoisia tai kiiltäviä pintoja. Syövytys suoritetaan emäksien tai happojen avulla. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 12.)

Kemiallinen kiillotus on edullisempi vaihtoehto sähkökiillotukselle. Se myös sopii useimmille alumiiniseoksille. Kemiallinen kiillotus syövyttää pinnan kohoumat parantaen pinnan ulkonäköä ja heijastusominaisuuksia. Kiillotus suoritetaan upottamalla kappale kuumaan happoseokseen. Kemiallinen kiillotus sopii monimutkaisille muodoille ja sitä käytetään esimerkiksi autojen koristelistoihin. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 12.)

6.2.3 Sähkökemialliset menetelmät

Sähkökemiallisiin pintakäsittelymenetelmiin luetaan prosessit, jotka tapahtuvat elektrolyytissä. Elektrolyytti johtaa sähköä vastaelektrodin ja käsiteltävän kappaleen pinnan välillä samalla osallistuen kappaleen pinnanmuutokseen. Alumiinin tunnetuin pintakäsittelymenetelmä on anodisointi eli eloksointi. Sähkökemiallisia menetelmiä ovat myös sähkökiillotus ja -pinnoitus. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 15.)

Anodisointi

Anodisoinnilla voidaan alumiinin luonnollista noin 0,01 µm paksusta oksidikerrosta kasvattaa jopa 50 µm asti (Koivisto ym. 2001, 175). Tällä kerroksella on erittäin hyvät korroosion- ja kulumisenkestävyysominaisuudet. Lisäksi kerros voidaan värjätä ja se toimii hyvänä tartuntapohjana maalille. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 15.) Anodisointi kuitenkin heikentää kappaleen väsymislujuutta (Valujen taloudellinen käyttö. Osa 2 valumetallit. 1998, 40). Koska alumiinin oksidikerros on läpinäkyvä, täytyy anodisoitavan pinnan olla puhdistettu ja viimeistelty ennen itse anodisointia. Anodisointi voidaan suorittaa kaikille alumiinin valuseoksille. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 132).

Alumiinin anodisointiprosessi suoritetaan mekaanisen tai kemiallisen esikäsitteilyn jälkeen elektrolyysikennossa, jossa pinnoitettava kappale toimii tasavirralla positiivisena napana eli anodina. Elektrolyytissä, joka on laimeaa happoa, alumiinin pinnalle muodostuu kova oksidikerros. Taulukossa 5 on lueteltu anodisoinnin pääasiallisia käyttötarkoituksia. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 15 - 18.)

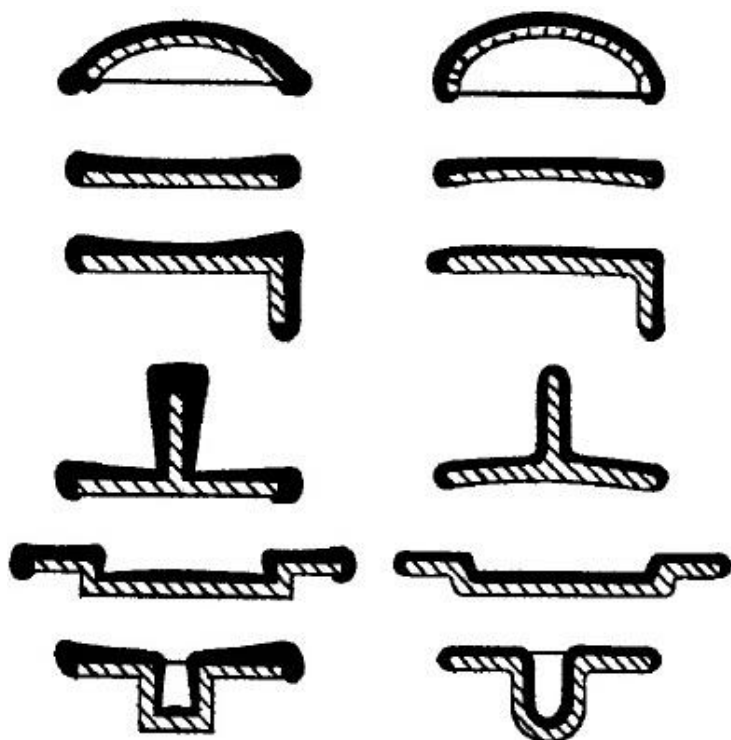
TAULUKKO 5. Anodisoinnin käyttötarkoituksia (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 16)

Ulkonäkö	Määrätty pintarakenne tai väri korostuu
Suojavaikutus	Suojaa syöpmiseltä ja kulumiselta. Säilyttää ulkonäön ja heijastuskyvyn.
Tartuntapohja muille pinnoille	Tartuntapohja orgaanisille pinnoille. Pohja sähköpinnoitteille ja kiinteille voiteluaineille.
Tekniset käyttötarkoitukset	Kovia kulumiskestäviä pintoja, sähköisiä eristyksiä ja kondensaattoreita

Sähkökiillotus ja -pinnoittaminen

Sähkökiillotuksella kappaleen pinnasta poistetaan ensin hieman alumiinia, minkä jälkeen anodinen passivointikerros muodostuu kappaleen pinnalle. Koska kerros on paksumpi pinnan syvennyksissä, kappaleen pinta tasoittuu. Myös pinnassa olevat reunat, piikit ja naarmut tasoittuvat ja kappale kiillottuu. Heti sähkökiillotuksen jälkeen pinta on anodisoitava, jotta pinnan kiiltävyys säilyisi. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 23.)

Alumiinin sähköpinnoitus on vaikea prosessi. Tämä johtuu sekä alumiinin taipumuksesta reagoida pinnoituselektrolyyttien kanssa, että alumiinin negatiivisesta potentiaalista. Sähköpinnoitus vaatii esikäsitteilyksi kemiallisen pinnoituksen tai syövytyksen. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 23 - 24.) Kappaleen muotoilu vaikuttaa sähköpinnoituksen onnistumiseen. Esimerkiksi laipat ja risteyskohdat kannattaa varustaa riittäväillä pyörityksillä (kuva 16). (Mrazek 1992.)



KUVA 16. Vasemmalla puolella alkuperäinen ja oikealla puolella paranneltu rakenteen muotoilu sähköpinnoituksen näkökulmasta (Mrazek 1992)

6.2.4 Pinnoittaminen

Maalaaminen

Maalaaminen on edullinen pintakäsittelymenetelmä. Se mahdollistaa lähes rajattomat värit sekä himmeän, puolikiiltävän tai kiiltävän pinnan tuottamisen kappaleelle. Alumiini soveltuu hyvin maalaamiseen, tosin maalaaminen ei syöpymskestävyyden kannalta ole tarpeellista alumiinille. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 24.)

Alumiinin pinnan oksidikerros ei ole hyvä maalausaluusta, joten ennen maalausta täytyy suorittaa esikäsittelyjä (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 140). Ensin kappale on puhdistetta rasvasta ja liasta esimerkiksi peittaamalla (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 24). Kappaleen pinnankarheuden tulisi olla 4-6 µm ennen maalauksen aloittamista (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 141).

Puhdistuksen jälkeen pintaan tuotetaan tartuntakerros kromatoinnilla, fosfatoinnilla, anodisoinnilla tai pohjamaalilla. Itse maalaus suoritetaan ruiskutuksena, telamaalauksena, sähköstaattisena maalauksena, laminoitina tai pulverimaalauksena. Maalauksen kerrospaksuudeksi on hyvä tulla 15 - 50 µm. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 24.) Oikeiden maalaus- ja esikäsitteilymenetelmien sekä maalin valinnassa täytyy tietää maalattavan kappaleen käyttöympäristö. Sisä- ja ulkotiloihin tulevien kappaleiden vaatimukset ovat erilaiset. Maalin kestävyysvaatimukset, kuten käyttöikä, korroosionkestävyys, ulkonäkö ja muotoiltavuus täytyy myös tietää maalia valittaessa. (Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006, 140 - 142.)

Muovi- ja metallipäälystys sekä emalointi

Muovipäälystys suoritetaan yhtenä tai useampana kerroksena lisäämällä kappaleen pinnalle vesiemulsio tai liuos ja kuivattamalla pinnoite. Kerrospaksuus vaihtelee 0,1 - 0,5 mm välillä. Alumiinin metallipäälystykseen käytetään tyhjähöyrytyksen tai sularuiskutuksen avulla. Metallipäälysteen tarkoitus on lisätä kappaleen pinnan syöpymis- ja kulumiskestävyyttä. Emaloinnissa emaliliete ruiskutetaan kappaleen pinnalle, jonka jälkeen liete poltetaan kappaleen pintaan. Pinnasta tulee sileä, sekä syöpymistä ja kulutusta kestävä. Prosessi on kallis ja vaikea suorittaa. (Alumiini. Pintakäsittely. 1982, 27.)

7 SUUNNITTELUOHJEITA

Valukappaletta suunniteltaessa täytyy huomioida ja vertailla suurta määrää tarjolla olevia reunaehtoja ja mahdollisuuksia. Ensiksi suunnittelijan on huomioitava, että kappale luotettavasti kestää laitteen mekaanisen kokonaistoiminnan kannalta tarpeelliset rasitukset koko laitteen eliniän ajan. Kuormitukset eivät saa aiheuttaa murtumisten ja plastisten muodonmuutosten lisäksi liian suuria kimmoisia muodonmuutoksia. Lisäksi dynaamiset kuormitukset täytyy ottaa huomioon. (Meskanen 2009, 1.)

Suunnittelulla pyritään myös saamaan laitteen osien valmistuskustannukset mahdollisimman alas. Turhia kustannuksia aiheutuu, mikäli kappale suunnitellaan kestävämmän liian pitkään. Tämän on kuitenkin tapahduttava turvallisuuden puitteissa. Valmistuskustannusten lisäksi muita huomioitavia asioita ovat laitteen käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvat kustannukset. Myös materiaalinvalinta, jälkityöstön tarve sekä tarvittavat asennukset ja apuaineet vaikuttavat kappaleen kustannuksiin. (Meskanen 2009, 1.)

Kappaleen massan ja tilantarpeen minimointi perustuu kappaleen muotoilumahdollisuuksien parhaaseen mahdolliseen hyödyntämiseen. Sen lisäksi, että esimerkiksi liikkuvassa kalustossa massa ja tilantarve ovat rajoittavia tekijöitä, saadaan materiaalikustannuksia alemmas vähentämällä tarvittavan materiaalin määrää. Liian suuria varmuuskertoimia tulee välttää, mutta tähän vaikuttaa suunnittelijan kokemus. Materiaalin valinnassa on huomioitava kappaleen käyttöympäristön vaikutukset kappaleen toimintaan. Poikkeavat lämpötilat ja syövyttävät olosuhteet vaikuttavat materiaalin valintaan. Lisäksi materiaalin kierrätettävyydellä on nykyisin suuri merkitys materiaalinvalintaan. (Meskanen 2009, 1.)

Valukappaleen geometrian suunnittelussa on peruseriaatteena, että suunniteltava kappale täyttää siihen kohdistuvat vaatimukset, mutta on samanaikaisesti mahdollisimman yksinkertainen (Alumiini. Valaminen ja

työstäminen. 1975, 17). Painevalukappaleen geometrian suunnittelussa on huomioitava seuraavat vaatimukset (Fredriksson 2010, 1):

- muottipesän pitää täyttyä kokonaan
- valuseoksen pitää jähmettyä niin, että kappale on tasalaatuinen ja mahdollisimman vähän vääntynyt
- kappale pitää voida poistaa muotista.

