

Alumiinikappaleen valuviat ja ominaisuudet

Swerea SWECAST - Madeleine Bladh

Käännös: Tuula Höök – Tampereen teknillinen yliopisto

Valuviat ovat kappaleessa olevia haitallisia materiaali- tai muotopoikkeamia. Ne johtuvat joko valumateriaalissa olleista virheistä, kappaleen konstruktiossa olleista virheistä tai valuprosessin aikana tehdyistä virheistä. Valuvikojen muodostuminen riippuu useista tekijöistä materiaalissa ja valuympäristössä. Niinkin kaukaa haettu tekijä kuin sääolosuhteet voi vaikuttaa valun onnistumiseen. Tekijöitä ovat esimerkiksi:

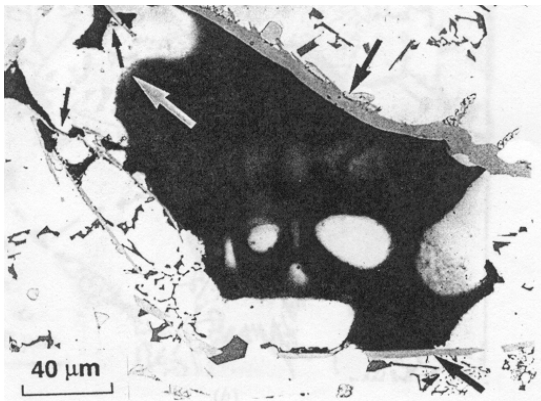
- Sulan puhtaus
- Materiaalin kiteytymisominaisuudet
- Muottipesän täyttäminen
- Valuseoksen ominaisuudet

Sulan puhtaus

Sulan puhtaus vaikuttaa valujen onnistumiseen erittäin paljon. Periaatteessa kaikki sulan joukkoon päätyneet epämetalliset ainesosat ovat haitaksi. Niistä voi muodostua metallimatriisiin sisään sulkeumia, esimerkiksi oksidi- tai boridisulkeumia. Sulkeumat eivät sulaudu täydellisesti ympäröivään matriisiin, vaan niiden alueelle muodostuu muuta ainetta heikompia kohtia. Kappaleen mekaaniset ominaisuudet huonontuvat ja sulkeumat voivat myöhemmin ydintää murtumia. Sulkeumat ydintävät myös kaasuhuokosia.

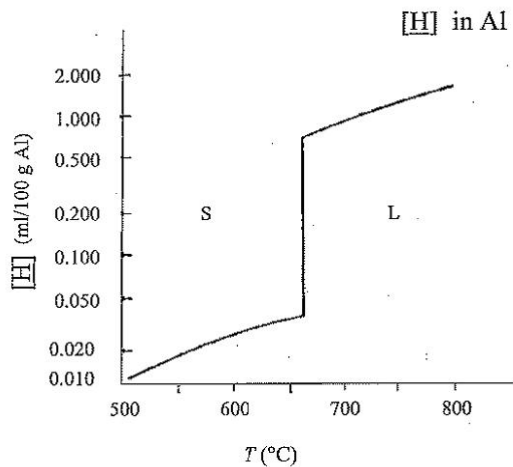
Raudan metalliyhdisteet voivat aiheuttaa yhdistefaasin muodosta johtuen paljon haittavaikutuksia (Kuva 1). Raudan metalliyhdistefaasi ottaa usein lastumaisen muodon, jota kutsutaan β -faasiksi. β -faasi estää sulaa virtaamasta vapaasti muotin sisällä. Muodostelmia kutsutaan myös rautaneuloiksi, koska ne muistuttavat neuloja mikroskooppianalyysejä varten valmistetuissa, kiillotetuissa näytekappaleissa. Rautaneulat voivat aiheuttaa syöttöongelmia muottipesän kaukaisissa osissa. Lisäksi ne voivat aiheuttaa pistohuokoisuutta (pin holes) ja muita pintavikoja. Neulat keräävät (sulun virtaussuunnassa katsottuna) taakseen kaasuja loukkuun ja toimivat siten kaasuhuokosten ydintäjinä.

