LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan koulutusohjelma
BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

TERÄSVALUN JA HITSATUN RAKENTEEN VERTAILU
COMPARISON OF STEEL CASTING AND WELDED STRUCTURE

Lappeenrannassa 5.5.2014
Iiro Karvinen

SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1 JOHDANTO 4
1.1 Työn taustaa 4
1.2 Tavoite ja työn rajaus 5
2 TERÄSVALU 6
2.1 Kertamuottimenetelmät 7
2.2 Kaavaushiekat ja sideaineet 10
2.3 Kestomuottimenetelmät 11
2.4 Valuteräksen hitsattavuus ja valettavuus 12
2.5 Teräsvalun jälkikäsittely 13
3 HITSATUT RAKENTEET 15
3.1 MIG/MAG-hitsaus 15
3.2 TIG-hitsaus 16
3.3 Puikkohitsaus 17
3.4 Jauhekaarihitsaus 18
4 TERÄSVALUN JA HITSATUN RAKENTEEN VERTAILU 19
4.1 Hitsatun rakenteen ja teräsvalun etuja ja haittoja 19
4.2 Yleiset hitsausvirheet 21
4.3 Valuvirheet 23
4.4 Rakenteiden kustannusten vertailu 24
4.5 Teräsvalun ja hitsatun rakenteen suunnittelu 26
5 TUOTE-ESITTELY 29
5.1 Teräsvalu 29
5.2 Hitsattu rakenne 30
6 JOHTOPÄÄTÖKSET 31
7 YHTEENVETO 33
LÄHTEET 34

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

°C	Celsiusaste
A_3	lämpötila, jonka yläpuolella seostamaton teräs on austeniittia
3D	kolmiulotteinen
AFS	American Foundry Society, Amerikan Valimoyhdistys
CAD	computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu
DCTG	Dimensional casting tolerance grade, valun toleranssiluokka
EN	Eurooppalainen standardi
GS240	valuteräs, jonka vähimmäismyötölujuus on 240 MPa
HAZ	heat affected zone, hitsin muutosvyöhyke
ISO	kansainvälinen standardisoimisjärjestö
MAG	metallikaasukaarihitsaus aktiivisella suojakaasulla
MET	Metalliteollisuuden keskusliitto
MIG	metallikaasukaarihitsaus inertillä suojakaasulla
MPa	megapascal
S355	rakenneteräs, jonka vähimmäismyötölujuus on 355 MPa
SFS	Suomen standardisoimisliitto
TIG	volframi-inerttikaasukaarihitsaus
TWI	The Welding Institute, hitsausinstituutti

1 JOHDANTO

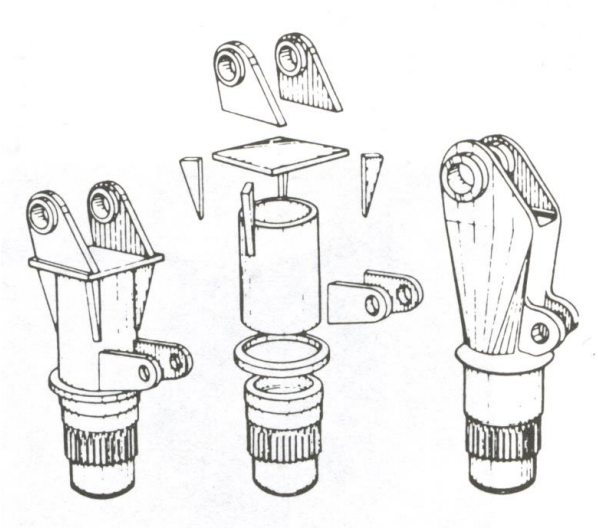
Tuotteen kokonaiskustannukset määräytyvät suurelta osin jo suunnitteluvaiheessa. Näin ollen on tiedostettava tuotteen valmistusmenetelmä, jotta suunnittelussa voidaan huomioida kunkin valmistusmenetelmän vaatimat erityispiirteet. Eri valmistusmenetelmät vaativat eri asioiden huomioimista suunnitteluvaiheessa.

Työssä tutkitaan teräsvalua ja hitsattua rakennetta, sekä esitellään molempien yleisiä valmistusmenetelmiä. Valmistusmenetelmistä esitellään hiekkavalaminen, sekä hitsausmenetelmät TIG-, MIG/MAG-, puikko- ja jauhekaarihitsaus. Työssä vertaillaan teräsvalun ja hitsatun rakenteen etuja, haittoja, rajoituksia, kustannuksia, sekä tyypillisiä valmistusvirheitä. Lisäksi tarkastellaan rakenteen suunnittelussa huomioitavia tekijöitä molempien valmistusmenetelmien kannalta. Vertailu suoritetaan yleisellä tasolla, eikä vertailua ota kantaa tietyn rakenteen tai tuotteen yksityiskohtiin.

1.1 Työn taustaa

Teollisuudessa samaan käyttötarkoitukseen suunniteltu kappale voidaan valmistaa muun muassa hitsaamalla, valamalla tai näitä molempia yhdistelemällä. Valmistusmenetelmän valintaan vaikuttaa kappaleen muoto, koko ja tuotantomäärä. Nykyään valuterästen käyttö on lisääntynyt. Esimerkiksi metsäkoneiden valmistuksessa valuteräksestä tehdään sekä pieniä että isoja valuosia.

Kuvassa 1 on esimerkkinä metsänosturin puominkiinnike, joka voidaan valmistaa joko hitsaamalla osista tai valamalla. Kuvasta 1 huomataan, että kappaleen valmistusmenetelmä vaikuttaa kappaleen muotoiluun, mutta kappaleiden yleisolemus on kuitenkin samankaltainen. Muotoilun avulla helpotetaan kappaleen valmistusta.



Kuva 1. Metsänosturin puominkiinnike, vasemmalla osista hitsattu ja oikealla valamalla valmistettu (Ihalainen et al., 2005, s. 99).

1.2 Tavoite ja työn rajaus

Tavoitteena on selventää teräsvalun ja hitsatun rakenteen eroja ja täten helpottaa kappaleen tai kappaleen osien valmistusmenetelmän valintaa. Työssä esitellään tyypillinen teräsvalukappale ja tyypillinen hitsattu rakenne. Rakenteet on valittu siten, että hitsatun rakenteen valmistaminen valamalla ja teräsvalun valmistaminen hitsaamalla on lähes mahdotonta.

Työssä ei suoriteta käytännön kokeita. Työssä käsitellään valamista kerta- ja kestomuottien osalta. Kertamuottimenetelmissä keskitytään hiekkamuotteihin, koska teräsvalut valmistetaan yleensä hiekkavalamalla. Kestomuottimenetelmät esitellään vain karkeasti. Hitsausmenetelmistä esitellään karkeasti MIG/MAG-, TIG-, puikko- ja jauhekaarihitsaus. Työssä ei kuitenkaan keskitytä hitsaukseen tai valamiseen, vaan hitsattujen rakenteiden ja teräsvalujen vertailuun.

2 TERÄSVALU

Valamisella tarkoitetaan muodonantomenetelmää, jossa raaka-aine sulatetaan. Sula kaadetaan muottiin, jossa sen annetaan jäähtyä haluttuun muotoon. Valaminen on lyhin tie sulasta metallista valmiiseen kappaleen muotoon. Samalla se on myös energiataloudellisesti edullinen. Valaminen perustuu suurilta osin kierrätykseen ja raaka-aineena käytetään paljon romua, joten säästetään raaka-ainetta ja energiaa. (Meskanen, 2009b, s. 1,2.)

Meskasen (2009b, s. 2) mukaan valaminen valmistusmenetelmänä koostuu nykyään seuraavista vaiheista:

1) 3D-CAD- suunnittelu ja valuteknisten seikkojen huomioonottaminen
2) valujärjestelmän suunnittelu
3) valutuotteen ja sen valujärjestelmän mallintaminen ja simulointi
4) valumallin ja -muotin valmistus
5) metallin sulatus ja sulankäsittelyt: seostaminen sekä sulan puhdistus- ja modifiointikäsittelyt (kaasunpoisto, ymppäys, tiivistys, grafiitin pallottaminen jne.)
6) valaminen ja sulan jähmettyminen sekä muotin purku
7) valutuotteen jälkikäsittely (viimeistely): valukkeiden, syöttökupujen jne. poisto, pinnanpuhdistus, pintakäsittelyt jne.

Valumenetelmät jaetaan kerta- (hiekka-, keraami- ja kipsimuotit) ja kestomuottimenetelmiin. Kertamuottimenetelmissä käytetään valun jälkeen hajotettavaa kertamuottia ja kestomuottimenetelmissä muottia voidaan käyttää jopa tuhansiin valukappaleisiin. Valuteräkset valetaan yleensä hiekkamuotteihin. (Meskanen & Höök, 2013, s. 1.)