Hyvä valukappale on helppo valaa ja siihen muodostuu mahdollisimman vähän valuvikoja. Muotti on yksinkertainen ja kappaleen mitat on helposti todennettavissa. Tähän päästäkseen suunnittelijan on valittava paras mahdollinen valuasento. Muita valukappaleen geometrian suunnittelussa huomioitavia asioita ovat jakopinta, päästöt, pyöristykset, seinämävahvuudet sekä risteykset ja rivat. (Fredriksson – Höök – Nykänen 2010, 1.) Itse valukappaleiden suunnittelu tehdään 3D-mallinnusohjelmistoilla hyviä piirremallinnustapoja noudattaen. (Fredriksson ym. 2010, 1.) Tässä kappaleessa on perehdytty lähinnä kappaleen geometrian suunnittelusääntöihin.

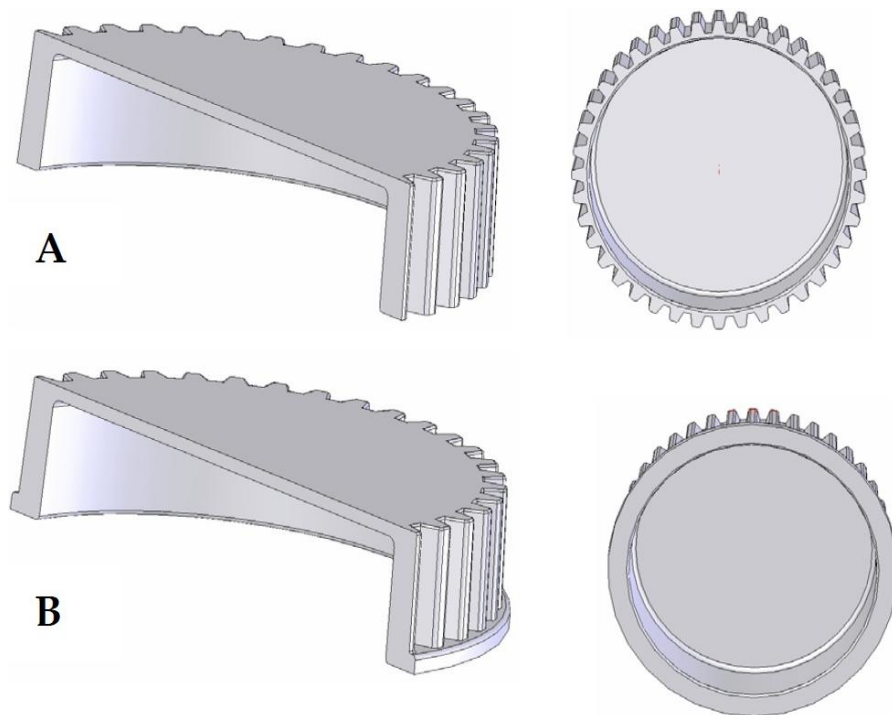
7.1 Valuasento ja jakopinta

Valuasennolla tarkoitetaan valukappaleen asentoa muotissa jakopinnan, syöttöpaikkojen ja painovoiman suhteen. Painevalussa painovoiman suunnalla ei kuitenkaan ole merkitystä kappaleen valuasentoon. (Fredriksson ym. 2010, 1 - 2.) Valuasento tulisi suunnitella siten, että koneistettavat pinnat ovat alaspäin, laajat pinnat ovat pystyasennossa. Toleroidut mitat tulisi sijoittaa yhteen muottipuoliskoon (Niemi 2010f, 1).

Painevalussa muotti muodostuu kahdesta puoliskosta, joiden välissä on jakopinta. Tämän vuoksi myös valukappaleeseen tulee tähän samaan kohtaan jakolinja. Jakolinjan paikkaan vaikuttaa kappaleen muodot, valuasento sekä määritellyt mittatoleranssit. Kappaleen mittatarkkuus on huonompi jakopinnan ylitse kuin saman muottipuoliskon kappaleen mitat. Myös pinnanlaatu on huonompi jakopinnan kohdalla kuin muualla kappaleessa. Tämän takia

jakopinnan kohta on usein viimeisteltävä jälkeenpäin. (Fredriksson ym. 2010, 2.)

Painevalukappaleisiin muodostuu paljon jakopintapurseita suurista prosessointipaineista johtuen. Tällöin kappale täytyy viimeistellä leikkurilla eli leikkaamalla jakopintapurseet pois valukappaleesta. Leikkaaminen on automatisoitavissa, mutta aiheuttaa myös hieman lisäkustannuksia. (Fredriksson ym. 2010, 2.) Kuten luvussa 4 aiemmin mainittiin, tästä työvaiheesta voi jäädä haitallisia jälkiä valukappaleeseen, mikäli kappaletta ei ole suunniteltu siten, että purseet on helppo leikata pois (kuva 17). (Fredriksson 2010, 11.)

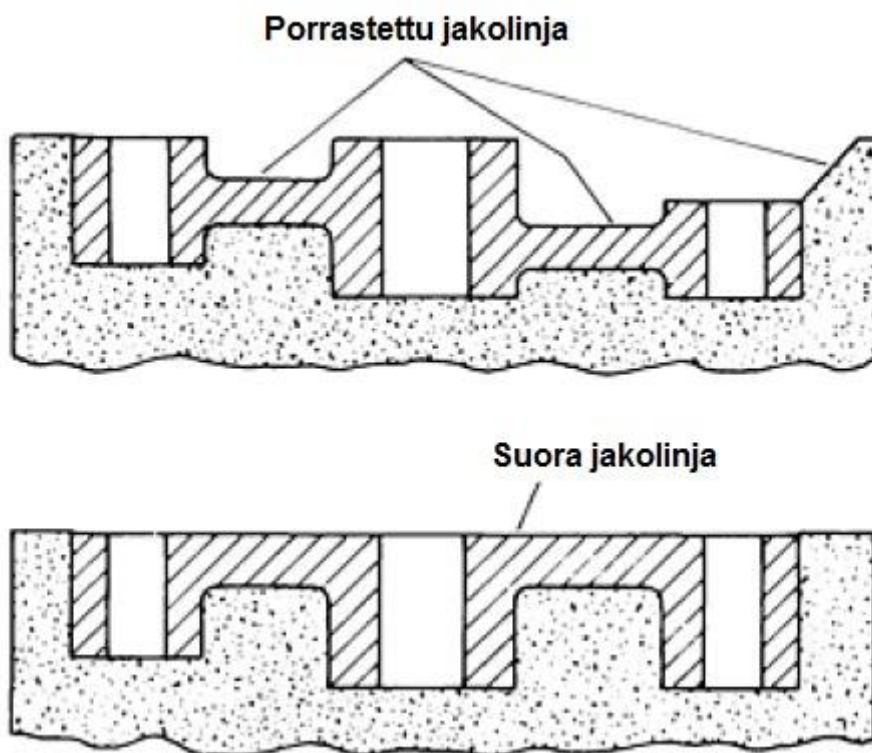


KUVA 17. Rakenteella B saadaan leikkaimesta yksinkertaisempi ja leikkausjälki paremmaksi kuin rakenteella A (Fredriksson 2010, 11)

Muotin sisäänvaluportti sijoitetaan usein jakopintaan. Sisäänvaluportin paikalla on erityisesti painevalussa suuri merkitys valukappaleen laatuun, koska se vaikuttaa siihen täytyykö muotti hyvin vai huonosti. Materiaalisulalle pitäisi

saada mahdollisimman suora reitti ilmanpoistokanavia ja ylijooksuja kohti. Myös keernojen sijainnit vaikuttavat jakolinjan paikkaan ja toisaalta jakolinjan paikka vaikuttaa tarvittavan ulostyöntövoiman suuruuteen. (Fredriksson ym. 2010, 4.)

Jakolinjan määrittäminen kuuluu kappaleen suunnittelijan tehtäviin. Koska jakolinja on nurkkakohta, jossa päästöt vaihtavat suuntaa, täytyy sen paikka valita suunnitteluprosessin alussa. Päästövirheiden korjaaminen suunnittelun loppuvaiheessa voi olla erittäin työlästä ja hankalaa. (Höök 2010, 1.) Kappaleen jakolinjan laittaminen suoraan on yleensä halvempi vaihtoehto kuin porrastettu tai säännötön jakolinja (kuva 18) (Kotschi 1998, 612.) Toisaalta joskus porrastetulla jakopinnalla pystytään vähentämään tarvittavien keernojen määrää, mikä myös voi pienentää muottikustannuksia (Fredriksson ym. 2010, 3).



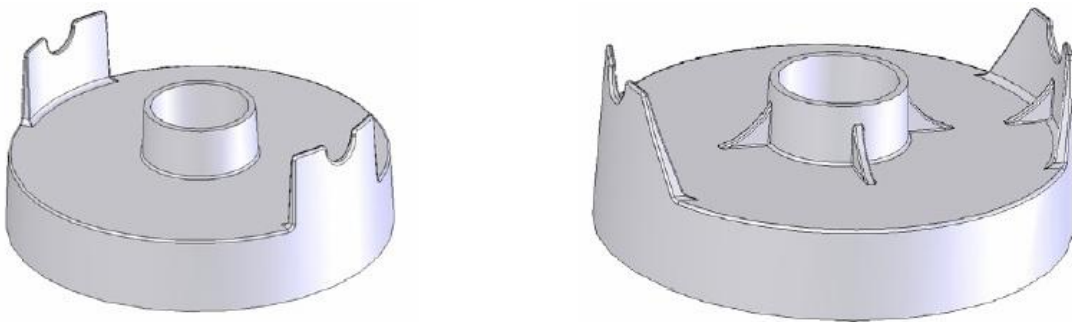
KUVA 18. Porrastettu ja suora jakolinja (Kotschi 1998, 612)

7.2 Muotin täytyminen

Muotin täytyminen on ratkaisevassa roolissa, kun valukappale halutaan mekaanisesti ja visuaalisesti laadukkaaksi. Normaali muotin täyttöaika pienelle painevalukappaleelle on 10 - 40 ms halutun pinnanlaadun mukaisesti. Tämän takia sulan on täytettävä muottipesä tasaisesti pyörteilemättä. (Fredriksson 2010, 12.)

Valukappaleen suunnittelun alkuvaiheessa on hyvä huomioida suunnatun jähmettymisen periaate. Se tarkoittaa sitä, että seinämänpaksuuden on lisäännyttävä syöttökohtia päin, jotta muotti täytyisi kunnolla. Suunnatun jähmettymisen periaate vaikuttaa olennaisesti valukanaviston ja syöttöjen paikkoihin. Suunnatun jähmettymisen tarkistamiseen käytetään Heuversin ympyrämenetelmää. (Valujen taloudellinen käyttö. Osa 1 suunnitteluohjeita. 1998, 29.) Mikäli kappaleen paksuimman ja ohuimman seinämän suhde on enemmän kuin 3:1, paksuun kohtaan voi muodostua huokoisuutta. Mikäli suhde on yli 6:1, kappaleen lujuus ja laatu tulee olemaan heikentynyt. (Fredriksson 2010, 4.)

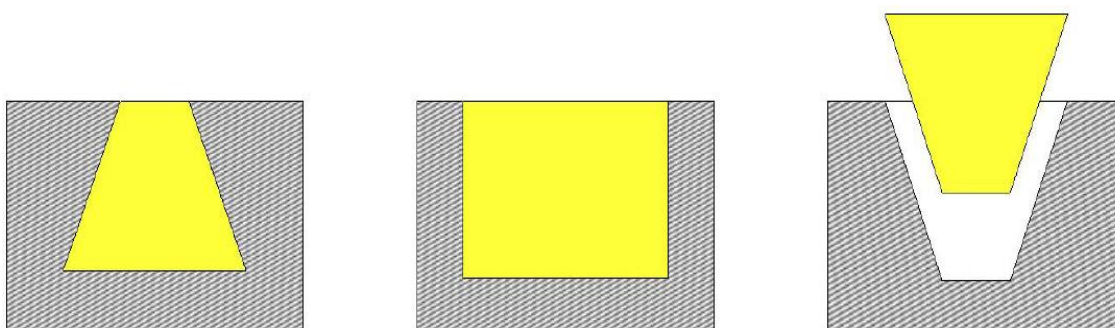
Tasainen seinämänpaksuus edistää muottipesän täyttymistä. Muotoilun lisäksi myös rivoituksella voidaan parantaa muotin täyttymistä (kuva 19). (Fredriksson 2010, 12.)