Kuvassa 1 on neulan muotoisia rautafaaseja alumiini-pii –matriisiin sisällä. Rautaneulat näkyvät tumman harmaina muodostelmina. Alumiini ja pii näkyvät vaaleina alueina. Mustat nuolet esittävät sulan virtaussuuntaa. Rautaneulojen taakse muodostuu kutistumia ja kaasuhuokoisuutta, jotka näkyvät kuvassa mustina alueina. β -faasi heikentää materiaalia, koska se on rakenteeltaan haurasta ja tekee materiaalista yleisesti vähemmän sitkeää kuin jos materiaali olisi puhdasta.



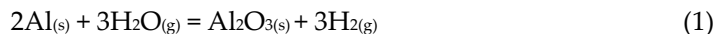
Kuva 1: Kutistumia ja kaasuhuokoisuutta neulamaisen metalliyhdistefaasin (β -faasin) takana Al-Si seoksessa.^[1]

Kaasuhoikoisuus ei aina johdu loukkuun jääneestä kaasusta. Se voi johtua myös sulaan liuenneesta vetykaasusta. Sula alumiini liuottaa vetyä huomattavasti enemmän kuin kiinteässä tilassa oleva alumiini, katso kuva 2. Sen vuoksi on tärkeää pyrkiä poistamaan prosessista kaikki vedyn lähteet.



Kuva 2: Vetykaasun H liukoisuus alumiiniin sulassa ja kiinteässä olomuodossa, paine 1atm. [2]

Vety on toinen veden (H₂O) komponenteista. Vettä on ilmassa vesihöyryn muodossa. Alumiiniuunin panos tulisi kuumentaa ennen uuniin asettamista, jotta harkkojen pinnalla mahdollisesti oleva vesihöyry ei pääsisi reagoimaan alumiinisulan kanssa ja muodostamaan helposti liukenevaa vetykaasua. Reaktio etenee seuraavan kaavan mukaisesti (1)



Samasta syystä on tärkeä pitää uunin ympäristön ilmankosteus mahdollisimman pienenä.

Alumiiniromusta koostuva panos tulee puhdistaa, jos sen pinnalla huomataan jäänteitä leikkuunesteistä tai muotin ruiskutusaineesta. Sulan joukkoon päässyt öljy kaasuuntuu. Jos kaasu jää sulan sekaan, se aiheuttaa kappaleisiin huokoisuutta. Tällä tavoin muodostuneiden kaasuhuokosten läheisyydestä löytyy usein merkkejä oksidifilmeistä.

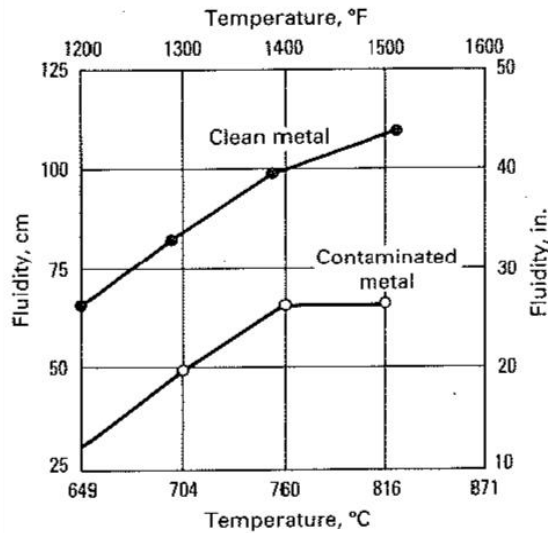
Jos sulan lämpötila on korkea, se liuottaa ympäröiviä kaasuja erityisen tehokkaasti. Myös sulakerroksen päällä olevasta kuonakerroksesta liukenee ainesosia. Happi muodostaa alumiinin kanssa oksideita, jotka kertyvät kalvoiksi ja muodostavat partikkeleita. Kemiallinen reaktio on esitetty alla olevassa kaavassa (2). Koska Al₂O₃ on hyvin stabiili, reaktio muodostuu helposti.



Kosteuden aiheuttamassa kemiallisessa reaktiossa (1) muodostuu vetykaasun lisäksi myös alumiinioksidia.