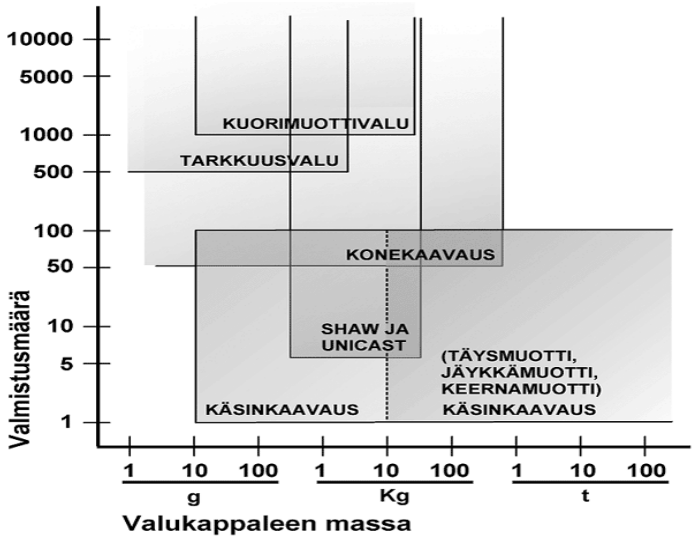
Valuteräkset ovat rauta-hiiliseoksia, jotka jaetaan niukka- (0,05–0,25 % C), keski- (0,25–0,60 % C) ja runsashiilisiin (0,60–2,10 % C) hiilipitoisuutensa perusteella. Niukkahiiliset teräkset sopivat näistä parhaiten hitsaukseen ja ovat hinnaltaan edullisia. Tästä syystä seostamattomien niukkahiilisten terästen valmistusosuus on yli puolet kaikista valuteräksistä. Yleisille valuteräskappaleille sopivat samat hitsausmenetelmät kuin normaaleille rakenneteräksillekin, esimerkiksi rakenneteräs S355:lle. (MET Raaka-aine käsikirja 2, 2001, s. 157.)

Yleensä käytetyt valuteräkset ovat niukkahiilisiä ja niukkaseosteisia. Seosaineina käytetään mangaania (Mn), kromia (Cr), molybdeenia (Mb) ja nikkeliä (Ni). Näitä teräksiä käytetään, kun käyttöympäristö ei aseta suuria vaatimuksia mekaanisen tai kemiallisen rasituksen suhteen. Valettujen rakenneteräksien hinta on alhaisempi verrattuna seostettuihin valuteräksiin tai erittäin puhtaisiin lujiin hitsattaviin valuteräksiin. (Meskanen & Höök, 2009a, s. 2.)

Teräsvaluja valettaessa metalli kutistuu jäähtyessään. Kutistuma on niukkaseosteisilla 1,8–2,2 % ja runsasseosteisilla 1,5–2,7 %. Valukappaleen mallin mitoituksessa on huomioitava kutistuma ja työvarat, minkä takia valumalli on mitoitettavaa kappaletta suurempi. Kutistumaan vaikuttaa sulan koostumus, valulämpötila, mallin koko ja muoto sekä mahdollisten keernojen käyttö. (Pohjalainen, 1997, s. 10-11.)

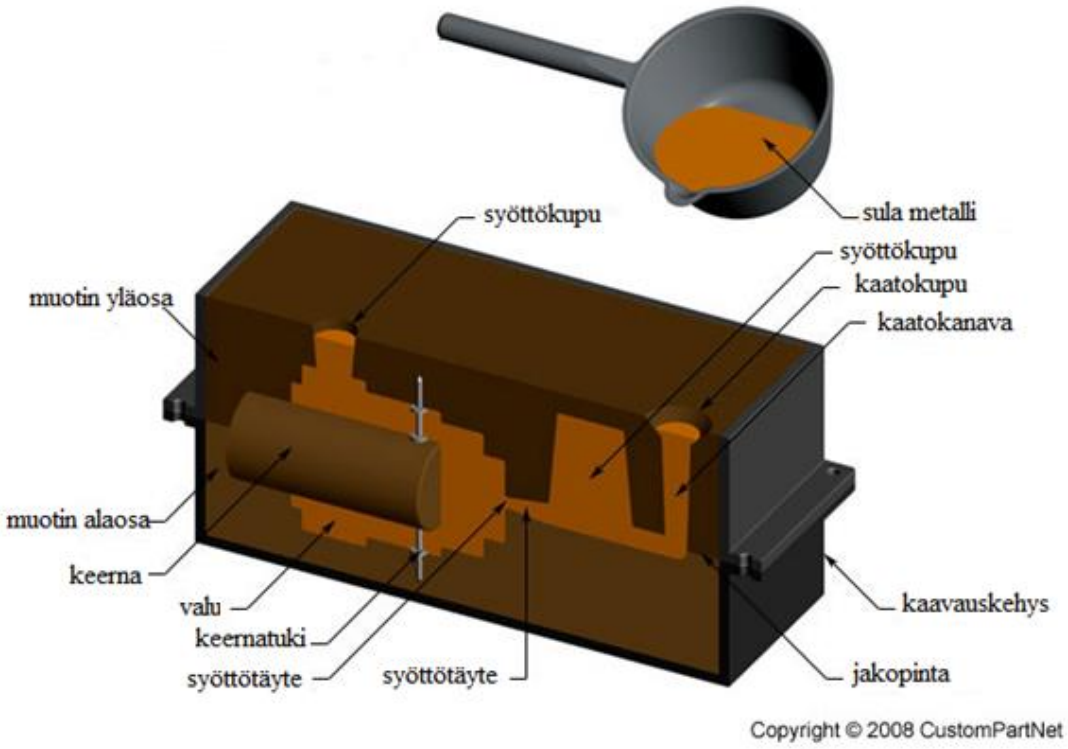
2.1 Kertamuottimenetelmät

Kertamuotin valmistus vaatii aina mallin, joka voidaan tehdä puusta, hartsista, muovista, vahasta tai metallista. Materiaalin valinta vaikuttaa valmistuskustannuksiin ja kestävyyteen. Metallimalli on kallis, mutta se voi kestää yli 50.000 kaavausta. Epoksihartsimalleilla voidaan päästä yli 10.000 kappaleen sarjoihin. Lisäksi malli on helppo monistaa ja uusia, mikäli mallinegatiivi säilytetään. Puusta valmistetut mallit ovat edullisia, mutta niillä päästään vain noin tuhanteen kaavauskertaan. Vahamallit ovat kertakäyttöisiä. Kuvassa 2 on esitelty erilaisten kertamuottien käyttöalueet. (Meskanen & Höök, 2013, s. 1-3.)



Kuva 2. Kertamuottien käyttöalueet (Meskanen & Höök, 2013, s. 1).

Muotin täyttäminen sulalla metallilla edellyttää täyttöjärjestelmää. Metallisula virtaa kaatoaltaan tai -suppilon, kaatokanavan, jakokanavien ja valukanavien kautta muottionteloon. Kanavisto kaavataan muottiin samanaikaisesti kuin muottiontelokin, ja myös kanaviston osat vaativat omat mallinsa. Sulan kutistumisen vuoksi käytetään myös syöttöjärjestelmää. Sen tarkoitus on syöttää valukappaleeseen sula- ja jähmettymiskutistumaa vastaava määrä sulaa metallia. Syöttökuvut varastoivat sulaa metallia ja luovuttavat sitä valukappaleen jähmettymisen aikana. Kuvassa 3 esitellään hiekkamuotti, jossa näkyy täyttöjärjestelmä. (Ihalainen et al., 2005, s. 77-78.)



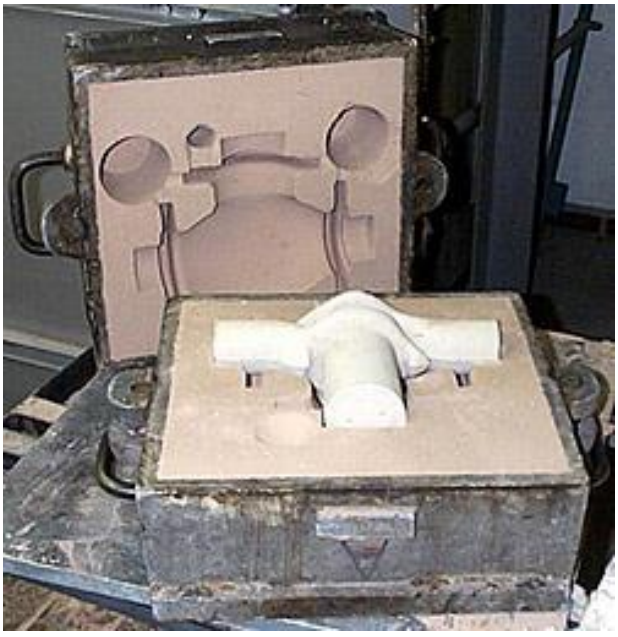
Kuva 3. Hiekkamuotti ja sen täyttöjärjestelmä (muokattu lähteestä CustomPartNet, 2014).

Sulan metallin virtausta voidaan helpottaa syöttötäytteiden avulla. Paikallista jäähtymistä voidaan nopeuttaa tai hidastaa jäähdytyskappaleiden ja eristävien aineiden avulla. Täyttöjärjestelmä ja syöttökuvut täyttyvät metallilla, ja ne on poistettava lopullisesta valukappaleesta. (Ihalainen et al., 2005, s. 77-78.)

Muotinpuolikkaan seinämissä, jotka joutuvat mallin irrotuksen aikana liukumaan seinämiä

pitkin, on oltava viistettä eli päästöä. Näin malli voidaan irrottaa ilman muotin vaurioitumista. (Ihalainen et al., 2005, s. 77.)