KUVA 19. Vasemmalle muotin täyttymisen kannalta huonompi ratkaisu kuin oikealla (Fredriksson 2010, 12)

7.3 Päästöt

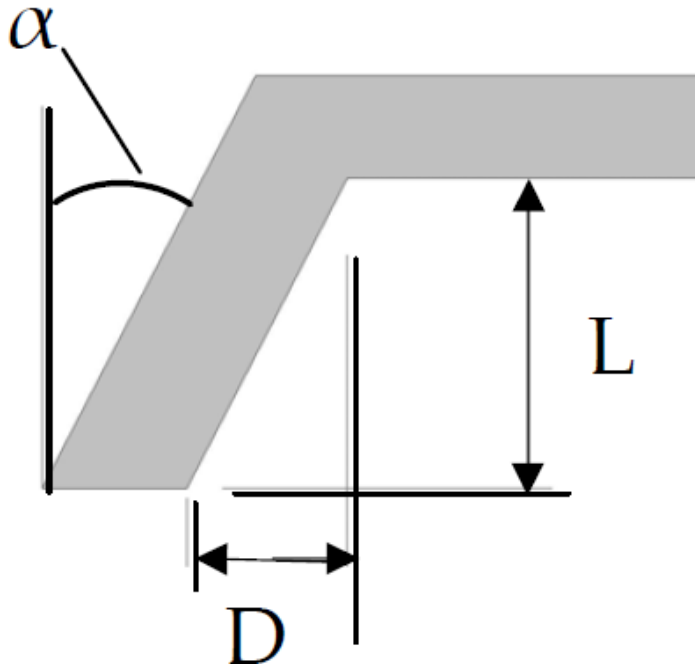
Päästö eli hellitys tarkoittaa kappaleessa olevaa kaltevuutta, joka mahdollistaa kappaleen irrottamisen muotista. Päästö on yhdensuuntainen kappaleen irrotussuunnan kanssa. Päästöjen takia valukappaleen mitat muuttuvat. Päästön vastakohtaksi kutsutaan vastapäästöä, joka näkyy kuvassa 20. Kuvassa 20 on valukappale keltaisella ja muotti harmaalla värillä. Vasemmalla kuvassa on vastapäästö, keskellä päästötön kappale ja päästetty kappale. (Niemi 2010b, 1.) Painevalukappaleisiin ei voi suunnitella muotoja, jotka vaativat sisäpuolisia vastapäästöjä. (Fredriksson 2010, 5).



KUVA 20. Päästöjen eri muodot (Fredriksson ym. 2010, 5)

Hellitykset voivat olla erisuuruisia pesäpinnoille, keernapinnoille ja rei'ille, mutta käytännössä päästökulma kannattaa pitää vakiona, jotta seinämänpaksuus pysyy mahdollisimman tasaisena. Keerna eli core-puolella voi olla jopa kaksinkertainen päästökulma pesäpuoleen verrattuna. Mitä suurempi päästö on, sitä helpommin kappale irtoaa muotista. Toisaalta suuri päästö vaikuttaa enemmän kappaleen mittoihin. Esimerkiksi rivat ja ruuvitornit voivat suurilla päästökulmilla tulla suhteettoman paksuiksi. Tämä voi lisäksi aiheuttaa kappaleeseen valuvikoja. (Fredriksson ym. 2010, 6.)

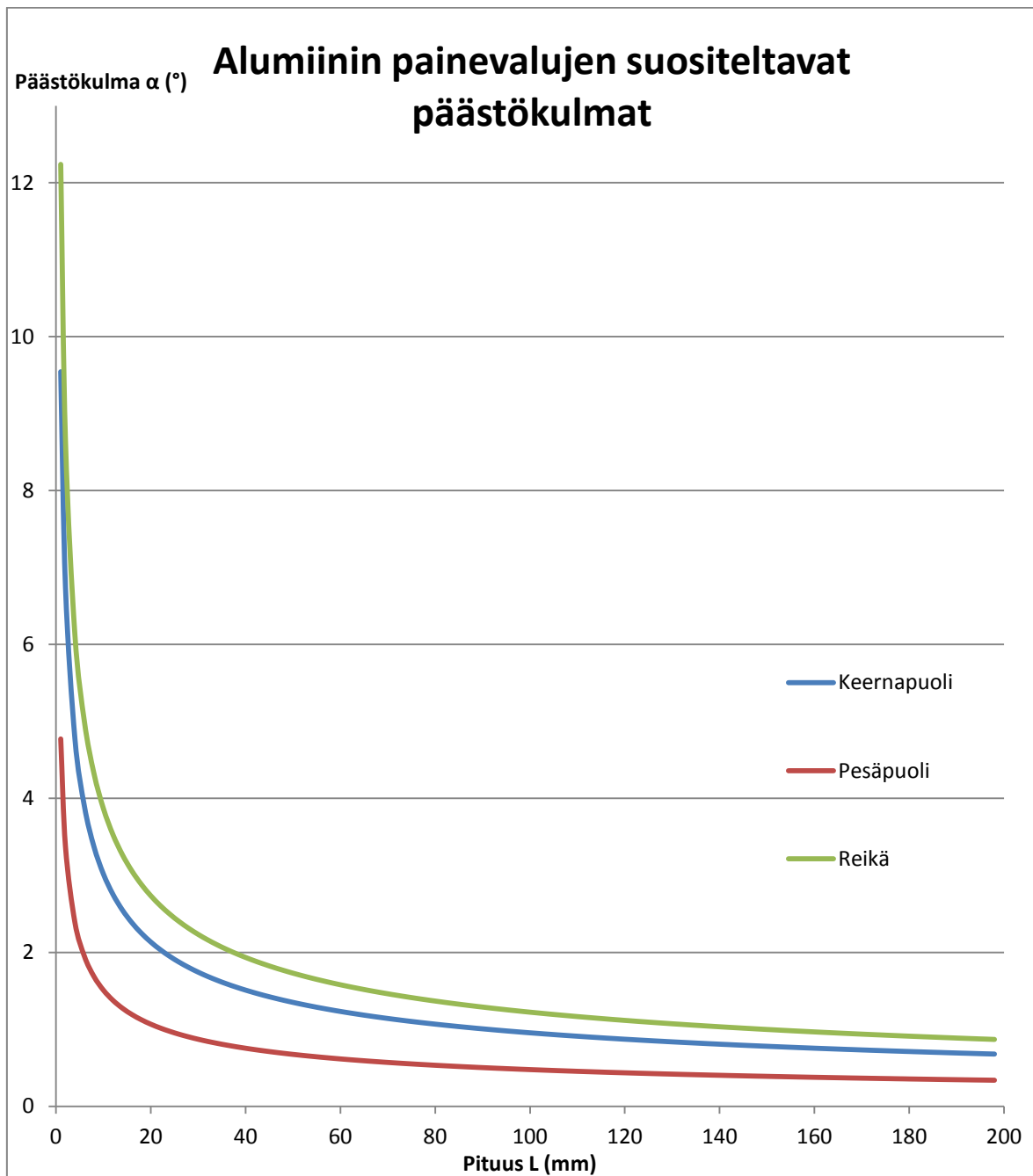
Painevalussa päästöt voidaan laskea kuvan 21 ja kaavan 1 mukaisesti. Kaavassa 1 alumiinin painevaluille käytetään keernapuolella arvoa $C = 6,00$, pesäpuolella $C = 12,00$ ja rei'ille $C = 4,68$. Kaava 1 ei kuitenkaan päde tarkasti hyvin korkeille ja matalille seinämille. (Fredriksson ym. 2010, 6 - 7.)



KUVA 21. Painevalussa käytettävien päästöjen mitat (Fredriksson ym. 2010, 6)

$$D = \frac{\sqrt{L}}{C}; \alpha = \frac{D}{0,01746 * L} = \frac{1}{0,01746 * C * \sqrt{L}} \quad \text{KAAVA 1}$$

Kaavalla 1 saadaan laskettua päästökulmien kuvaajat pituuden L funktiona (kuva 22).



KUVA 22. Alumiinin painevalujen suositeltavat päästökulmat

7.4 Seinämänpaksuus ja seinämien muoto

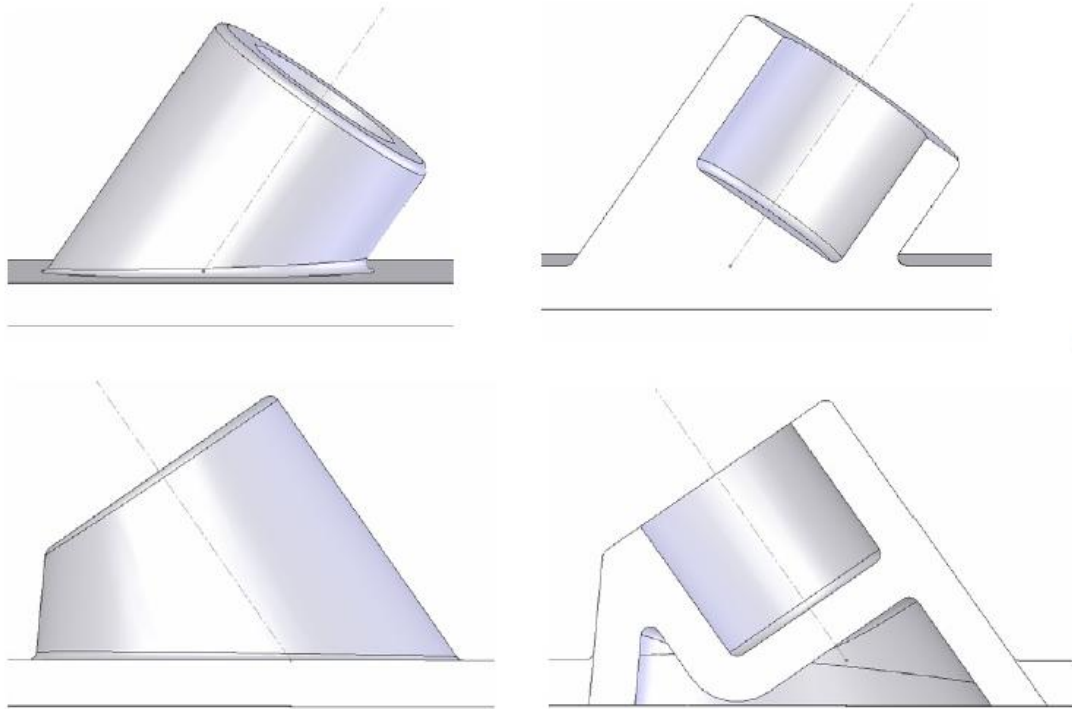
Kuten aiemmin mainittiin, mekaanisesti hyvälaatuisen valukappaleen valaminen vaatii hyvää muotin täyttymistä. Kappaleen täyttymistä saadaan parannettua välttämällä teräviä kulmia sekä suurentamalla seinämävahvuutta. (Fredriksson

ym. 2010, 11 - 12.) Painevalussa minimiseinämänpaksuuden määrittämiseen vaikuttaa projektiopinta-ala eli kappaleen jakopinnalle projisoitu pinta-ala (taulukko 6) (Fredriksson ym. 2010, 13).