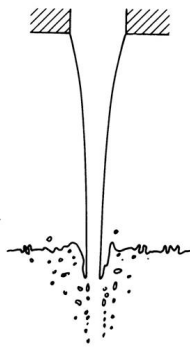
Oksidipartikkelit ovat pohjamateriaaliin verrattuna erittäin kovia ja niistä voi aiheutua ongelmia koneistamisen aikana. Kovat partikkelit kuluttavat teriä ja voivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa konerikon.

Sula, jossa on paljon kaasukuplia ja oksidifilmejä, juoksee huonommin kuin puhdas sula, katso kuva 3. Huonosti juokseva sula täyttää muotin hitaammin ja kappaleeseen voi muodostua erilaisia pintavikoja, kuten kylmäjuoksuja, pyörremäisiä jälkiä, laskostumista ja muita näkyviä virtausjälkiä.



Kuva 3: Likaantunut sula juoksee puhdasta sulaa huonommin.^[3]

Materiaali, jossa on runsaasti huokoisuutta, on tiheydeltään pienempi kuin huokoseton materiaali. Huokoinen valu voi menestyä vetolujuustestissä huonosti, koska koekappaleen poikkileikkauksessa on vähemmän kiinteää ainetta.



Sulan pinnan täytyisi kaikissa prosessin vaiheissa pysyä mahdollisimman rauhallisena. Pinnan turbulenssi lisää oksidoitumista ja kaasujen sekoittumista. Pinta sekoittuu, kun sulaa kaadetaan senkkaan tai senkasta uuniin ja joka kerta, kun sulan pinta rikotaan esimerkiksi kuonan kauhominen ja sulankäsittelyjen yhteydessä. Kaatokorkeus senkkaan ei saisi olla liian korkea. Katso kuva 4.

Kuva 4: Periaate, jolla liian suuri kaatokorkeus vaikuttaa ilman sekoittumiseen sulan joukkoon ja sulan oksidoitumiseen.^[4]

Oksidifilmit kasvavat kokoa ja kertyvät yhteen ajan kuluessa. Niiden tiheys kasvaa ja ennen pitkää ne vajoavat uunin pohjalle. Tästä syystä parhaat valut saadaan toisinaan aamulla, kun sula on saanut levätä rauhassa yön ajan ilman, että pintakerrosta on kauhottu rikki. Toisinaan koneistusongelmiin haetaan syytä väärästä suunnasta. Päivän kolmas sula-annos saattaa esimerkiksi aiheuttaa ongelmia ja syytä haetaan turhaan keskussulatosta. Keskussulatton sijaan voisi ongelmien syytä hakea kuumanapitouunista. Koneen vieressä olevassa kuumanapitouunissa on koko päivän ajan saatettu sekoittaa sulaa siten, että yön aikana pohjaan vajonneet oksidit ovat alkanet päätyä kappaleisiin.

Huonoa juoksevuutta yritetään melko usein korjata nostamalla sulan lämpötilaa. Periaatteessa keino on väärä. Useimpien kemiallisten reaktioiden nopeus kasvaa, kun reagoivien aineiden lämpötila nousee. Lämpötilan nostaminen nopeuttaa alumiiniseosten hapettumista ja lisää vetykaasun liukoisuutta sulaan. Vedyn liukoisuus kasvaa voimakkaasti lämpötilan noustessa. Sen lisäksi seosaineiden hävikki kasvaa, uunin käyttöaika lyhenee ja energiankulutus kasvaa. Seosaineita häviää sulan joukosta haihtumalla. Lämpötilan nostamisen sijaan kannattaisi kiinnittää erityistä huomiota sulan puhtauteen ja vasta seuraavaksi muuttaa kuumanapitouunin asetustilaa. Lämpötilamuutos voi olla perusteltu siinä tapauksessa, että valuseoksen koostumusta on muutettu siten, että jähmettymisväli ja jähmettymislämpötila ovat muuttuneet. Standardimenettelynä sitä ei tulisi käyttää.