Kaavaus tarkoittaa työvaihetta, jossa kaavaushiekasta muotoillaan valumallien avulla kertamuotti kappaleen valamista varten. Kaavaus tehdään kaavauskehyksiin. Valumallin puolikas sijoitetaan kehään ja se ympäröidään hiekalla joko käsin tai koneellisesti sullomalla. Kuvassa 4 esitellään kaavauskehykseen kaavattu hiekkamuotti. Muotin jälkikäsittelyä kutsutaan peitostamiseksi. Peitostamisessa muotin sisäpinnat peitetään ohuella tulenkestävällä aineella. Tulenkestävä aine sekoitetaan lietteeksi vesi- tai alkoholipohjaiseen nesteeseen ja levitetään muotin pinnalle. Peitoste kuivataan uunissa tai polttamalla. Peitostuksen tarkoitus on estää kaavaushiekan palaminen kiinni valukappaleeseen. Peitostuksen jälkeen asetetaan keernat onttojen kappaleiden sisäonteloiden valmistusta varten. Lopuksi kehät kootaan päällekkäin, jolloin saadaan lopullinen muotti. Pintaa, jota pitkin eri kehyksiin kaavatut muotinosat liittyvät toisiinsa, kutsutaan jakopinnaksi. (Meskanen & Höök, 2013, s. 3-5.)



Kuva 4. Kaavauskehykseen kaavattu hiekkamuotti ja keerna (Meskanen & Höök, 2009b, s. 3).

Mittatarkkuuden parantamiseksi on mahdollista käyttää suurpainekaavausta, jossa kaavauskoneen ominaispuristusteho on 1,0–1,5 MPa. Puristusteho on tavallisissa

kaavauskoneissa enintään 0,3 MPa. Valuteräksiä valettaessa käytetään yleensä hiekka- tai keraamimuotteja, jolloin muottimateriaalit kestävät valuteräksen sulamiseen vaaditun lämpötilan. (Meskanen & Höök, 2013, s. 4.)

Keernoja käytetään, jos valettavan kappaleen rakenne on liian monimutkainen, eikä sitä voida toteuttaa pelkän valumallin avulla. Usein keernoja käytetäänkin onteloiden ja pitkien reikien valmistukseen. Keernat sijoitetaan muottiin kaavattujen keernasijojen varaan. Keernat valmistetaan yleensä kromiittihiekasta. (Ihalainen et al., 2005, s. 77.)

2.2 Kaavaushiekat ja sideaineet

Eniten käytetty kaavaushiekka on kvartsihiekka sen edullisuuden takia. Muita hiekkoja ovat oliviini-, kromiitti- ja zirkonihiekat. Niitä käytetään, jos kvartsihiekan ominaisuudet eivät ole riittävät valun suorittamista varten. Kaavaushiekat on esitelty taulukossa 1. Hiekan valintaan vaikuttavat valettava metalli, kappaleen koko, pintavaatimukset, kaavausmenetelmä ja sideaine. (Meskanen, 2009c, s. 1-2.)

Taulukko 1. Eri hiekkalaatujen ominaisuuksia (Meskanen, 2009c, s. 5).

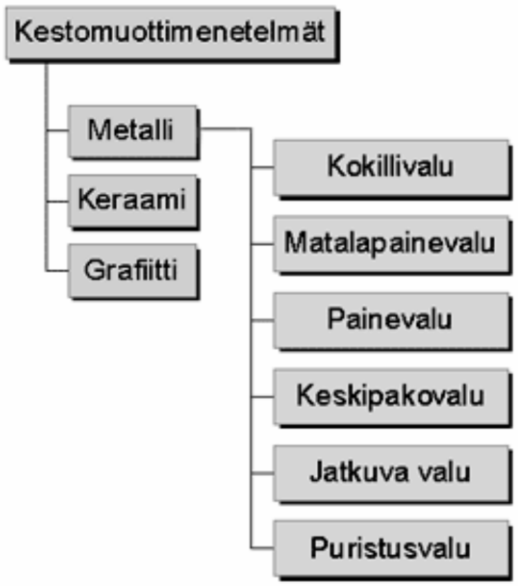
Hiekkalaatu	**Kvartsihiekat**	**Oliviinihiekat**
Päämineraali	kvartsi SiO_2	oliviini Mg_2SiO_4 + Fe_2SiO_4
Tiheys (g/cm^3)	2,65	3,25–3,3
Tilavuuspaino (sullottuna)	1,5–1,7	1,9–2,1
Puhtaan mineraalin sulamispiste (°C)	1700	1750
Kaupallisten laatujen sintraantumispiste (°C)	1250–1500	1370–1500
Lineaarinen laajeneminen 1000 °C:ssa	1,80 %	1.37 %
Hiekkalaatu	**Kromiittihiekat**	**Zirkonihiekat**
Päämineraali	kromiitti FeO(32 %) Cr_2O_3(68 %)	zirkoni $ZrSiO_4$
Tiheys (g/cm^3)	4,45–4,55	4,60–4,70
Tilavuuspaino (sullottuna)	2,6–2,9	2,6–2,9
Puhtaan mineraalin sulamispiste (°C)	1780–1900	2400–2550
Kaupallisten laatujen sintraantumispiste (°C)	1450–1500	>1500
Lineaarinen laajeneminen 1000 °C:ssa	0,75 %	0,35 %

Valuterästen valamisessa peitostaminen on suuressa roolissa, koska kvartsihiekka palaa helposti kiinni valukappaleen pintaan. Muiden hiekkojen käyttö tai kiinnipalaneen hiekan irrottaminen tulee kalliimmaksi kuin kunnollinen peitostaminen. (Meskanen, 2009c, s. 3-5.)

Sideaineita käytetään, jotta hiekan rakeet kiinnittyvät paremmin toisiinsa. Tämä edesauttaa muotin kasassa pysymistä. Käytettyjä sideaineryhmiä ovat savisideaine (bentoniitti), kemiallisesti kovettuvat epäorgaaniset (sementti, vesilasi) ja kemialliset kovettuvat orgaaniset sideaineet (furaani- ja fenolihartsit). Vesilasilla tarkoitetaan kvartsin ja soodan seosta, joka on liuotettu veteen. Furaanihartsien käyttöä sideaineena tulee välttää valuteräksien yhteydessä, koska sen typpipitoisuus voi aiheuttaa kapillaarihuokosia teräsvaluun. (Meskanen, 2009c, s. 5-8.)

2.3 Kestomuottimenetelmät

Kestomuottimenetelmien taloudellinen käyttö edellyttää sarjatuotantoa. Valumuotti valmistetaan yleensä metallista ja sillä voidaan valaa useita kappaleita. Valumenetelmä ja valettava metalli vaikuttavat muotin käyttöikään. Valulämpötilan kohoaminen lyhentää muotin käyttöikää. Kuvassa 5 esitellään eri kestomuottimenetelmät. (Meskanen & Höök, 2009b, s. 1-2).



Kuva 5. Kestomuottimenetelmien jako (Meskanen, 2009d, s. 1).

Valumuotin kestävyys rajoittaa sen käyttöä lähes ainoastaan ei-rautametallien valamiseen, joita ovat pääsääntöisesti messingit, alumiini-, sinkki- ja magnesiumseokset. Taulukosta 2 voidaan nähdä, mikä kestomuottimenetelmä sopii millekin materiaalilla ja mistä raaka-aineesta menetelmän muotti tyypillisesti valmistetaan. Metallimuottimenetelmillä valuihin saadaan parempi mittatarkkuus kuin hiekkamuottimenetelmillä. Syynä voidaan pitää nopeampaa jähmettymisaikaa, jonka ansiosta mikrorakenne on hienojakoinen ja mekaaniset ominaisuudet ovat parempia. Valuteräksien valaminen metallimuotteihin ei ole yleistä, koska mikrorakenteesta ei tule suotuisaa liian nopean jähmettymisen takia. (Meskanen & Höök, 2009b, s. 1-2.)

Taulukko 2. Kestomuottimenetelmät ja eri menetelmillä valettavat materiaalit (Meskanen, 2009d, s. 1).

Menetelmä	**Muotin raaka-aine**	**Valettava metalli**
kokillivalu	valurauta tai teräs, joskus alumiini, pronssi tai kupari	messinki, alumiinipronssi, alumiiniseokset, valurauta ja teräs
matalapaine- eli pien-painevalu	valurauta, teräs tai grafiitti	alumiini-, kupari- ja magnesiumseokset, valurauta ja teräs
painevalu	teräs	alumiini-, sinkki-, magnesium-, tina- ja lyijyseokset ja messinki
keskipakovalu	valurauta tai teräs	kaikki valettavat metallit
jatkuva valu	valurauta, teräs, kupari tai grafiitti	kaikki valettavat metallit
puristusvalu	valurauta tai teräs	kaikki valettavat metallit
valu keraamisiin muotteihin	erilaiset keraamiset massat	kaikki valettavat metallit
valu grafiittimuotteihin	sähkögrafiitti tai grafiittimassat	valurauta-, teräs-, titaani- ja sinkkiseokset

2.4 Valuteräksen hitsattavuus ja valettavuus

Niukkahiiliset valuteräkset sopivat hitsattaviksi. Niihin pätevät lähes samat hitsausparametrit kuin yleisiin rakenneteräksiin. Yleisesti voidaan todeta, että valuteräksen hitsattavuus on samalla tasolla kuin saman kemiallisen koostumuksen omaava muu valssattu teräs. (MET Raaka-aine käsikirja 2, 2001, s. 157.)