TAULUKKO 6. Painevalukappaleiden minimiseinämänpaksuudet (Fredriksson ym. 2010, 13)

Kappaleen projektiopinta-ala (cm ²)	Minimiseinämänpaksuus (mm)
< 25	0,8
25 - 100	1,3
100 - 500	1,8
> 500	2,5

Seinämänpaksuus ei saa kuitenkaan olla suurempi kuin on tarvetta, sillä paksumpi seinämä mahdollistaa valuvikojen muodostumisen. On myös huomattava, että alumiinin murtolujuus alenee seinämän paksutessa. Ohuet seinämät siis käyttävät paremmin hyväksi materiaalin lujuusominaisuuksia. Mikäli lujuutta ja jäykkyyttä halutaan parantaa kappaleessa, kannattaa käyttää jäykisteripoja, kauluksia sekä U-, L-, H-, ja T-poikkileikkausmuotoja. (Alumiini. Valaminen ja työstäminen. 1975, 19 - 20.) Seinämänpaksuuden vaihteluja pitäisi myös pyrkiä välttämään kappaleen suunnittelussa. Kuvan 23 alarivissä on parempi ruuvitornin muotoilu kuin ylärivissä. (Fredriksson 2010, 4.)



KUVA 23. Painevalukappaleiden seinämävahvuudet on pyrittävä suunnittelemaan mahdollisimman tasaisiksi (Fredriksson 2010, 3)

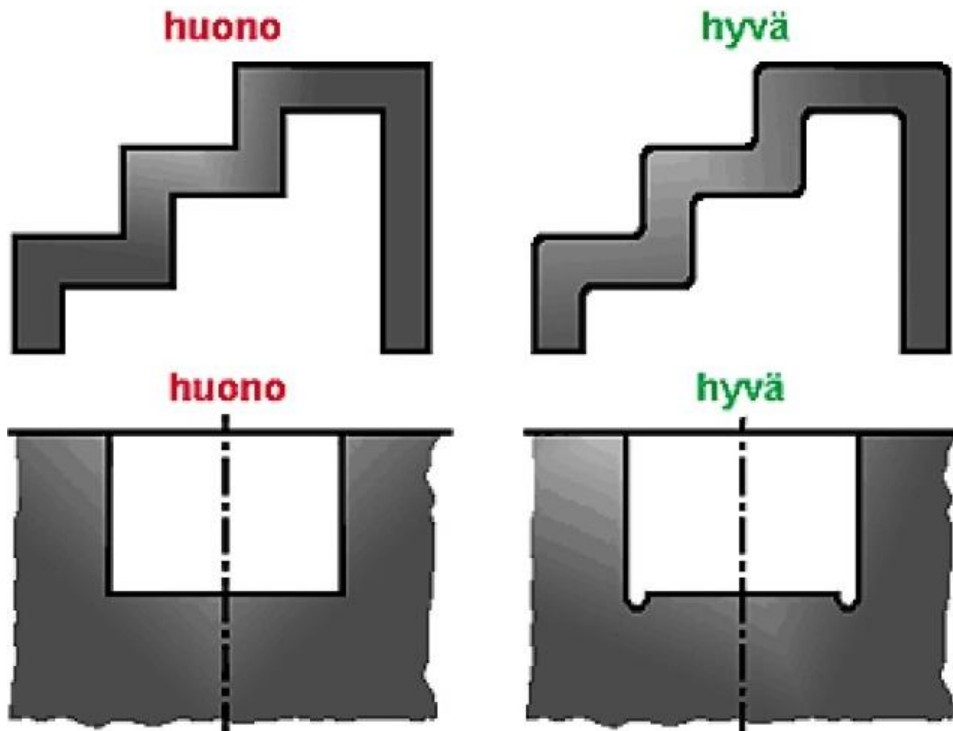
Jos kappaleessa tapahtuu seinämäpaksuuden tai poikkipinta-alan muutoksia, ne on pyrittävä tekemään asteittain. Tällä on tärkeä merkitys kappaleen kovuuden ja tiheyden kannalta. (Alumiini. Valaminen ja työstäminen. 1975, 21.)

7.5 Pyöristykset

Terävät nurkat ja liitoskohdat estävät sulan valumateriaalin virtausta ja aiheuttavat kutistumishalkeilua. Tämän takia nurkat ja liitoskohdat kannattaa pyöristää. Hyvä sääntö on, että sisäpuolisen nurkan pyöristyssäde on sama kuin seinämäpaksuus. Mikäli on tarvetta pienemmille pyöristyssäteille, painevalussa suositeltava minimisäde on 1 mm. (Alumiini. Valaminen ja työstäminen. 1975, 21.)

Kappaleen ulkonurkat on aina pyrittävä pyöristämään (kuva 24). Mikäli kappaleen ulkonurkkien on oltava terävät, muotin sisänurkkiin kertyy jännityksistä halkeamia ja muotin huoltokustannukset kasvavat huomattavasti.

Valukappaleiden sisänurkat tulisi aina pyöristää siitä syystä, että terävät sisänurkat kappaleessa keräävät lämpörasituksia ja mekaanisia rasituksia. Nämä rasitukset yleensä aiheuttavat kappaleen sisänurkkien halkeilua. Mikäli kappaleen sisälle tarvitaan terävä nurkka, käytetään uria. (Fredriksson 2010, 4 - 5.)



KUVA 24. Ylärivissä pyöristysten käytön periaate: kaikki terävät nurkat pyöristetään. Alarivissä käytetty uria, jotta kappaleelle saadaan terävä sisänurkka (Fredriksson 2010, 5)

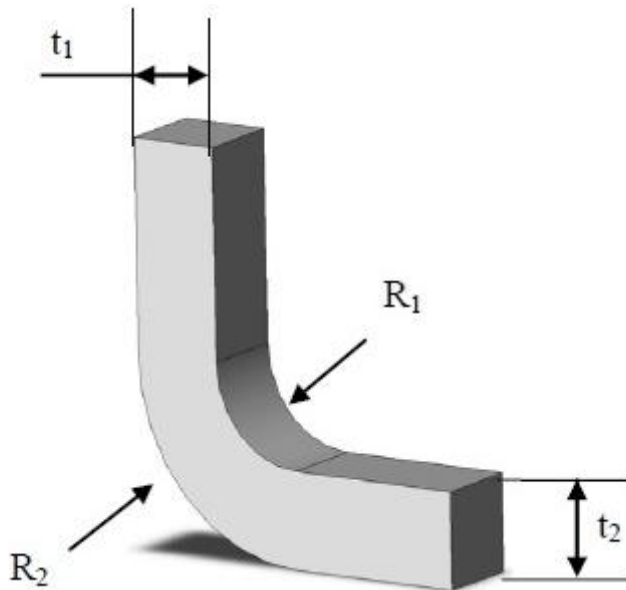
Paikallisia kuumia kohtia esiintyy yleensä muotin terävissä sisänurkissa ja pienissä ulokkeissa. Paikalliset kuumat kohdat aiheuttavat kappaleisiin pintahuokoisuutta, syöpymistä ja vetojälkiä. Myös liiallista kuumentumista voidaan ehkäistä pyöristyksillä. (Fredriksson 2010, 13.)

7.6 Risteyskohdat ja rivat

Risteyskohtia syntyy, kun kaksi muotoa kohtaa toisensa. Tällöin risteyskohtaan muodostuu muita seinämiä paksumpi ainekeskittymä, johon muodostuu helposti

valuvikoja. Erilaisia risteyskohtia on T-, X-, L- ja Y-tyyppiset poikkileikkaukset. L-risteykselle pätee seuraavat suunnittelusäännöt (kuva 25) (Fredriksson 2010, 7 - 9):

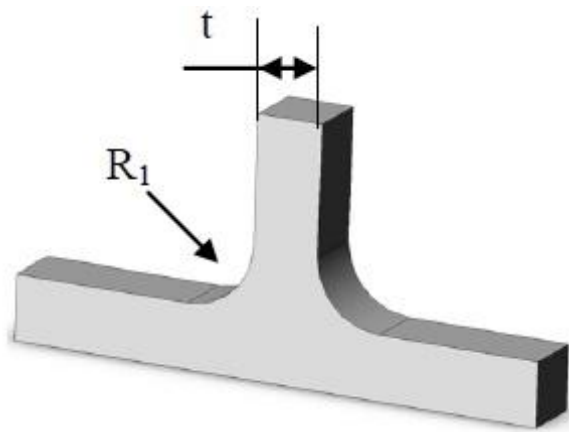
- jos $t_1 = t_2 \rightarrow R_1 = t_1$ ja $R_2 = R_1 + t_1$
- jos $t_1 = t_2$ ja $R_2 = 0 \rightarrow t_1 \leq R_1 \leq 1,25t_1$
- jos $t_2 > t_1 \rightarrow R_1 = (2/3) * (t_1 + t_2)$ ja $0 \leq R_2 \leq (t_2 + R_1)$.



KUVA 25. L-risteys (Fredriksson 2010, 9)

T-risteys kannattaa muotoilla siten, että seinämänpaksuus pysyy samana. Toisaalta tämä aiheuttaa korkeampia muotti- ja työkalukustannuksia. T-risteykselle pätee seuraavat suunnittelusäännöt (kuva 26) (Fredriksson 2010, 9):

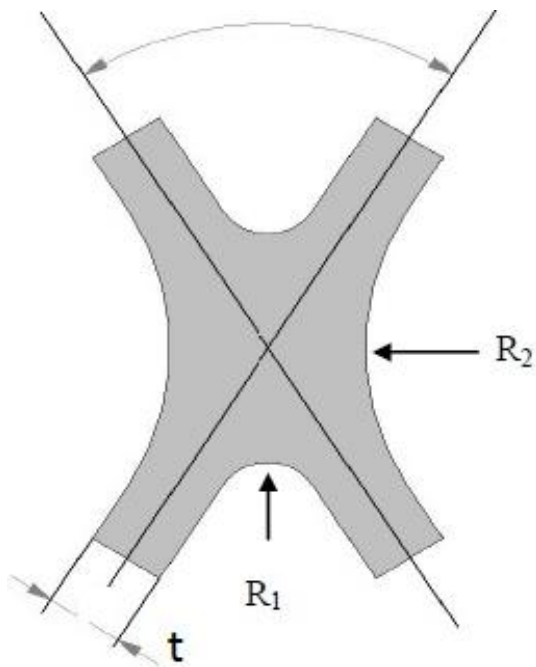
- t = pienin seinämänpaksuus
- $t \leq R_1 \leq 1,25t$.



KUVA 26. T-risteys (Fredriksson 2010, 9)

X-risteyksiä kannattaa välttää aina, kun mahdollista. Risteyksen massakeskittymä voi aiheuttaa valuvikoja. X-risteykselle pätee seuraavat suunnittelusäännöt (kuva 27) (Fredriksson 2010, 9):

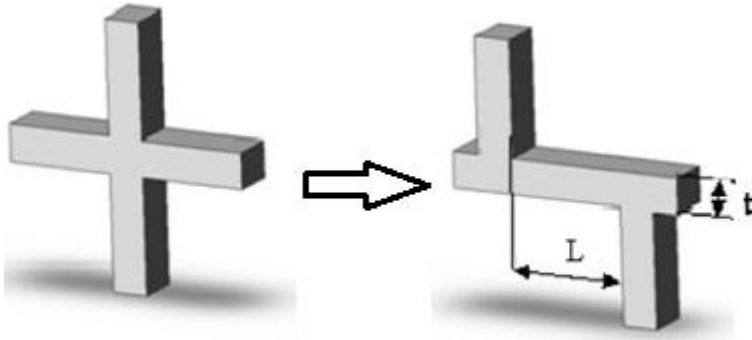
- jos $\theta = 90^\circ \rightarrow R_1 = R_2 = t$
- jos $\theta = 45^\circ \rightarrow R_1 = 0,7t$ ja $R_2 = 1,5t$
- jos $\theta = 30^\circ \rightarrow R_1 = 0,5t$ ja $R_2 = 2,5t$.