Jotta sula saataisiin pysymään puhtaana, valimon täytyy huolehtia uunin ympärille mahdollisimman tasaiset olosuhteet. Uuni ja kaikki sulankäsittelyvälineet puhdistetaan aika-ajoin. Sulalle suoritetaan säännöllisesti puhdistuskäsittelyjä, joilla voidaan vähentää oksidien ja sulaan liuenneiden kaasujen määrää. Puhdistaminen tehdään juoksutusaineilla tai kaasulla huuhtelemalla (argon ja typpikaasu). Juoksutusaine reagoi sulaan sekoittuneen hapen kanssa ja nostaa sen kuonaksi pintaan. Kuona on helppo poistaa kauhomalla. Kaasuhuuhtelulaitteella sulaan johdettu kaasu toimii kantajakaasuna sulaan liuenneelle kaasulle. Vety liukenee kantajakaasun (Ar/N) kupliin sulan sijasta, nousee pintaan ja haihtuu.

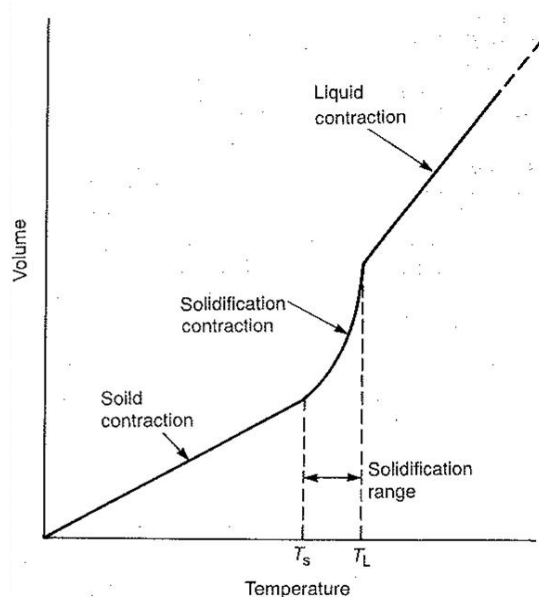
Sulan puhtauden varmistamiseksi on kiinnitettävä huomiota seuraaviin yksityiskohtiin:

- Virtauksen turbulenttisuus
- Ilmassa oleva kosteus
- Kosteaa panos, kosteat työkalut tai uunin vuorauksessa oleva kosteus
- Kierrätysromun osuus panoksessa
- Sulan lämpötila, erityisesti liian korkea lämpötila

Materiaalin kiteytymisominaisuudet

Materiaalin kiteytymisominaisuudet vaikuttavat merkittävästi valukappaleen ominaisuuksiin. Miltei kaikki valuseokset kutistuvat kiteytymisen (jähmettymisen) aikana. Metallisten materiaalien tiheys kasvaa, kun niissä tapahtuu faasimuutos sulasta kiinteään tilaan. Alumiiniseokset kutistuvat kaikkiaan noin 4 - 8% ja magnesiumseokset 9 - 12%. Kutistuman suuruus riippuu seoksen kemiallisesta koostumuksesta. Kutistuma kompensoidaan syöttämällä jähmettyvään kappaleeseen lisämetallia. Painevalukappale syötetään valuportin kautta valuisrun kolmannessa eli tiivistysvaiheessa. Kaikissa muissa yleisissä valumenetelmissä käytetään syöttökupuja.

Valumateriaali kutistuu koko valuprosessin ajan. Sulassa tilassa tapahtuu sulakutistuma ja kiteytymisen aikana kiteytymiskutistuma. Kiinteässä tilassa oleva kappale kutistuu lämpöpitenemiskerrointa vastaavan määrän. Kuvassa 5 on esitetty kaikki kolme kutistumisvaihetta. Kappaleen viimeksi jähmettyville alueille muodostuu dendriittien väliin kutistumahuokoisuutta. Myös liunneen kaasun aiheuttama kaasuhuokoisuus keskittyy kappaleen viimeksi jähmettyviin osiin. Kappale tulisi suunnitella siten, että viimeksi jähmettyvät osat olisivat kappaleen ulkopuolella, valukkeissa.