Standardin EN 10293 mukaan esimerkiksi hitsattaessa GS240 valuterästä, suositellaan esilämmitystä 20–150 °C ja suurimmaksi välipalkolämpötilaksi 350 °C. Jälkilämpökäsittelyä

ei tarvita. Esilämmityksen tarve on riippuvainen hitsattavan kappaleen seinämänpaksuudesta ja muodosta. (SFS – EN 10293, 2005, s. 22.)

Valuteräksen valettavuus ei ole yhtä hyvä kuin valuraudan. Syinä voidaan pitää valuteräksen korkeampaa sulamislämpötilaa ja voimakkaampaa kutistumista. Lisäksi valuteräs ei ole yhtä juoksevaa kuin valurauta. Tämän takia on varmistettava, että sula täyttää valumuotin, jotta vältytään valuvirheiltä. (Meskanen & Höök, 2009a, s. 1-3.)

2.5 Teräsvalun jälkikäsittely

Sulan jähmettymisen jälkeen valukappale irrotetaan muotista. Kertamuottiin valetut kappaleet irrotetaan rikkomalla muotti, esimerkiksi hydraulisella ulosvetimellä. Valuteräksisille kappaleille suoritetaan usein seuraavat jälkikäsittelytoimenpiteet (Ihalainen et al., 2005, s. 96):

- keerna- ja muottijätteiden poisto
- valukkeiden poisto
- jakopintapurseen, valukkeiden jäännösten ja muun ylimääräisen aineen poisto
- lämpökäsittely.

Valukappaleen pinnasta irrotetaan muotista tai keernoista tarttunutta hiekkaa. Käytettyjä keinoja ovat sinkopuhdistus, talttaus ja rummutus. Valukkeet ovat syöttökupuihin ja valukanavistoon sulanutta metallia. Polttoleikkaus on yleinen tapa irrottaa valukkeet valuteräksistä. Jakopintapurse ja muu ylimääräinen aine poistetaan normaalisti hiomakoneella. Suurien kappaleiden purseenpoistossa käytetään myös talttausta. Vialliset kohdat avataan hiomalla tai hiilikaarella polttamalla ja täytetään tarvittaessa viimeistelyhitsauksella. (Ihalainen et al., 2005, s. 94-96.)

Yleisimpiä valuterästen lämpökäsittelymenetelmiä ovat (Niemi, 2010a, s. 2):

- normalisointi
- nuorrutus
- karkaisu ja päästö
- pehmeäksihehkutus
- jännityksenpoistohehkutus.

Niukkahiilisiä teräksiä käytetään yleensä normalisoituina, mutta usein myös jännityksenpoistohehkutus on tarpeen. Niukkahiiliset teräkset ovat hyvin hitsattavia hiilipitoisuuden ollessa alle 0,25 % ohuilla ja alle 0,2 % paksuilla kappaleilla. Normalisoinnin tarkoitus on mikrorakenteen ja raerakenteen tasaaminen ja hienontaminen. Tämä parantaa teräksen lujuus- ja sitkeysominaisuuksia. Valamisen jälkeen kiderakenne on mahdollisesti epätasainen ja raerakeet suuria. Tällöin teräksen sitkeys laskee ja teräs muuttuu jopa hauraaksi. Myös mahdolliset suuret korjaushitsaukset vaativat teräskappaleen normalisoinnin. Normalisoinnissa teräs kuumennetaan austeniittialueelle noin 30–50 °C:ta A_3-rajan yläpuolelle. Pitoajan jälkeen kappaleen annetaan jäähtyä vapaasti ilmassa. (Niemi, 2010a, s. 4-7.)

3 HITSATUT RAKENTEET

Hitsauksella tarkoitetaan prosessia, jossa osia liitetään toisiinsa lämpöä ja/tai puristusta hyödyntäen niin, että liitetyt osat muodostavat jatkuvan yhteyden. Teollisuudessa käytössä olevia kaarihitsausmenetelmiä ovat muun muassa MIG/MAG-, TIG-, puikko- ja jauhekaarihitsaus. MIG/MAG-hitsaus on nykyään yksi yleisimmistä teollisuudessa käytettävistä hitsausmenetelmistä. Syynä voidaan pitää mekanisoitavuuden, automatisoinnin ja robotisoinnin helppoutta, sekä mahdollisuutta päästä keskisuurista suuriin hitsiaineen tuottoihin. MIG/MAG-hitsaus on puoliautomaattista hitsausta, koska langansyöttölaite syöttää hitsauslankaa jatkuvasti lankakelasta hitsauspistooliin. (Esab, 2014.)

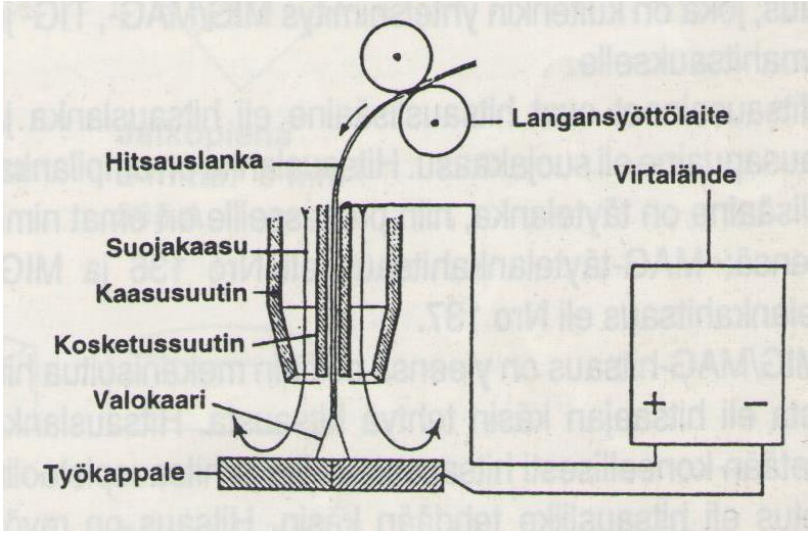
Hitsatun rakenteen aikaansaaminen edellyttää kappaleiden esivalmistelua, kuten levyjen leikkaamista, taivuttamista ja railojen valmistusta. Esivalmistelun tarkoitus on helpottaa hitsausta siten, että muodostuva liitos on onnistunut. Onnistumisella tarkoitetaan hitsiä, jossa ei ilmene epäjatkuvuutta tai poikkeamaa hitsin muodossa ja liitetyt osat on kohdistettu oikein. (Esab, 2013; Suomen hitsausteknillinen yhdistys r.y., 2014, s. 91.)

Edellä mainitut hitsausmenetelmät soveltavat erilaisia menetelmiä suojata hitsi hitsauksen aikana. Hitsiä suojaavia tekniikoita ovat suojakaasu, puikonpäällyste ja rautajauhe. Niiden tehtävä on suojata kaaritila ja hitsisula ilmassa olevan hapen, vedyn ja typen haittavaikutuksilta, luoden edellytykset valokaaren toivotunlaiselle palamiselle. Mikäli hitsisulaa ei suojata hitsauksen yhteydessä, voi syntyvään hitsiin tulla huokosia, hitsipinnan hapettumista ja seosaineiden poispalamista. (Lukkari, 1997, s. 159, 196-197; Lepola & Makkonen, 2005, s. 110.)

3.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsauksessa valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välillä suojakaasun ympäröidessä valokaarta. Hitsi syntyy, kun sulaa metallia siirtyy hitsauslangan kärjestä pisaroina hitsisulaan. Hitsauslankaa syötetään valokaareen tasaisella nopeudella hitsauspistoolin lävitse. Valokaari syttyy, kun hitsauslanka koskettaa hitsattavaa kappaletta. Tällöin tapahtuu oikosulku ja syntyvä oikosulkuvirta sulattaa ja höyrystää langan kärjen, mikä on edellytys valokaaren synnylle. Kuvasta 6 nähdään MIG/MAG-hitsauksen toimintaperiaate.

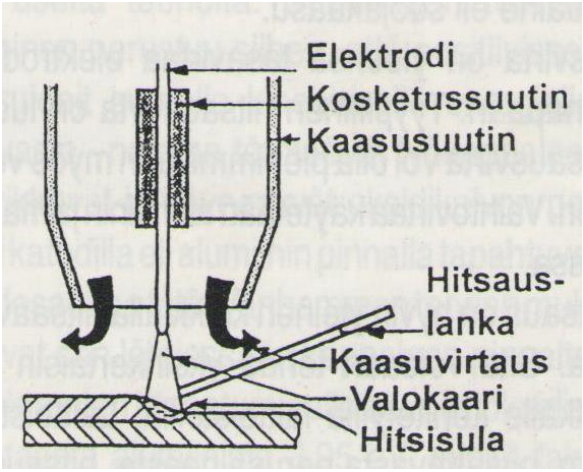
MIG-hitsausta käytetään ei-rautametallien hitsaukseen ja MAG-hitsausta terästen hitsaukseen. Yksinkertaisimmillaan MIG/MAG-hitsauslaitteisto koostuu virtalähteestä, langansyöttölaitteistosta, maadoituskaapelista, hitsauspistoolista, mahdollisesta jäähdytysyksiköstä ja suojakaasupullosta tai kaasuverkkoliitännästä. (Lukkari, 1997, s. 159-160, 177-182.)