KUVA 27. X-risteys (Fredriksson 2010, 9)

X-risteys voidaan muuttaa myös kahdeksi T-risteykseksi. Tällöin pätee seuraava suunnittelusääntö (kuva 28) (Fredriksson 2010, 9 - 10):

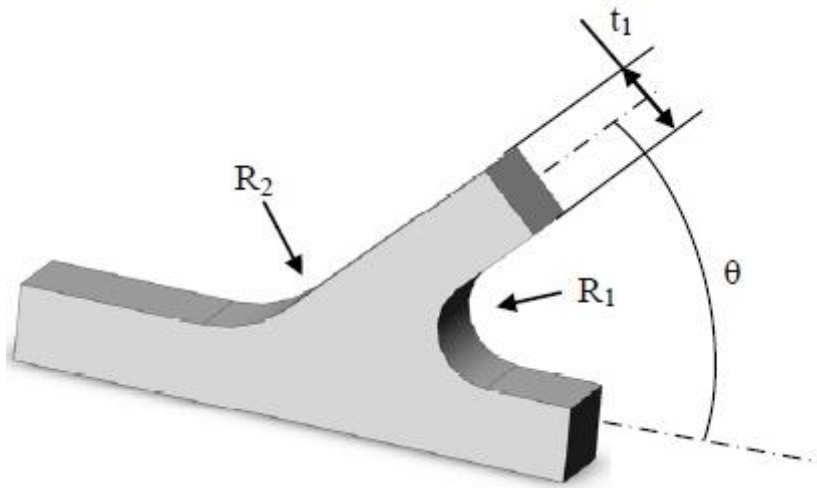
- $L > 3t$.



KUVA 28. X-risteyksen muuttaminen kahdeksi T-risteykseksi (Fredriksson 2010, 10)

Y-risteyksien suunnittelulle pätee seuraavat säännöt (kuva 29) (Fredriksson 2010, 10):

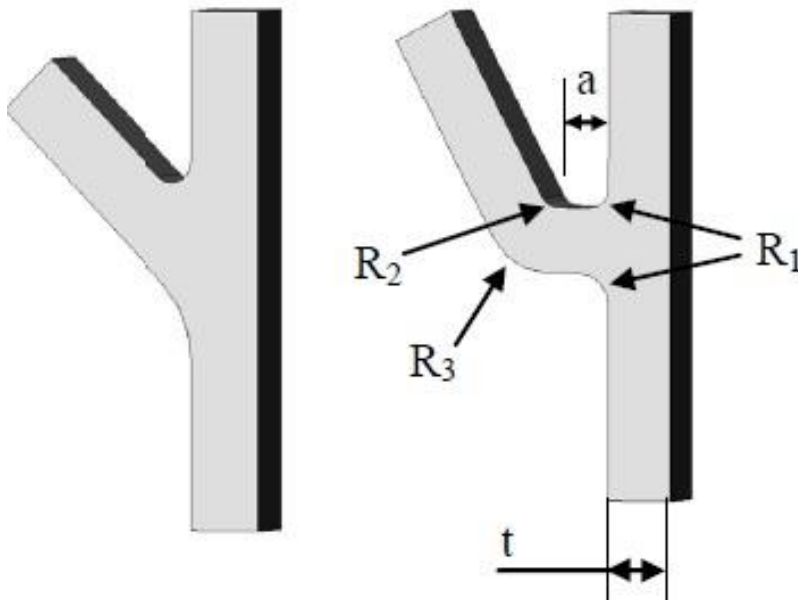
- jos $\theta = 90^\circ \rightarrow R_1 = R_2 = t_1$
- jos $\theta = 45^\circ \rightarrow R_1 = 0,7t_1$ ja $R_2 = 1,5t_1$
- jos $\theta = 30^\circ \rightarrow R_1 = 0,5t_1$ ja $R_2 = 2,5t_1$.



KUVA 29. Y-risteys (Fredriksson 2010, 10)

Y-risteys voidaan muuttaa T-risteykseksi seuraavilla säännöillä (kuva 30) (Fredriksson 2010, 10):

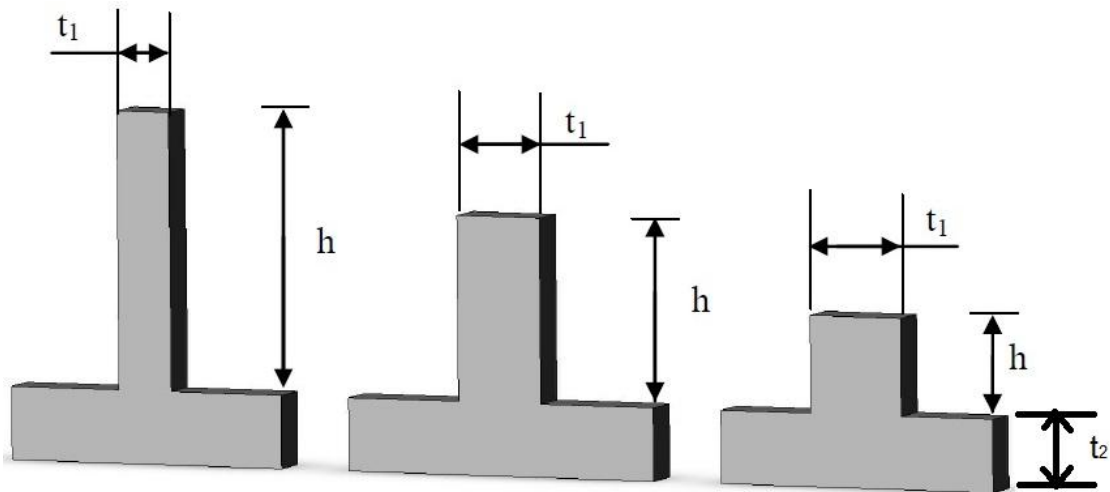
- $R_1 = t$
- $R_2 = 2t$
- $R_3 = 3t$
- $a \geq 2t$.



KUVA 30. Y-risteys voidaan muuttaa T-risteykseksi (Fredriksson 2010, 10)

Rivoituksilla voidaan parantaa muottipesän täyttymistä ja kappaleen rakenteen lujuutta. Rivoitus on useimmiten parempi tapa lujittaa kappaletta kuin seinämänpaksuuden kasvattaminen. Rivoituksen suunnittelussa täytyy huomioida ripojen geometria ja ripojen välit (kuva 31). Ripojen korkeus riippuu seinämänpaksuudesta ja ripojen väli tulisi olla minimissään kolmen seinämänpaksuuden verran. Näin vältetään paikallisten kuumien kohtien syntymiseltä. Lisäksi rivoitus on parempi tehdä kappaleen sisäpuolelle kuin ulkopuolelle. Rivoissa kannattaa käyttää pyöreitä muotoja ja pyöristyksiä. Seuraavat suunnittelusäännöt pätevät rivoituksen suunnitteluun (Fredriksson 2010, 4, 15):

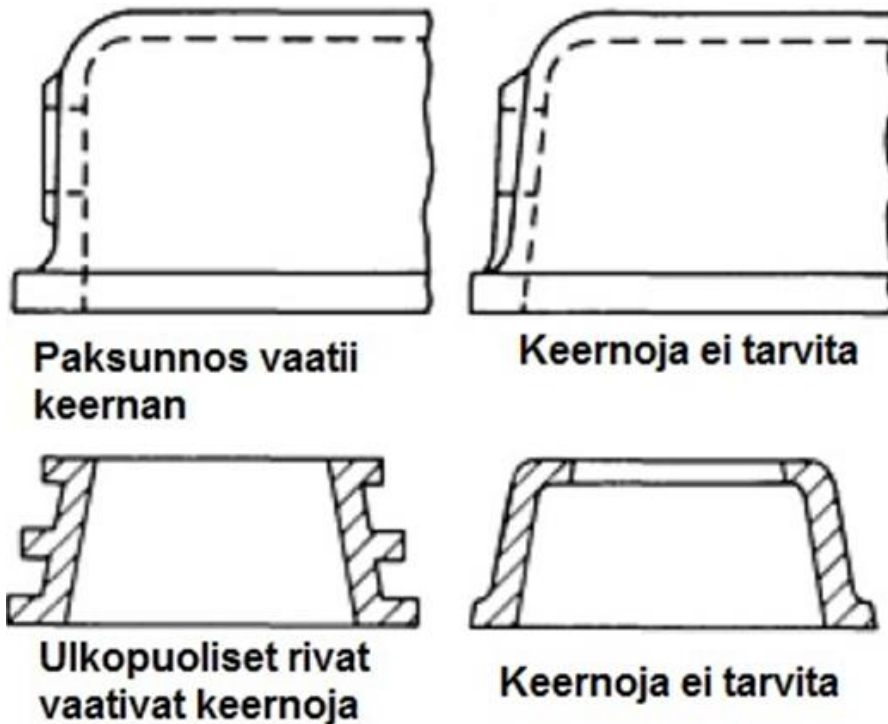
- jos $t_1 = 0,25t_2 \rightarrow h < 4t_2$
- jos $t_1 = 0,5t_2 \rightarrow h < 1,5t_2$
- jos $t_1 = 0,75t_2 \rightarrow h < 0,5t_2$.



KUVA 31. Rivoituksen suunnitteluohjeita (Fredriksson 2010, 15)

7.7 Keernojen käyttö

Keernoja käytetään kappaleen massakeskittymien poistoon sekä sisäpuolisten muotojen valamisen mahdollistamiseksi (kuva 32). Niiden käyttöä kannattaa välttää taloudellisista syistä ja valun onnistumisen kannalta aina, kun se on mahdollista. Mikäli keernoja kuitenkin käytetään, ne eivät saa olla teräviä. On myös huomioitava, että keernojen ohjaus ja kiinnitys vaativat kappaleeseen riittävästi reikiä. Keernojen käyttöä on mahdollista rajoittaa jakamalla kappale useampiin osiin. (Niemi 2010c, 1 - 2.)



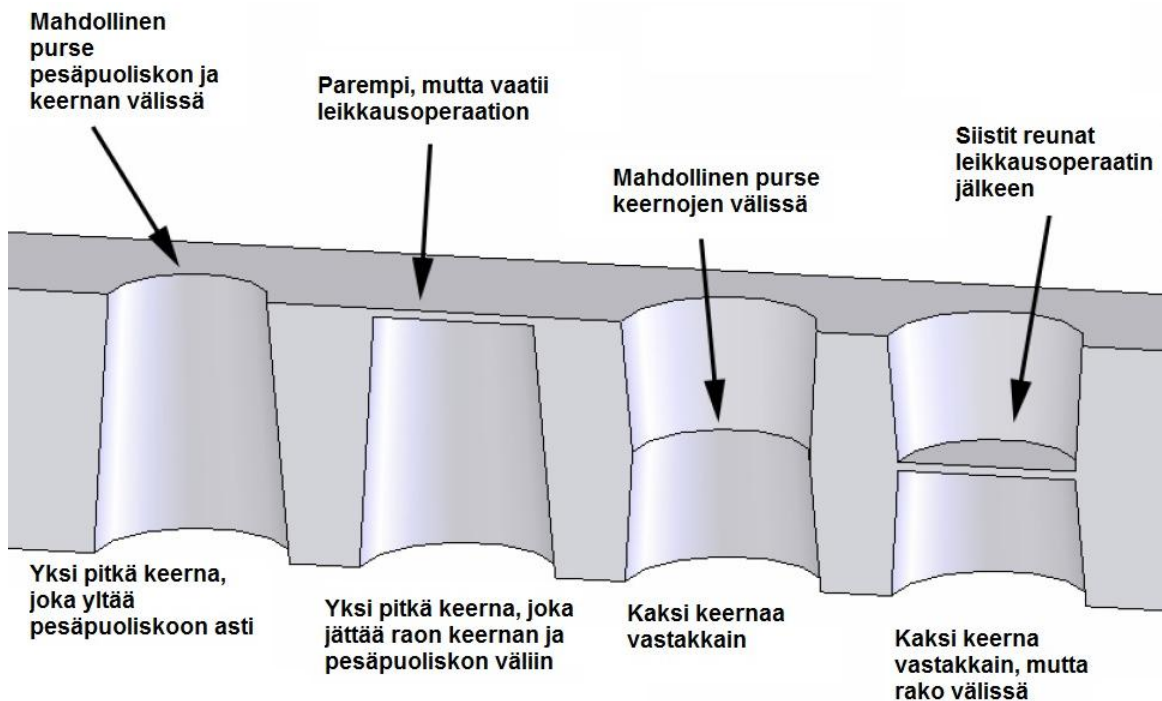
KUVA 32. Keernojen käyttöä voidaan välttää geometrian muutoksilla (Kotschi 1998, 612)

Mikäli kappale vaatii sisäpuolisia keernoja, päästöjen on oltava suurempia ja kappale voidaan joutua irrottamaan muotista ulostyöntäjillä. Ulostyöntäjiä varten seinämiä voi joutua lujittamaan rivoilla tai paksunnoksilla, ettei kappale vahingoitu. (Alumiini. Valaminen ja työstäminen. 1975, 20 - 21.) Jos taas kappale on massiivinen ja siinä pitää olla ohuita reikiä, kannattaa se valmistaa mieluummin koneistamalla kuin valamalla. Valinnassa on kuitenkin otettava huomioon kappaleen seinämänpaksuuden, reiän halkaisijan ja valukappaleen mittojen suhde. (Meskanen ym. 2009c, 6.)