Kuva 5: Kappaleen kutistuminen valuprosessin aikana. *Liquid contraction* = sulakutistuma; *solidification contraction* = kiteytymiskutistuma; *solid contraction* = kiinteäkutistuma; *solidification range* = kiteytymisalue ^[4]

Kappaleesta tulisi poistua lämpöä suhteellisen tasaisesti joka puolelta. Jos jähmettyminen tapahtuu joillain alueilla nopeammin kuin muualla, kappaleeseen muodostuu helposti halkeamia. Halkeilu johtuu jähmettymisnopeuden aiheuttamista kutistumaeroista. Valukappaleissa esiintyy kahden tyyppisiä halkeamia: kuumahalkeamia ja kylmähalkeamia (kylmäaurasmurtuma). Kuumahalkeamat muodostuvat kiteytymiskutistumisen aikana, jolloin materiaali on vielä osittain sulaa. Ne johtuvat paikallisista jännityksistä. Jos jännitykset kasvavat riittävän suuriksi, materiaali halkeaa.

Kylmähalkeamia muodostuu jähmettymislämpötilaa matalammissa lämpötiloissa kiinteäkutistuman aiheuttamana. Kappale on tällöin jo kauttaaltaan jähmettynyt. Kylmähalkeamat muodostuvat paikallisten jännityshuippujen kohdalle, esimerkiksi kohtiin, joissa on sulkeuma tai oksidikalvo. Oksidikalvot ydintävät myös rasitusmurtumia.

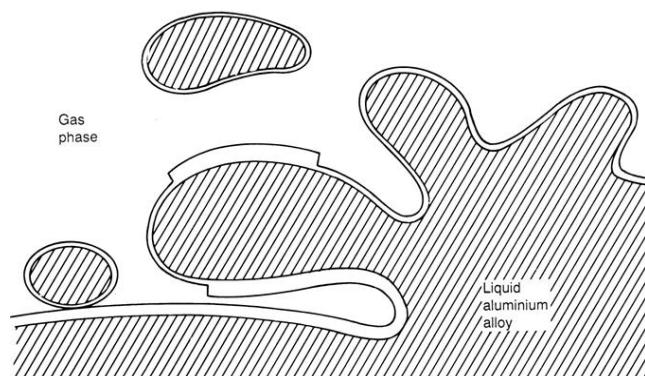
Jähmettymiskäyttäytymisen suhteen on kiinnitettävä huomiota seuraaviin ykstyiskohtiin:

- Jähmettymiskutistuman suuruus
- Kutistumahuokoisuus (imut)
- Kuumahalkeamat/jäännösjännitykset
- Kylmähalkeamat/jäännösjännitykset
- Oksidikalvot
- Sulkeumat

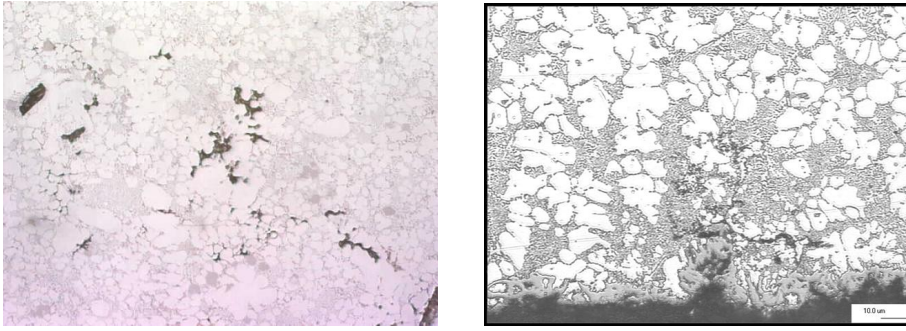
Muottipesän täyttäminen

Muottipesän täyttäminen on yksi valukappaleen onnistumisen perustekijöistä. Jos jokin täyttövaiheista epäonnistuu, valmiissa kappaleessa on todennäköisesti liian aikaisin jähmettyneitä, osin tyhjiä alueita. Kappaleeseen voi muodostua loukkuun jääneen ilman aiheuttamaa kaasuhuokoisuutta, jos muotin ilmanpoisto ei toimi kunnolla tai valukoneen valuiskun vaiheet on säädetty väärin. Koneen asettaja on voinut esimerkiksi säätää vaiheet liian nopeiksi, jolloin sulavirtauksesta tulee turbulenti.