Kuva 6. MIG/MAG-hitsauksen toimintaperiaate (Lukkari, 1997, s. 159).

3.2 TIG-hitsaus

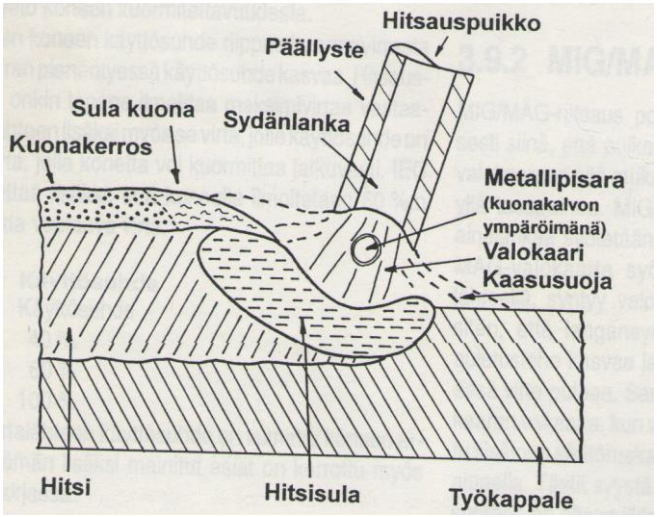
TIG-hitsauksessa käytetään elektrodia ja inerttiä suojakaasua, argonia, heliumia tai näiden seoskaasua. Valokaari muodostuu volframielektrodin ja perusaineen välille suojakaasun ympäröidessä kaaritilaa. Valokaari sulattaa työkappaletta, jolloin hitsisula muodostuu. Kuvassa 7 esitetään TIG-hitsauksen toimintaperiaate. Lisäainelanka tuodaan erikseen hitsisulaan, mutta sen käyttö ei ole välttämätöntä. Prosessilla voidaan sulattaa ja hitsata perusainetta ilman erillistä lisäainetta. Suurin ero muihin kaarihitsausprosesseihin on sulamaton elektrodi, sillä muissa prosesseissa lisäaine toimii sulavana elektrodina. TIG-hitsauslaittesto koostuu lähes samoista osista kuin MIG/MAG-hitsauslaitteisto, eli virtalähteestä, ohjausyksiköstä, suojakaasulaitteistosta, maadoituskaapelista ja hitsauspistoolista. (Lukkari, 1997, s. 249.)



Kuva 7. TIG-hitsauksen toimintaperiaate (Lukkari, 1997, s. 249).

3.3 Puikkohitsaus

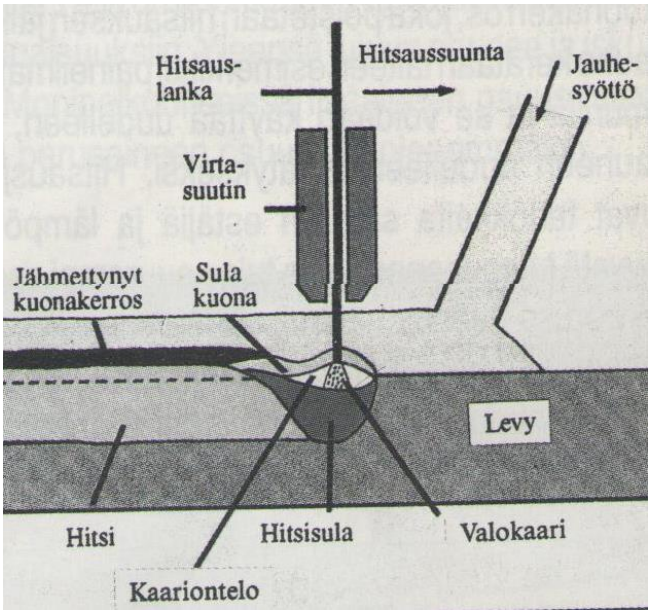
Puikkohitsauksessa valokaari palaa puikon ja työkappaleen välillä. Suojakaasua ei tarvita, koska puikon päällyste toimii vastaavana suojana kaaritilalle. Hitsauksen aikana sydänlanka sulaa ja luovuttaa lisäainetta sulan kuonan ympäröiminä pisaroina hitsisulaan. Tästä syystä hitsin jäähtyessä sen pinnalle muodostuu poistettava kuonakerros. Puikkohitsauksen toimintaa selventää kuva 8, josta voidaan nähdä puikkohitsauksen toimintaperiaate. Puikot jaetaan rutiili-, emäs- ja hapanpäällysteisiin. Puikkohitsauslaitteisto koostuu virtalähteestä, verkkokaapelista, virtakaapelista, puikonpitimestä, maadoittimesta ja maadoituskaapelista. Puikkohitsausta käytetään usein korjaushitsauksiin, koska laitteistoa on helppo liikutella ja puikkojen kirjo on laaja. (Lukkari, 1997, s. 88, 92.)



Kuva 8. Puikkohitsauksen toimintaperiaate (Lukkari, 1997, s. 88).

3.4 Jauhekaarihitsaus

Jauhekaarihitsauksessa valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välissä kaariontelossa rautajauheen alla. Rautajauhe korvaa suojakaasun käytön. Osa jauheesta sulaa hitsauksen aikana muodostaen poistettavan kuonakerroksen kappaleen pinnalle. Osa jauheesta voidaan kierrättää ja käyttää uudelleen. Lisäaineen siirtyminen tapahtuu pieninä tai suurina pisaroina yleensä ilman oikosulkua. Pisaran koko on riippuvainen käytetystä hitsausvirrasta. Valokaari ei ole näkyvä, kuten muissa hitsausmenetelmissä. Kuvassa 9 esitellään jauhekaarihitsauksen toimintaperiaate. Jauhekaarihitsauslaitteisto koostuu virtalähteestä, hitsauspäästä, hitsauspään asetuslaitteista, langansyöttö- ja oikaisulaitteista, jauheen käsittelylaitteesta ja ohjausyksiköstä. Lisäksi menetelmä vaatii erillisen hitsausapulaitteen, joka voi olla esimerkiksi hitsaustraktori tai hitsaustorni. (Lukkari, 1997, s. 121, 140.)



Kuva 9. Jauhekaarihitsauksen toimintaperiaate (Lukkari, 1997, s. 121).

4 TERÄSVALUN JA HITSATUN RAKENTEEN VERTAILU

Tässä kappaleessa vertaillaan teräsvalun ja hitsatun rakenteen eri ominaisuuksia. Vertailun tarkoitus on antaa tietoa menetelmien eroista ja niiden kustannuksista. Tämän perusteella on helpompi tehdä päätös onko tuote kannattavaa tehdä hitsaamalla tai valamalla.

4.1 Hitsatun rakenteen ja teräsvalun etuja ja haittoja

Hitsatun rakenteen etuja ovat (Lukkari, 1997, s.177; Lepola & Makkonen, 2005, s.143; Ovako, 2012, s. 4.):

- Mahdollisuus tehdä eripariliitoksia ja sijoittaa rakenteeseen eri materiaalia eri kohtiin tarpeen mukaan. Esimerkiksi jokin kohta rakenteesta voidaan tehdä kestämään paremmin kulutusta kuin rakenteen muut kohdat.
- Hitsaus on mahdollista lähes kaikissa asennoissa. Tämän perusteella voidaan valmistaa monimutkainen rakenne.
- Ohutlevyjen hitsaus. Lämmöntuontia säätelemällä voidaan hitsata myös ohuita, alle 4mm levyrakenteita onnistuneesti.
- Hitsattu rakenne ei vaadi aina jälkikäteen suoritettua lämpökäsittelyä.
- Rakenteen muokattavuus on helpompaa verrattuna teräsvaluun.

Haittoja ovat

- Kaaritila on arka vedolle ja tuulelle. Ilmavirta puhaltaa suojakaasun pois valokaaren ympäriltä, jolloin hitsatusta liitoksesta ei tule toivotunlaista. Liitoksessa voi ilmetä esimerkiksi huokosia tai vajaata tunkeumaa.
- Materiaalin mikrorakenne muuttuu aina hitsauksen yhteydessä. Tällöin hitsausliitoksen hitsiaineen ja perusaineen väliin syntyy HAZ-alue eli muutosvyöhyke. Muutosvyöhykkeen rakennemuutokset vaikuttavat teräksen ominaisuuksiin, kuten kylmähalkeilutaipumukseen, lujuuteen ja kovuuteen.
- Hitsaus jättää aina jälkensä rakenteen liitoksiin. Liitoksen jälkikäsittely hiomalla lisää rakenteen kustannuksia.
- Kaarihitsaus jättää perusaineen ja hitsausliitoksen väliin rajapinnan.