7.8 Reiät, kierteet ja insertit

Painevalulla voidaan valaa läpimenevien reikien lisäksi myös reikiä, jotka eivät mene kappaleen seinämän lävitse (kuva 33). Taulukossa 7 on suosituksia alumiinisten valukappaleiden reikien halkaisijoiden ja pituuksien suhteista. Keernan rasitusten ja geometrian takia läpimenemättömän reiän syvyys ei saa olla yli 3 - 4 kertaa reiän halkaisija (liite 5). Mikäli valukappaleeseen tulee useita

reikiä, on reikien välillä oltava stabiilia pintaa, joka keventää keernoille tulevia rasituksia. (Alumiini. Valaminen ja työstäminen. 1975, 22.) Reikien suunnittelussa kannattaa huomioida, että reiät kannattaa hellittää. Keernatapin on myös suositeltavaa olla mahdollisimman pyöreitä, koska litteät keernatapit murtuvat helposti. (Fredriksson 2010, 17.) Lisäksi läpimenevät reiät vaativat molempiin päihinsä upotukset (Valujen taloudellinen käyttö. Osa 1 suunnitteluohjeita. 1998,37).



KUVA 33. Eri mahdollisuuksia keernoitettujen reikien muotoiluun (Fredriksson 2010, 16)

TAULUKKO 7. Alumiinisen valukappaleen reiän suositeltava pituus reiän halkaisijan suhteen (Valujen taloudellinen käyttö. Osa 1 suunnitteluohjeita. 1998, 38).

Halkaisija (mm)	3	4	5	6	7	8	10	15	20
Pituus (mm)	5	10	17	25	33	45	55	90	125

Painevalaminen mahdollistaa hyvin tarkkojen yksityiskohtien kuten kierteiden valmistamisen. Kierteiden valaminen koneistuksen sijaan saattaa kuitenkin monimutkaistaa muottia ja laskea tuotantovauhtia. Suunnittelijan onkin mietittävä onko kierteiden valaminen taloudellisesti kannattavaa. Ulkokierteiden valaminen voidaan suorittaa jakamalla kierre kahteen osaan keernojen liikesuunnan tai muotin aukeamissuunnan suhteen. Toinen vaihtoehto on valaa kierteet kokonaisuutena, mutta se vaatii valuprosessilta suurta tarkkuutta. Sisäkierteiden valmistus on yleensä halvempaa koneistamalla, koska niiden valaminen vaatii pyörivän keernamekanismin. (Fredriksson 2010, 18.) Liitteessä 6 on määritelty eri standardikierteiden rajoituksia valettaessa.

Mikäli kappaleen sisälle valetaan inserttejä, kappaleeseen muodostuu sisäisiä jännityksiä eri materiaalien erilaisten lämpölaajenemiskertoimien takia. Tällaisia inserttejä ovat vuoraukset, kierreholkat ja magneetit. Inserttien käyttäminen valuissa on haasteellista, mutta sen on hyvä keino, mikäli kappaleeseen tarvitaan esimerkiksi luja laakeripinta tai kierre. (Fredriksson ym. 2010, 14.) Valuissa käytettävien inserttien tulisi olla pintakuvioituja tai urallisia, jolloin liitospinnan vääntölujuus ja syvyysuuntainen ankkurointi on parempi. Inserttien valaminen kuitenkin hidastaa tuotantoa ja lisää valmistuskustannuksia, joten ne kannattaa liittää kappaleeseen koneistamisen yhteydessä. (Fredriksson 2010, 18.)

7.9 Piirustukset ja merkinnät

Valimolle lähetettäviin piirustuksiin pitäisi yleisten tietojen lisäksi merkitä kappaleen jakopinta, kiinnityspinnat, työstön lähtöpinnat, valumateriaali ja siltä vaadittava lujuus, erityistä tarkkuutta vaativat pinnat, mahdolliset lämpö- ja pintakäsittelyt, paineenkesto-ominaisuudet tai muut erikoisominaisuudet, päästöt epäselvissä kohdissa, työstövarat ja kappaleen paino työstettynä tai raakana. (Valujen tuotantokustannusten pienentäminen valuteknisin keinoin. 1985, 2.)

Valukappaleisiin voidaan sijoittaa erilaisia merkintöjä kuten sarjanumeroita ja nimiä. Näistä aiheutuu kuitenkin helposti vastapäästöongelmia, joten ne kannattaa sijoittaa vaakasuorille pinnoille. (Niemi 2010d, 1.) Teksti kannattaa olla koholla pinnasta tai kappaleen pintaa hieman syvempänä olevassa paneelissa (Fredriksson 2010, 18).

7.10 Valujen koneistus

Alumiini on helposti työstettävä materiaali, joten mekaaninen työstö voi olla taloudellista (Lukkari 2001, 96). Valuseosten lastuttavuus on suunnilleen samaa luokkaa kuin valssatuilla ja vedetyillä alumiiniseoksilla. Tämä riippuu kuitenkin lämpökäsittelystä. (Alumiini. Valaminen ja työstäminen. 1975, 48.) Koneistettavat kappaleet kannattaa tilata mahdollisimman kovina, esimerkiksi erkautuskarkaistuna, jolloin lastuttavuus on parempi (Koivisto ym. 2001, 174).

Alumiinia voidaan työstää helposti tavallisillakin työstökoneilla, mutta erikoiskoneilla saadaan taloudellisempi lopputulos pitkissä sarjoissa. Vaikka työstökoneen ominaislastuamisvoima alumiinille on vain noin 25 % teräkseen verrattuna, niin työstökoneelta vaaditaan 2 - 3 kertaa suurempi lastuamisteho. Alumiinin pehmeuden takia kappaleen kiinnitys työstökoneeseen on suoritettava huolellisesti (Alumiini. Valaminen ja työstäminen. 1975, 48). Kappaleeseen pitää suunnitella kiinnityspisteet, joista kappale kiinnitetään työstökoneeseen. Tämä voi aiheuttaa ylimääräisten osien suunnittelua kappaleeseen tai kappaleen pintojen muokkaamista. (Niemi 2010e, 1.)

Valukappale voidaan kiinnittää työstökoneeseen eri muotojen avulla. Tällaisia muotoja ovat T- ja V-muodot sekä kiinnitystuet. (Valukappaleet koneistuksen kannalta. 2002, linkit Kappaleen suunnittelu -> Koneistusta, kiinnitystä ja paikoitusta helpottavat muodot.) Kappaleen kiinnityksen periaatteina on, että kappale pitäisi pystyä koneistamaan yhdellä kiinnityksellä ja kiinnityksen tulisi olla mahdollisimman helppoa ja nopeaa (Valukappaleet koneistuksen kannalta. 2002, linkit Kiinnityksen suunnittelu -> Kiinnityksen suunnitteluohjeet). Kiinnityksen pitää olla varma ja yksinkertainen, sillä huono kiinnitys

valuvirheiden ohella voi aiheuttaa ongelmia koneistuksessa. Jos valukappale esimerkiksi paikoittuu vinoon työstökoneeseen, työstöjälki voi olla epätasainen. (Valukappaleet koneistuksen kannalta. 2002, linkit Kappaleen suunnittelu -> Valetun aihion ongelmia koneistuksessa -> Mittatarkkuus.) Myös suuret päästöt aiheuttavat ongelmia koneistukselle (Valukappaleet koneistuksen kannalta. 2002, linkit Kappaleen suunnittelu -> Valetun aihion ongelmia koneistuksessa -> Päästö). Koneistus voi myös laukaista kappaleen sisäisiä jännityksiä, jolloin kappaleeseen syntyy muodonmuutoksia (Valukappaleet koneistuksen kannalta. 2002, linkit Kappaleen suunnittelu -> Valetun aihion ongelmia koneistuksessa -> Valujännitykset).

Valukappaleiden koneistamista varten valukappaleisiin täytyy suunnitella työstövaroja. Työstövarojen koneistuksella kappaleesta poistetaan pintavirheet ja saatetaan kappale lopullisiin mittoihinsa. (Niemi 2010e, 1.) Alumiinin painevaluille suositeltava työstövara-aste on RMAG B - D (liite 7) (SFS-EN ISO 8062-3. 2007, 34). Työstövarojen lisäksi kappaleeseen voidaan valaa lastunkatkaisu-uria koneistamista helpottamaan (Valukappaleet koneistuksen kannalta. 2002, linkit Kappaleen suunnittelu -> Lastunkatkaisu-ura).

Joskus koneistuksen kannalta tarpeelliset asiat voivat aiheuttaa ongelmia valimolle tai muotinvalmistajalle. Kappaleeseen lisätty työstövara voi aiheuttaa kappaleeseen massakeskittymän tai vastapäästön tarpeen. Tämä aiheuttaa sen, että muotissa pitää käyttää kalliita keernoja tai kappale pitää jakaa useampiin osiin. Massakeskittymät lisäksi voivat aiheuttaa lisäjähdytyksen tarvetta. Kaikki nämä asiat aiheuttavat valuille lisäkustannuksia. (Niemi 2010e, 1.)

8 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin alumiinisten painevalukappaleiden suunnitteluun vaikuttavia asioita. Työn tarkoituksena oli tämän raportin lisäksi tuottaa työn tilaajalle alumiinin painevalujen suunnitteluprosessia nopeuttava suunnitteluohjeistus ja koulutus. Tilaajan toivomuksesta tätä suunnitteluohjeistusdokumenttia ei kuitenkaan julkaistu tämän raportin mukana. Työssä käsiteltiin painevalua valumenetelmänä, valettavia alumiiniseoksia, alumiinin jälkikäsitteilyä, valuvikoja sekä niiden tarkastusmenetelmiä ja alumiinisten painevalukappaleiden suunnitteluun liittyviä aihealueita. Lähtötietomuistiosta poiketen valamisen ja koneistuksen kustannusvertailu jätettiin pois tämän raportin sisällöstä.