Turbulenttiin virtaukseen muodostuu runsaasti oksidikalvoja, koska virtauksen pintakerros on rikkonainen. Oksidikalvo muodostuu välittömästi, kun paljas, oksidoitumaton kerros sulaa tulee esille. Ilmiön periaate on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6: Periaatekuva turbulentin virtauksen taipumuksesta muodostaa runsaasti uusia oksidikalvoja. Sulan pintakerrokseen muodostuu hyvin nopeasti oksidikalvo, joka suojaa sulaa enemmältä oksidoitumiselta. Kun kalvo rikkoontuu, muodostuu välittömästi uusi kalvo siihen, missä paljas sula kohtaa ilman. Oksidikalvot ja loukkuun jäänyt ilma heikentävät materiaalia. Kaksokerroksinen oksidikalvo ei sulaudu kokonaan yhteen. Kohta on ihanteellinen rasitusmurtuman ydintymiselle. [4]



Kuva 7: Kutistumahuokoisuutta alumiiniseoksessa. Kutistumahuokoisuus on muodostunut oksidikalvojen kohdalle. ^[1]

Lämpötilalla on oma vaikutuksensa. Se ei saa olla liian korkea, mutta ei liian matalakaan. Kappale jäähmettyy helposti liian aikaisin, jos valulämpötila on matala. Kappaleeseen voi muodostua erilaisia kylmävikoja, kuten vajaata täyttymistä, kylmäpoimuja tai esimerkiksi kerrostumista. Kylmävikoja voi muodostua myös siinä tapauksessa, että muotin valujärjestelmä ei toimi kunnolla tai valuisku on huonosti asetettu. Kappaleesta, jossa on kylmävikoja, löytyy helposti myös imuvikoja tai kutistumahuokoisuutta. Kuvassa 7 on kiillotettu näyte, jossa on oksidikalvojen ympärille kertynyttä kutistumahuokoisuutta.

Muottin täyttymisen kannalta tärkeitä yksityiskohtia ovat:

- Muotin valujärjestelmä
- Valuiskun asettaminen ja kaasunpoisto
- Sulan lämpötila
- Sulan juoksevuus

Valuviat

AFS (American Foundrymen's Society) luokittelee valuviat seitsemään ryhmään. Ryhmät jakaantuvat edelleen alaryhmiin.

Valuvikaryhmät ovat:

- A – Ulkonemat
- B – Huokoset ja ontelot
- C – Epäjatkuvuuskohtat
- D – Pintaviat
- E – Täyttymisviat
- F – Muoto- ja mittaviat
- G – Sulkeumat ja rakennepoikkeamat

Kappaleessa oleva valuvika määritetään ja nimetään luokittelun mukaisesti, mutta tiettyä luokittelua tärkeämpää on tietää, miksi jokin vika on muodostunut ja mitä suunnittelija ja valimo voivat tehdä, että vikaa ei ilmenisi enää jatkossa.

Lähteet

1. Jonas Bäckman, *Aluminiumgjutlegeringar*, Presentationsmaterial metallurgikurs 080512
2. Hasse Fredriksson, Ulla Åkerlind, *Materials Processing during Casting*, 2006 John Wiley & Sons Ltd. ISBN 978-0-470-01514-8
3. ASM Speciality Handbook, *Aluminium and Aluminium Alloys*, ISBN 0-87170-496-X
4. John Campbell, *Castings second edition*, 2003 Butterworth-Heinemann, Elsevier Ltd. ISBN 978-0-7506-4790-8
5. Ingmar Svensson, Ingrid Svensson, *Karlebo Gjuteriteknisk Handbok*, ISBN 91-631-6158-3
6. S. G. Ledell, et al., "*Guidelines*" För Utformning av Gjutna Komponenter, Gjuteriföreningen 050701.
7. William G. Walkington, *Die Casting Defects, Troubleshooting Guide*, 1997 NADCA.