Teräsvalun tärkeimpänä etuna on muotoilun vapaus. Tällöin rakenteeseen saadaan haluttu lujuus ja jäykkyys yksinkertaisin menetelmin, mikä usein merkitsee myös painonsäästöä. Kappaleeseen kohdistuva rasitus antaa raamit kappaleen profiilille. Jos kappaleeseen ei kohdistu vääntörasitusta, on mahdollista käyttää avointa rakennetta, joka on suljettua kotelorakennetta halvempi. Mikäli rakenteeseen kohdistuu vääntörasitusta, on jäykkyys-paino-suhteen perusteella kannattavaa käyttää rakenteessa suljettua onteloprofiilia. (Ihalainen et al., 2005, s. 97-98.)

Valuteräksien yleisiä etuja ovat (MET Raaka-aine käsikirja 2, 2001, s. 156-157; Meskanen, 2009a, s. 1-3.):

- Kappaleen koko ja muoto eivät aiheuta suuria rajoituksia. Valaminen sopii niin pienille kuin suurillekin kappaleille. Monimutkainen kappale edellyttää hyvää suunnittelua, jotta sula metalli täyttää muotin onnistuneesti.
- Valukappaleet ovat yleensä jäykempiä kuin vastaavasta valssatusta teräksestä tehdyt kappaleet. Syynä voidaan pitää valun kiderakennetta. Lisäksi hyvä muotoilumahdollisuus sallii aineen sijoittamisen kohtiin, jotka vaativat suurta lujuutta. Vastaavasti kohdat, joissa samaa lujuutta ei tarvita, voidaan valaa ohuemmiksi.
- Valaminen on lyhin tie raaka-aineesta valmiiseen tuotteeseen. Tämä edellyttää hyvää suunnittelua, jotta työstön määrä ja jälkikäsittely jäävät vähäiseksi.
- Mahdollisuus liittää teräsvaluosia toisiinsa ja teräksistä valmistettuihin osiin yhdysrakenteiksi. Liittämismenetelmänä voidaan käyttää hitsaamista.
- Työstössä syntyvät jätteet on mahdollista sulattaa ja käyttää uudelleen. Näin voidaan säästää raaka-ainetta. Teräsvaluilla saanto on normaalisti 50–80 %.
- Massatuotanto on kannattavaa, sovelluskohteita ovat esimerkiksi auton moottorit
- Suuren yksittäisen monimutkaisen kappaleen valmistus on mahdollista. Joskus kappale on kokonsa ja muotonsa vuoksi järkevä valmistaa valamalla, vaikka tuotantomäärä olisi pieni.

Teräsvalun haittoja ja rajoituksia ovat (MET Raaka-aine käsikirja 2, 2001, s. 156-157; Meskanen, 2009a, s. 1-3.):

- Vaaditut tulenkestävät materiaalit ja hiekat ovat kalliita. Lisäksi muotti täytyy peitostaa valuteräksen korkean sulamispisteen takia.
- Suuri energian kulutus sulatuksessa ja lämpökäsittelyssä, joka on välttämätön

valuteräksille.

- Valulämpötilat ovat korkeita, jopa 1500–1600 °C. Liian kylmä teräs ei täytä muottia tarpeeksi hyvin ja liian kuuma saa muottihiekan palamaan kiinni valukappaleen pintaan.
- Valukappaleen pinta ei aina ole riittävän sileä. Pinnanlaadun parannus nostaa kustannuksia.
- Valukappaletta ei aina voida valaa tarpeeksi ohueksi, jolloin seurauksena on liian painava kappale ja hinnan kasvu. Yleensä seinämän paksuus yli 6 mm.
- Kappaleen poikkipintaiset äkilliset muutokset ja suuret ainekeskittymät eivät ole suotavia. Tästä syystä valaminen sanelee osittain kappaleen muodon ja aiheuttaa mahdollisesti ylimäärästä suunnittelutyötä.
- Valukappaleet täytyy normalisoida ja usein myös jännityksenpoistohehkutus on tarpeen, johtuen valun sisäisistä jännityksistä.
- Valumallien, muottien ja keernojen valmistus on kallista, eritoten pienissä tuotantoerissä. Lisäksi syntyy varastointikustannuksia, mikäli mallit halutaan säilyttää.
- Valukappaleen puhdistus voi olla työlästä. Keernojen ja valuhiekan kiinnipalamisen riski on aina olemassa. Usein joudutaan jättämään koneistettava työstövara.

4.2 Yleiset hitsausvirheet

Hitsausvirheitä tarkasteltaessa on tärkeää ottaa huomioon virheen merkitys liitoksen kestävyydelle, eli on tiedettävä virheen luonne, liitoksen rasitustapa ja virheen sijainti rasituksen suuntaan nähden. Vaarallisimpia virheitä rakenteen kestävyyden kannalta ovat tasomaiset halkeamatyyppiset virheet. Hitsausvirheet voidaan ryhmitellä kuuteen ryhmään (Lukkari, 2002, s. 3-4.):

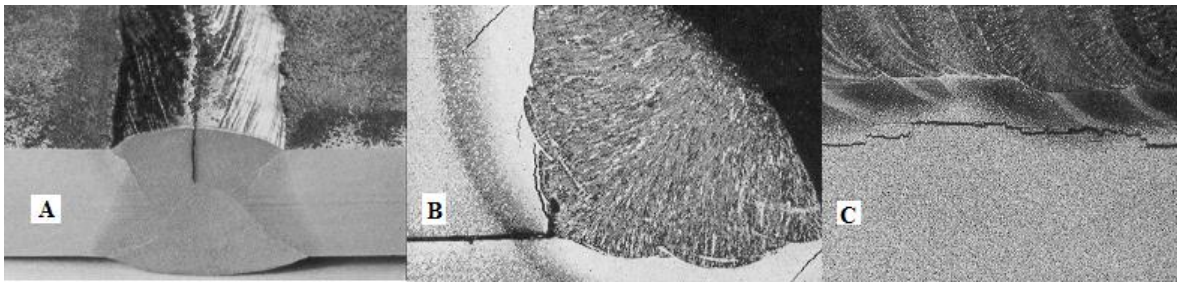
- halkeamat
- ontelot
- sulkeumat
- liittymisvirheet
- muoto- ja mittavirheet
- muut virheet.

Halkeama on yleensä teräväkärkinen ja kapea murtuma, joka aiheutuu jäähtymisen ja/tai

jännityksen takia. Yleisiä halkeamia ovat kuuma- ja kylmähalkeama, sekä lamellirepeily. Standardit eivät salli halkeamia hitseissä. Kuumahalkeama on usein hitsin keskilinjalla oleva pitkittäishalkeama. Se syntyy korkeassa lämpötilassa jähmettymisen yhteydessä, mistä syystä murtopinta voi olla sinertävän hapettunut. Kuumahalkeama ei aina ulotu pintaan asti, minkä takia sitä voi olla vaikea havaita silmämääräisellä tarkastelulla. Kuumahalkeamia voi esiintyä kaikissa teräksissä. (Lukkari, 2002, s. 5-6.)

Vety- eli kylmähalkeama syntyy yleensä muutosvyöhykkeen alueelle hitsin jäähtyessä alle 150 °C lämpötilaan. Halkeama muodostuu usein vasta tuntien kuluttua hitsauksesta. Muutosvyöhykkeen karkea mikrorakenne ja liitoksen jännitykset edesauttavat halkeamien syntyä. Kylmähalkeamat ovat yleensä sularajan suuntaisia, pituuksien vaihdellessa muutamasta millimetristä jopa koko hitsin pituisiksi. Kylmähalkeamia esiintyy yleensä karkenevissa teräksissä, joihin voi muodostua martensiittia hitsauksen yhteydessä. (Lukkari, 2002, s. 8; Suomen Hitsausteknillinen yhdistys r.y., 2014, s. 111.)

Lamellirepeämiä esiintyy yleensä levyjen pienahitseissä, joiden materiaalia kuormitetaan paksuussuunnassa. Repeämää esiintyy niin ohuissa kuin paksuissakin levyissä ja ne ovat tyypillisesti hitausliitoksen levyisiä. Kuvasta 10 voidaan nähdä kolme tyypillistä halkeamaa kuuma- ja kylmähalkeama, sekä lamellirepeämä. Tavallisesti lamellirepeämä syntyy jo valmistusprosessin aikana. (Suomen Hitsausteknillinen yhdistys r.y., 2014, s. 116-117.)



Kuva 10. A) Kuumahalkeama, B) kylmähalkeama ja C) lamellirepeämä (TWI, 2014).

Kaasuontelot eli huokoset ovat hitsiaineeseen jääneiden kaasujen muodostamia ja täyttämiä pallomaisia onteloita. Huokosia voi esiintyä yksittäin, ryhmissä, jonossa tai tasaisena huokoisuutena hitsissä. Standardit sallivat tietyn määrän huokoisuutta hitausliitoksessa, kunhan huokosia ei esiinny hitsin juuressa. (Lukkari, 2002, s. 10.)

Liittymisvirhe tarkoittaa, että hitsiaine ja perusaine eivät ole liittyneet täydellisesti yhteen, vaan niiden välissä on sulamaton alue. Näitä ovat muun muassa liitosvirhe railokyljessä tai palkojen välissä ja vajaa hitsautumissyvyys. (Lukkari, 2002, s. 11-12.)