Painevalu on kestopuotintimenetelmä, joka perustuu materiaalisulan puristamiseen korkealla paineella ja nopeudella kestopuottiin. Menetelmä on erittäin tarkka ja kallis. Tämä johtuu monimutkaisesta ja mittatarkasta kestopuotista. Painevalu soveltuu taloudellisista syistä yleensä vain tuhansien kappaleiden suursarjatuotantomenetelmäksi. Valukappaleet ovat yleensä pieniä ja monimutkaisia ei-rautametallisia kappaleita.

Valuviat mielletään enemmänkin valukappaleen ominaisuuksiksi kuin virheiksi, koska niiltä ei voida täysin välttyä. Kappaleen epätiivisyys ja kaasurakkulat ovat painevalujen yleisimpiä ongelmia. Näiltä voidaan välttyä valitsemalla valumateriaaliksi mahdollisimman juokseva alumiiniseos. Muita painevaluissa ilmeneviä valuvikoja ovat leikkausvirheet, imuvirheet, halkeamat ja purseet. Valukappaleiden huolellisella suunnittelulla pystytään merkittävästi vaikuttamaan valuvikojen määrään.

Puhdas alumiini on valumateriaalina vaikea valaa, sen on pehmeää ja lujuudeltaan suhteellisen heikkoa. Tämän takia alumiinia seostetaan. Alumiinin valuseoksista ja niiden merkitsemisestä on määrätty Suomen standardisoimisliiton standardeissa. Alumiinivaluseokset voidaan jakaa karkeneviin ja karkenemattomiin. Nämä voidaan vielä jakaa pienempiin ryhmiin

pääseosaineiden perusteella. Näitä pääseosaineita ovat pii, magnesium, kupari ja sinkki. Seostuksella alumiinista saadaan entistä lujempaa, valettavampaa ja paremmin korroosiota kestäväää.

Alumiinia voidaan jälkikäsitellä monella tavalla. Jälkikäsitelyillä voidaan muuttaa alumiinin mekaanisia ja visuaalisia ominaisuuksia siten, että kappale täyttää sille asetetut vaatimukset. Erkautuskarkaisu ja anodisointi ovat tunnettuja alumiinin jälkikäsitelymenetelmiä. Valukappaleen suunnittelussa on huomioitava myös jälkikäsitelymenetelmien tarpeet, jotta virheet jälkikäsitelyissä pystyttäisiin estämään.

Valukappaleen geometrian suunnittelussa tärkeimpiä huomioitavia asioita ovat valuasento ja jakopinta, muotin täytyminen, päästöt ja pyöristykset, seinämänpaksuus ja seinämien muoto sekä keernojen käyttö. Lisäksi valujen koneistus aiheuttaa kappaleelle omia rajoitteitaan. Painevaluille on erityisen tärkeää pitää seinämänpaksuus mahdollisimman vakiona, pyöristää nurkat ja käyttää asianmukaisia päästöjä. Sisäpuolisia vastapäästöjä vaativia muotoja ei voi suunnitella. Koska painealukappaleen suunnittelussa täytyy huomioida niin monia asioita, valukappaleen suunnittelu kannattaa aina suorittaa yhteistyössä valimon suunnittelijan kanssa.

LÄHTEET

Alumiini. Pintakäsittely. 1982. Tapiola: Oy Kodaprint Ab. SkanAluminium Pohjoismaisen alumiiniteollisuuden yhteistyöelin.

Alumiini. Valaminen ja työstäminen. 1975. Tapiola: Oy Kodaprint Ab. SkanAluminium Pohjoismaisen alumiiniteollisuuden yhteistyöelin.

Carlholt, E. 2009. Alumiiniseokset. Suomentanut Tuula Höök. Teoksessa Höök, Tuula – Bladh, Madeleine – Fredriksson, Stefan – Itävuori, Erkki – Meskanen, Seija – Nykänen, Sanna. Kestomuottivalujen suunnittelu. ValuAtlas. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/kestomuottivalutekniikka/index.html>. Hakupäivä 2.12.2012.

Chien-Lung, Chen 1997. Evaluation of aluminum die casting defects causing casting rejection during machining. The Ohio State University. Opinnäytetyö.

Fredriksson, S. 2010. Painevalukappaleen valettavuus. Muokannut ja suomentanut Tuula Höök, Pekka Savolainen. Teoksessa Höök, Tuula – Bladh, Madeleine – Fredriksson, Stefan – Itävuori, Erkki – Meskanen, Seija – Nykänen, Sanna. Kestomuottivalujen suunnittelu. ValuAtlas. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/kestomuottivalutekniikka/index.html>. Hakupäivä 2.12.2012.

Fredriksson, S. – Höök, T. – Nykänen, S. 2010. Kestomuottivalun suunnittelun perusteet. Teoksessa Höök, Tuula – Bladh, Madeleine – Fredriksson, Stefan – Itävuori, Erkki – Meskanen, Seija – Nykänen, Sanna. Kestomuottivalujen suunnittelu. ValuAtlas. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/kestomuottivalutekniikka/index.html>. Hakupäivä 2.12.2012.

Höök, T. 2009a. Kone- ja laiteympäristö. Teoksessa Höök, Tuula – Bladh, Madeleine – Fredriksson, Stefan – Itävuori, Erkki – Meskanen, Seija – Nykänen, Sanna. Kestomuottivalujen suunnittelu. ValuAtlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/kestomuottivalutekniikka/index.html>.

Hakupäivä 2.12.2012.

Höök, T. 2009b. Muotin perusrakenne. Teoksessa Höök, Tuula – Bladh, Madeleine – Fredriksson, Stefan – Itävuori, Erkki – Meskanen, Seija – Nykänen, Sanna. Kestomuottivalujen suunnittelu. ValuAtlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/kestomuottivalutekniikka/index.html>.

Hakupäivä 2.12.2012.

Höök, T. 2010. Jakolinja. Teoksessa Höök, Tuula – Bladh, Madeleine – Fredriksson, Stefan – Itävuori, Erkki – Meskanen, Seija – Nykänen, Sanna. Kestomuottivalujen suunnittelu. ValuAtlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/kestomuottivalutekniikka/index.html>.

Hakupäivä 2.12.2012.

Ihalainen, Erkki – Aaltonen, Kalevi – Aromäki, Mauri – Sihvonen, Pentti 2000. Valmistustekniikka. 8., muuttumaton painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Itävuori, E – Höök, T. 2009. Painevalu. Teoksessa Höök, Tuula – Bladh, Madeleine – Fredriksson, Stefan – Itävuori, Erkki – Meskanen, Seija – Nykänen, Sanna. Kestomuottivalujen suunnittelu. ValuAtlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/kestomuottivalutekniikka/index.html>.

Hakupäivä 30.11.2012.

Koivisto, Kaarlo – Laitinen, Esko – Niinimäki, Matti – Tiainen, Tuomo – Tiilikka, Pentti – Tuomikoski, Juho 2001. Konetekniikan materiaalioppi. 9., painos. Helsinki: Edita Oyj.

Kotschi, Ronald M. 1998. Casting Design. Teoksessa ASM Handbook Volume 15 Casting. 9., Painos. ASM International. S. 598 - 613.

Lukkari, Juha 2001. Alumiinit ja niiden hitsaus. Tampere: Tammerpaino Oy.

Meskanen, S. 2009. Valukomponentin suunnittelun perusteita. Teoksessa

Höök, Tuula – Meskanen, Seija – Orkas, Juhani – Tennilä, Paavo.

Suunnittelijan perusopas. ValuAtlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.html>.

Hakupäivä 2.12.2012

Meskanen, S. – Höök, T. 2009a. Valaminen koneenosan

valmistusmenetelmänä. Teoksessa Höök, Tuula – Meskanen, Seija – Orkas,

Juhani – Tennilä, Paavo. Suunnittelijan perusopas. ValuAtlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.html>.

Hakupäivä 30.11.2012.

Meskanen, S. – Höök, T. 2009b. Valumenetelmät. Teoksessa Höök, Tuula –

Meskanen, Seija – Orkas, Juhani – Tennilä, Paavo. Suunnittelijan perusopas.

ValuAtlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.html>.

Hakupäivä 30.11.2012.

Meskanen, S. – Höök, T. 2009c. Tarkastusmenetelmät. Teoksessa Höök, Tuula

– Meskanen, Seija – Orkas, Juhani – Tennilä, Paavo. Suunnittelijan perusopas.

ValuAtlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.html>.

Hakupäivä 2.12.2012

Meskanen, S. – Höök, T. 2009d. Valumateriaalit. Teoksessa Höök, Tuula –

Meskanen, Seija – Orkas, Juhani – Tennilä, Paavo. Suunnittelijan perusopas.

ValuAtlas. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.html>.

Hakupäivä 2.12.2012

Meskanen, S. – Höök, T. 2010. Rauta-, teräs- ja metallivalujen valuviat. Teoksessa Höök, Tuula – Meskanen, Seija – Orkas, Juhani – Tennilä, Paavo. Suunnittelijan perusopas. ValuAtlas. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.html>. Hakupäivä 2.12.2012

Mrazek, George 1992. Surface treatments for die cast parts. Machine Design 9.1.1992. S. 54.

Niemi, P. 2010a. Valukappaleen tarkastusmenetelmät. Teoksessa Niemi, Pekka. Jälkikäsitteilytekniikka. ValuAtlas. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/jalkikasittely_tao/index.html. Hakupäivä 2.12.2012.

Niemi, P. 2010b. Päästö (hellitys). Teoksessa Niemi, Pekka. Valun suunnittelutekniikka. ValuAtlas. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valun suunnittelu_tao/index.html. Hakupäivä 2.12.2012.

Niemi, P. 2010c. Valukappaleiden suunnittelu keernojen käytön kannalta. Teoksessa Niemi, Pekka. Valun suunnittelutekniikka. ValuAtlas. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valun suunnittelu_tao/index.html. Hakupäivä 2.12.2012.

Niemi, P. 2010d. Kappaleeseen valettavien merkintöjen sijoitus. Teoksessa Niemi, Pekka. Valun suunnittelutekniikka. ValuAtlas. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valun suunnittelu_tao/index.html. Hakupäivä 2.12.2012.

Niemi, P. 2010e. Valukappaleen suunnittelu koneistuksen kannalta. Teoksessa Niemi, Pekka. Valun suunnittelutekniikka. ValuAtlas. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valun suunnittelu_tao/index.html. Hakupäivä 13.12.2012.

Niemi, P. 2010f. Valuasento. Teoksessa Niemi, Pekka.

Valun suunnittelutekniikka. ValuAtlas. Saatavissa:

http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valun suunnittelu_tao/index.html.

Hakupäivä 13.12.2012.

Raaka-aine käsikirja 5. Alumiinit. 2006. Tampere: Tammer-Paino Oy. Teknologiateollisuus ry.

SFS-EN 1706. 2010. Alumiini ja alumiiniseokset. Valut. Kemiallinen koostumus ja mekaaniset ominaisuudet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1708-1. 2003. Alumiini ja alumiiniseokset. Uudelleen sulatettavien harkkojen, esiseosten ja valujen nimikkeet. Osa 1: Numeerinen nimikejärjestelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1708-2. 2003. Alumiini ja alumiiniseokset. Uudelleen sulatettavien harkkojen, esiseosten ja valujen nimikkeet. Osa 2: Kemialliseen koostumukseen perustuva nimikejärjestelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1780-3. 2003. Alumiini ja alumiiniseokset. Uudelleen sulatettavien harkkojen, esiseosten ja valujen nimikkeet. Osa 3: Kemiallisen koostumuksen esittämissäännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 8062-3. 2007. Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Muotilla valmistettujen kappaleiden mittatoleranssit ja geometriset toleranssit. Osa 3: Valukappaleiden mittojen yleistoleranssit, geometriset yleistoleranssit ja työstövarat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Sully, Lionel J.D. 1998. Die Casting. Teoksessa ASM Handbook Volume 15 Casting. 9., Painos. ASM International. S. 286 - 295.