Hitsauksen aikana kappaleeseen syntyy muodonmuutoksia, jotka aiheutuvat hitsin jähmettymisen aikana syntyneistä sisäisistä jännityksistä. Jännityksien vähentäminen onnistuu oikealla hitsausjärjestyksellä. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että hitsataan symmetrisesti kappaleen keskiviivan ympäri, jolloin lämpö jakautuu symmetrisesti. (Suomen Hitsausteknillinen yhdistys r.y., 2014, s. 94.)

4.3 Valuvirheet

Valuvirheellä tarkoitetaan puutetta valukappaleen rakenteessa, tosin täydellisen valutuotteen valmistus on lähes mahdotonta. Sallittujen valuvirheiden laatu ja määrä ovat kappalekohtaisia. Tähän vaikuttaa kappaleelle asetetut vaatimukset, joita voivat olla esimerkiksi lujuus-, koneistus- ja ulkonäkövaatimukset, sekä mitta- ja muototoleranssit. Valukappaleissa esiintyviä valuvirheitä on listattu taulukkoon 3. (Meskanen & Höök, 2010, s. 1-2.)

Taulukko 3. Valuvirheet (Meskanen & Höök, 2010, s. 1).

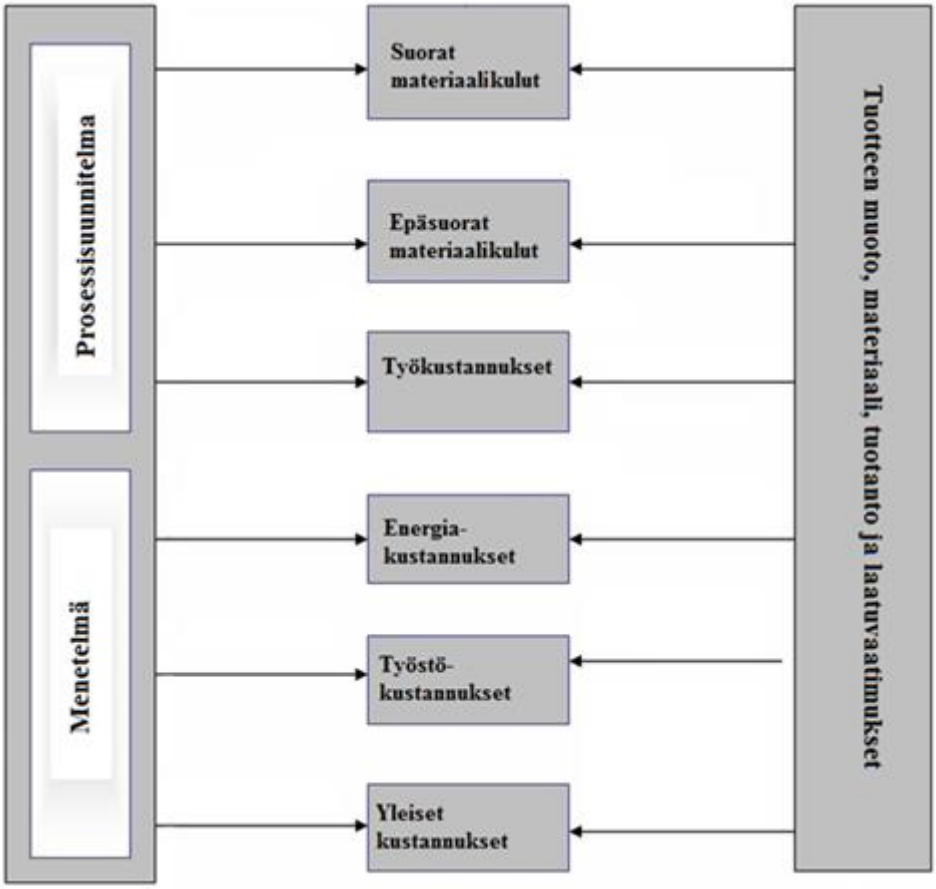
Virhetyyppi	**Virheen esiintyminen**
Mitta- & muotovirheet	Kappaleen mitat, jotka eivät ole toleranssialueella. Kappale on vaillinaisen muotoinen.
Siirtymävirheet	Muottipuoliskot tai keerna on kohdistettu väärin. Kappale on epäsymmetrinen.
Ainepuutokset	Kappale on vajaa. Esim. muotti ei ole täyttynyt riittävästi.
Halkeamat	Kappaleeseen on muodostunut halkeama valamisen yhteydessä, muotin irrotuksen aikana tai sen jälkeen.
Pintavirheet	Pinta on rosoinen tai muuten viallinen. Kappaleen pintaan kiinnipureutunut tai tunkeutunut hiekka. Jakopintapurse tai muut purseet kappaleessa.
Materiaalin rakennevirheet	Vääränlainen raerakenne, voi esiintyä vai tietyissä osissa tai koko rakenteessa.
Imu- eli kutistumavirheet	Kappaleessa esiintyviä huokosia, onteloita tai pinnassa olevia syvennyksiä. Syntyvät valun jähmettymisen aikana
Huokoisuusvirheet	Sulaan sekoittuneen ilman tai reaktiokaasujen aiheuttamat huokoset.
Sulkeumat	Kappaleen sisään tai pintakerrokseen jähmettyneitä muusta aineesta eroavia ainesosia.

4.4 Rakenteiden kustannusten vertailu

Teräsvalun kustannuksiin vaikuttavat tekijät voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin materiaalikustannuksiin, työvoima-, energia-, työstö- ja yleisiin kustannuksiin. Suorilla materiaalikuluilla tarkoitetaan valukappaleeseen tarvittavaa sulatettavaa perusainetta. Epäsuoriin materiaalikuluihin kuuluu käytetty hiekka, keernat, valumalli ja erilliset syöttöjärjestelmän mallit. Työstökustannuksiin kuuluu valukappaleen jälkikäsittely. Jälkikäsittely voi olla esimerkiksi pinnan koneistus, normalisointi tai jännityksenpoistohehkutus. (Chougule & Ravi, 2005, s. 2-10.)

Yleisiä kustannuksia muodostuu käytettävästä valumenetelmästä ja sitä kautta työkaluista ja kappaleen painosta sekä käsittelystä. Energiakustannuksia aiheuttavat muun muassa perusaineen sulatus, sulan kaatolämpötila ja menetelmän saanto. (Chougule & Ravi, 2005, s. 2-10.)

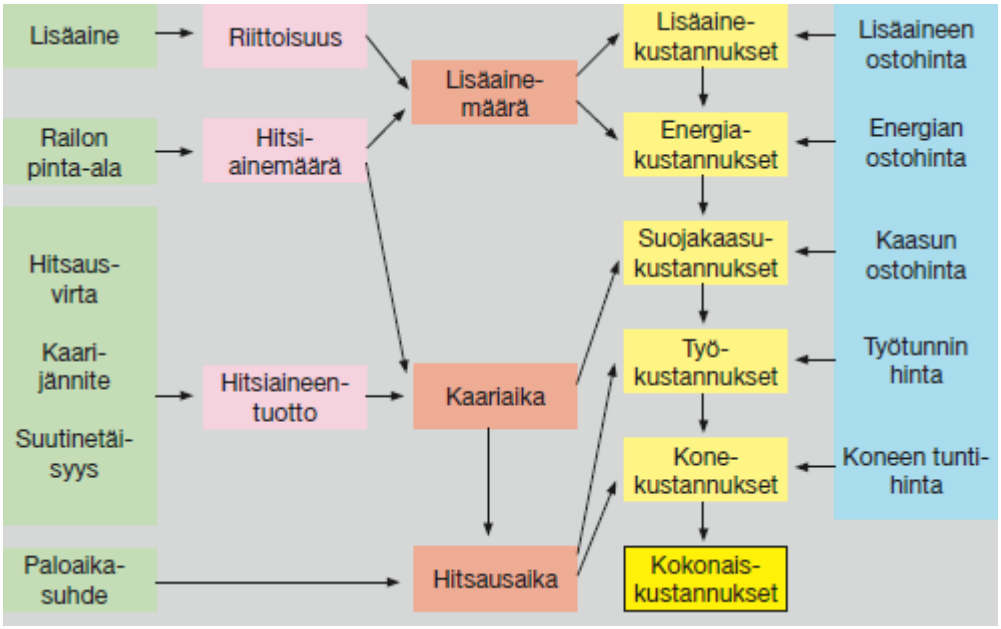
Monissa valukappaleissa kustannuksia arvioidaan tuotteen painon ja muodon perusteella. Tuotteen koko, muoto, kappalemäärä, valumenetelmä ja pintavaatimukset vaikuttavat siihen, kuinka valukappaleen kustannukset jakautuvat. Tuotteen käyttöympäristö määrää, mitkä ominaisuudet ovat pakollisia. Esimerkiksi on turha asettaa tuotteelle liian tiukkoja toleransseja tai pinnanlaatuvaatimuksia, koska ne lisäävät tuotteen hintaa. Yleensä työvaiheista työstökustannukset ovat valutuotteen suurin kuluerä. Kuvassa 11 olevasta valukustannuskaaviosta nähdään valuun vaikuttavia kustannuksia yleisellä tasolla. (AFS, 2014.)



Kuva 11. Valukustannuskaavio (muokattu lähteestä Chougule & Ravi, 2005, s. 5).