Valujen taloudellinen käyttö. Osa 1 suunnitteluohjeita. 1998. Tekninen tiedotus 7/88. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy. Metalliteollisuuden keskusliitto.

Valujen taloudellinen käyttö. Osa 2 valumetallit. 1998. Tekninen tiedotus 7/88. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy. Metalliteollisuuden keskusliitto.

Valujen taloudellinen käyttö. Osa 3 valmistusmenetelmät. 1988. Tekninen tiedotus 7/88. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy. Metalliteollisuuden keskusliitto.

Valujen tuotantokustannusten pienentäminen valuteknisin keinoin. 1985. Tekninen tiedotus 25/85. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy. Metalliteollisuuden keskusliitto.

Valukappaleet koneistuksen kannalta. 2002. Tampereen kaupunki. Tampereen ammattiopisto. Valvomoinstituutti. Saatavissa: <http://koulut.tampere.fi/materiaalit/valimo2/etusivu.htm>. Hakupäivä 13.12.2012.

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Alumiinin painevalujen toleranssit

Liite 3 Alumiinin painevalujen geometriset toleranssit

Liite 4 Painevalettavia alumiiniseoksia

Liite 5 Alumiinin painevalujen suunnitteluohjeita

Liite 6 Valettavien kierteiden suunnitteluohjeita

Liite 7 Painevalun työstövara-asteet

Työn tiedot	Tekijä ¹ Tuomas Korhonen	Tilaja ² Elektrobit Wireless Communications Oy
	Tilajaan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³ Mikko Määttäniemi 0403443636 Sami Elo 0403445009	
	Työn nimi ⁴ Alumiinin painevalun suunnitteluohjeistus	
	Työn kuvaus ⁵ Työssä tutkitaan alumiinin painevalun suunnitteluun liittyviä keskeisiä ohjeita ja sääntöjä. Työ sisältää kuvaukset itse valumenetelmästä, erilaisista valettavista alumiiniseoksista, pinnoitusmenetelmistä, tyypillisimmistä suunnitteluongelmista sekä valuvioista ja niiden tarkistusmenetelmistä. Lisäksi verrataan esimerkkikappaleen avulla koneistuksen ja valamisen kustannuseroja.	
	Työn tavoitteet ⁶ Työn tavoitteena on tuottaa tilaajalle sisäiseen käyttöön tulevia ohjeistusdokumentteja ja koulutus, joiden avulla alumiinin painevalujen suunnitteluprosessia saadaan nopeutettua ja helpotettua.	
	Tavoiteaikataulu ⁷ Työ valmis 30.4.2013 mennessä. Tarkempi aikataulu liitteenä.	
Päiväys ja allekirjoitukset ⁸		
15/11/2012 Tekijän allekirjoitus <i>Tuomas Korhonen</i>	15/11/2012 Tilajan allekirjoitus <i>Sami Elo</i>	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite. 2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi. 3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta. 4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan. 5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat. 6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet. 7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa. 8. Lähtötietomuuisto päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaajan yhdyshenkilö 		

ALUMIININ PAINEVALUJEN TOLERANSSIT

LIITE 2

(SFS-EN ISO 8062-3. 2007, 30)

Painevalettavan alumiiniseoskappaleen suurin kokonaismitta (mm)	Toleranssiaste (DCTG)
≤ 50	6
> 50 ≤ 180	7
> 180 ≤ 500	8
> 500	9

(SFS-EN ISO 8062-3. 2007, 14)

Kappaleen nimellismitta	DCTG 6	DCTG 7	DCTG 8	DCTG 9
≤ 10	0,52	0,74	1	1,5
> 10 ≤ 16	0,54	0,78	1,1	1,6
> 16 ≤ 25	0,58	0,82	1,2	1,7
> 25 ≤ 40	0,64	0,9	1,3	1,8
> 40 ≤ 63	0,7	1	1,4	2
> 63 ≤ 100	0,78	1,1	1,6	2,2
> 100 ≤ 160	0,88	1,2	1,8	2,5
> 160 ≤ 250	1	1,4	2	2,8
> 250 ≤ 400	1,1	1,6	2,2	3,2
> 400 ≤ 630	1,2	1,8	2,6	3,6
> 630 ≤ 1 000	1,4	2	2,8	4
> 1 000 ≤ 1 600	1,6	2,2	3,2	4,6
> 1 600 ≤ 2 500	-	2,6	3,8	5,4
> 2 500 ≤ 4 000	-	-	4,4	6,2
> 4 000 ≤ 6 300	-	-	-	7
> 6 300 ≤ 10 000	-	-	-	-

Mitat on ilmoitettu millimetreinä. Seinämänpaksuuksille käytetään yhtä astetta suurempaa toleranssia

ALUMIININ PAINEVALUJEN GEOMETRISET TOLERANSSIT LIITE 3/1

(SFS-EN ISO 8062-3. 2007, 18 - 20)

Suoruustoleranssit			
Kappaleen nimellismitta	GCTG 2	GCTG 3	GCTG 4
≤ 10	0,08	0,12	0,18
> 10 ≤ 30	0,12	0,18	0,27
> 30 ≤ 100	0,18	0,27	0,4
> 100 ≤ 300	0,27	0,4	0,6
> 300 ≤ 1 000	0,4	0,6	0,9
> 1 000 ≤ 3 000	-	-	-
> 3 000 ≤ 6 000	-	-	-
> 6 000 ≤ 10 000	-	-	-

Tasomaisuustoleranssit			
Kappaleen nimellismitta	GCTG 2	GCTG 3	GCTG 4
≤ 10	0,12	0,18	0,27
> 10 ≤ 30	0,18	0,27	0,4
> 30 ≤ 100	0,27	0,4	0,6
> 100 ≤ 300	0,4	0,6	0,9
> 300 ≤ 1 000	0,6	0,9	1,4
> 1 000 ≤ 3 000	-	-	-
> 3 000 ≤ 6 000	-	-	-
> 6 000 ≤ 10 000	-	-	-

ALUMIININ PAINEVALUJEN GEOMETRISET TOLERANSSIT LIITE 3/2

(SFS-EN ISO 8062-3. 2007, 18 - 20)

Ympyrämäisyys-, yhdensuuntaisuus-, kohtisuoruus- ja symmetrisyystoleranssit			
Kappaleen nimellismitta	GCTG 2	GCTG 3	GCTG 4
≤ 10	0,18	0,27	0,4
> 10 ≤ 30	0,27	0,4	0,6
> 30 ≤ 100	0,4	0,6	0,9
> 100 ≤ 300	0,6	0,9	1,4
> 300 ≤ 1 000	0,9	1,4	2
> 1 000 ≤ 3 000	-	-	-
> 3 000 ≤ 6 000	-	-	-
> 6 000 ≤ 10 000	-	-	-

Sama-akselisuustoleranssit			
Kappaleen nimellismitta	GCTG 2	GCTG 3	GCTG 4
≤ 10	0,27	0,4	0,6
> 10 ≤ 30	0,4	0,6	0,9
> 30 ≤ 100	0,6	0,9	1,4
> 100 ≤ 300	0,9	1,4	2
> 300 ≤ 1 000	1,4	2	3
> 1 000 ≤ 3 000	-	-	-
> 3 000 ≤ 6 000	-	-	-
> 6 000 ≤ 10 000	-	-	-

Mitat on ilmoitettu millimetreinä.

PAINEVALETTAVIA ALUMIINISEOKSIA

LIITE 4

(SFS-EN ISO 1706-3. 2010, 32)

Seosryhmä	Seoksen nimike		Tilatu- nus	Murto- lujuus (Mpa) (min.)	Myötö- lujuus (Mpa) (min.)	Venym- ä (%) (min.)	Kovuus (HBW) (min.)
	Numeerinen menetelmä	Kemialliseen koostumukseen perustuva menetelmä					
Al	-	Al 99,6E	F	75	-	10	17
	-	Al 99,7E	F	75	-	10	17
AlSi10Mg	EN AC-43400	En AC-Al Si10Mg(Fe)	F	240	140	1	70
	EN AC-43500	En AC-Al Si10MnMg	F	250	120	5	65
			T5	270	150	4	80
			T7	200	120	12	60
AlSi	EN AC-44300	EN AC-Al Si12(Fe)	F	240	130	1	60
	EN AC-44400	EN AC-Al Si9	F	220	120	2	55
	EN AC-44500	EN AC-Al Si12(Fe)	F	240	140	1	60
AlSi9Cu	EN AC-46000	EN AC-Al Si9Cu3(Fe)	F	240	140	<1	80
	EN AC-46100	EN AC-Al Si11Cu2(Fe)	F	240	140	<1	80
	EN AC-46200	EN AC-Al Si8Cu3	F	240	140	1	80
	EN AC-46500	EN AC-Al Si9Cu3(Fe)(Zn)	F	240	140	<1	80
AlSi(Cu)	EN AC-47100	EN AC-Al Si12Cu1(Fe)	F	240	140	1	70
AlSiCuNiMg	EN AC-48100	EN AC-Al Si17Cu4Mg	F	220	160	<1	90
AlMg	EN AC-51200	EN AC-Al Mg9	F	200	130	1	70
	EN AC-51500	EN AC-Al Mg5Si2Mn	F	250	140	5	70

(Fredriksson 2010, 20)

Pienin pyöristyssäde (mm)	1
Pienin reiän halkaisija d (mm)	2,5
Pohjareiän suurin pituus (mm)	3-4 x d
Läpimenevän reiän suurin pituus (mm)	5-7 x d
Ulkokierteen pienin halkaisija (mm)	8-12
Ulkokierteen pienin nousu (mm)	1
Hammastuksen pienin jako	0,5 x moduuli

VALETTAVIEN KIERTEIDEN SUUNNITTELUOHJEITA LIITE 6

(Valujen taloudellinen käyttö. Osa 1 suunnitteluohjeita. 1998, 38)

Kierre	Suun halkaisija (mm)	Pohjan halkaisija (mm)	Reiän suurin syvyys (mm)	Kierteistämättä jäävä pituus reiän pohjassa (mm)	Kartiokulma (°)
M5	4,38	4,22	12	3,2	46
M6	5,22	5,02	15	4	46
M8	7,03	6,78	18	5	48
M10	8,83	8,54	24	6	42
M12	10,64	10,29	30	7	40
M16	14,44	14,05	36	8	37
M20	18,05	17,56	42	10	42
M24	21,66	21,08	48	12	42
W-1/4"	5,37	5,13	15	5,08	55
W-5/16"	6,85	6,58	18	5,64	52
W-3/8"	8,31	8,01	23	6,35	45
W-7/16"	9,72	9,37	26	7,26	46
W-1/2"	11,07	10,67	30	8,47	46
W-5/8"	14,1	13,66	36	9,24	42
W-3/4"	17,1	16,61	44	10,16	38

PAINEVALUN TYÖSTÖVARA-ASTEET

LIITE 7

(SFS-EN ISO 8062-3. 2007, 22)

Suurin kokonaismitta	RMAG B	RMAG C	RMAG D
≤ 40	0,1	0,2	0,3
> 40 ≤ 63	0,1	0,3	0,3
> 63 ≤ 100	0,2	0,4	0,5
> 100 ≤ 160	0,3	0,5	0,8
> 160 ≤ 250	0,3	0,7	1
> 250 ≤ 400	0,4	0,9	1,3
> 400 ≤ 630	0,5	1,1	1,5
> 630 ≤ 1 000	0,6	1,2	1,8
> 1 000 ≤ 1 600	0,7	1,4	2
> 1 600 ≤ 2 500	0,8	1,6	2,2
> 2 500 ≤ 4 000	0,9	1,8	2,5
> 4 000 ≤ 6 300	1	2	2,8
> 6 300 ≤ 10 000	1,1	2,2	3

Mitat on ilmoitettu millimetreinä.