Kuvan 11 perusteella huomataan, että valukappaleen muoto, materiaali, tuotantomäärä ja laatuvaatimukset vaikuttavat välillisesti kaikkiin kustannuksiin. Esimerkiksi voidaan ajatella, että kappaleen pinnanlaadulle on annettu tarkka vaatimus. Valettava kappale on tällöin suurella todennäköisyydellä jälkikäsiteltävä hiomalla tai muulla tavalla, mistä aiheutuu lisää työtä ja sitä kautta lisää kuluja.

Hitsauskustannukset voidaan jakaa kuvan 12 perusteella karkeasti materiaali-, lisäaine-, suojakaasu-, energia-, työ- ja konekustannuksiin. Länsimaissa käsin hitsattaessa seostamattomia teräksiä työkustannukset voivat nousta jopa 90 %:iin. Hitsauksessa suurimmat kustannukset aiheutuvat yleensä työ- ja konekustannuksista. (Lukkari, 2006, s. 8-10.)



Kuva 12. Hitsauskustannusten kaavio MIG/MAG-hitsaukselle (Lukkari, 2006, s. 9).

Kuvasta 12 nähdään, mitkä asiat aiheuttavat kustannuksia MIG/MAG-hitsauksessa. Kuvan 12 kaavio pätee lähes täysin myös muihin kaarihitsausmenetelmiin. Puikko- ja jauhekaarihitsauksessa erona on, että niissä ei aiheudu suojakaasukustannuksia. Puikkohitsauksessa lisäainepuikot itsessään sisältävät hitsiä suojaavan päällysteen ja jauhekaarihitsauksessa käytetty metallijauhe suojaa hitsiä (Lukkari, 1997, s. 88, 121). Hitsauskustannuksia tarkastellessa paloaikasuhde nousee suureen rooliin, koska se vaikuttaa merkittävästi hitsausaikaan ja siten syntyviin työ- ja konekustannuksiin, jotka ovat yleensä suurimmat kustannukset.

4.5 Teräsvalun ja hitsatun rakenteen suunnittelu

Tuotteen valmistusmenetelmää valittaessa on varmistuttava siitä, että tuotteelle löydetään ammattitaitoinen tekijä. Esimerkiksi Suomessa on tällä hetkellä seitsemän suurta teräsvalimoa (Valuatlas, 2014). Hitsausta suorittavia yrityksiä on Suomessa satoja. Teräsvalun ja hitsatun rakenteen suunnittelussa täytyy kiinnittää huomiota eri asioihin. Lisäksi valutuotetta suunniteltaessa on yleensä tärkeää tehdä tiivistä yhteistyötä valimon kanssa.

Valun suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota siihen, että sula-aines saadaan virtaamaan kaikkialle muottiin. Lisäksi on varmistettava, että kappaleen irrotus muotista onnistuu ilman kappaleen vahingoittumista. Tästä syystä muottiin on usein tehtävä viisteitä, jotka eivät aina

ole suotuisia kappaleen rakenteelle. (Ihalainen et al., 2005, s. 77.)

Jokainen teräsvalu vaatii oman valumuotin ja valumuotti oman mallikappaleen. Tästä syystä teräsvalun muokkaaminen vie aikaa ja aiheuttaa lisäkustannuksia. Hitsatun rakenteen muokkaus onnistuu helpommin. Hitsaus voidaan suorittaa vaikka liitettävien osien dimensioita ja muotoja muokataan. (Meskanen & Höök, 2009b, s. 1.)

Teräsvalun mittatarkkuuteen vaikuttaa käytetty valamismenetelmä, kappaleen materiaali, koko ja muoto. Teräsvaluissa käytetyt mittatoleranssit muodostuvat seinämän paksuuden ja valukappaleen suurimman mitan mukaan. Standardin SFS-EN ISO 8062-3 mukaan valutuotteen yleistoleranssi määräytyy suurimman mitan perusteella. Hiekkavalamalla tehtyjen valuterästuotteiden yleistoleranssi on luokkaa DCTG 8-15, mikä määritellään standardissa SFS-EN ISO 8062-3 taulukossa 2. Toleranssiluokat jaetaan DCTG 1-16, mutta DCTG 16:sta käytetään vain tuotteen seinämille, mikäli tuotteelle valitaan yleistoleranssiksi DCTG 15. (Peiron, 2010; SFS-EN ISO 8062-3, 2007, s. 3.)

Esimerkiksi jos tuotteen nimellismitta on 1750 mm ja valitaan toleranssiksi DCTG 12, on tuotteen mittatarkkuus 15 mm. On kuitenkin huomioitava, että mittatoleranssi vaikuttaa kappaleen molempiin puoliin, eli mittatarkkuus on 7,5 mm molemmilla puolilla. (SFS-EN ISO 8062-3, 2007, s. 3.)

Hitsatun rakenteen mittatarkkuus määräytyy hitsattavien osien mittatarkkuudesta. Tämän takia on tärkeätä leikata ja muokata liitettävät osat tarkasti, valmistaa mahdolliset hitsausrailot mittatarkoiksi ja varmistaa, että osien välinen sovitus on oikeanlainen. Pituusmittoja koskevat toleranssit jaetaan neljään tarkkuusluokkaan, A, B, C ja D. Toleranssi on riippuvainen nimellismitasta. Esimerkiksi nimellismitaltaan 1750 mm pitkä tuote ja jos sen tarkkuusluokka C, on toleranssi ± 8 mm. (SFS-EN ISO 13920, 1996, s. 5.)

On yleisesti tiedossa, että hitsatun rakenteet liitokset eivät kestä värähtelyä yhtä hyvin kuin yhtenäinen teräsvalu. Syynä voidaan pitää hitsausliitoksessa esiintyvää rajapintaa, joka ei kestä dynaamista kuorman vaihtelua yhtä hyvin kuin yhtenäinen pinta.

Teräsvalun pinta ei täytä laakeripinnalle asetettuja pinnanlaadullisia vaatimuksia, joten

laakeripinnat täytyy koneistaa vaaditun laatuisiksi. Yleensä teräsvaluihin jätetään työstövara. Työstövara poistetaan koneistamalla, jolloin tuotteen pinnanlaatu ja mittatarkkuus saadaan vaaditulle tasolle. Hitsaamalla voidaan laakeripinnan kohtaan asettaa pinnanlaadultaan parempi osa, jolloin tarvittu pinnanlaatu saadaan haluttuun kohtaan. (Niemi, 2010b, s. 1.)

5 TUOTE-ESITTELY

Tässä kappaleessa esitellään tyypillinen teräsvalu ja hitsattu tuote. Tarkoitus on esitellä teräsvalu, jonka valmistus hitsaamalla ei ole kannattavaa ja hitsattava tuote, jota ei kannata valmistaa valamalla.

5.1 Teräsvalu

Kuvassa 13 olevan vesiturbiinin siiven korkeus on 2,9 metriä, leveys 3,3 metriä ja massa 6,2 tonnia. Siipi on valmistettu martensiittisesta ruostumattomasta valuteräksestä. Siipi valmistetaan tyypillisesti valamalla, jotta rakenteen mikrorakenne on yhtenäinen. Valamisen ansiosta tuotteeseen ei synny erillisiä liitoskohtia, jotka voivat olla alkuna halkeamille tai taipumille tuotteen kohdatessa rasitusta käyttöympäristössään. Siipi sopii valutuotteeksi myös siksi, että turbiini koostuu useista samanlaisista siivistä. (Teknologiateollisuus, 2010.)

Kuva 13. Martensiittisesta ruostumattomasta valuteräksestä valmistettu vesiturbiinin siipi (Teknologiateollisuus, 2010).

Tuotteen valmistus hitsaamalla aiheuttaa mikrorakenteen muutoksia, minkä johdosta rakenteessa ilmenee yleensä kovuus- ja lujuusvaihtelua. Vesiturbiinin siiven materiaalina käytettyä martensiittista ruostumatonta terästä on erittäin vaikea hitsata. Siiven vaikeasti hitsattava materiaali, haastava muotoilu ja käyttöympäristön rasitukset tekevät tuotteen valmistamisen hitsaamalla lähes mahdottomaksi.

5.2 Hitsattu rakenne

Kuvassa 14 on hitsattu kemikaalisäiliö. Säiliöt hitsataan yleensä jauhekaarella. Säiliöt ovat tyypillisesti suuria, sisältä onttoja ja lisäksi säiliöiden on oltava nestetiiviitä (SFS-EN 12285-2, 2005, s. 11). Säiliön tiiveyden ja onton sisuksen vuoksi sen valmistaminen valamalla on erittäin haasteellista, ellei jopa mahdotonta. Tuotteeseen ei kohdistu juurikaan mekaanisia rasituksia, joten voidaan olettaa tärkeimmän perusteen olevan tiiviin liitoksen aikaansaaminen. Pitkät pitkittäiset liitokset mahdollistavat mekanisoinnin hyödyntämisen hitsauksessa. Tällöin voidaan nopeuttaa säiliön valmistusta. Säiliön kokoa ei ole standardisoitu, joten valmistus hitsaamalla mahdollistaa dimensioiden vaihtelun.

Kuva 14. Hitsattu kemikaalisäiliö (Estanc, 2014).

Kuvassa 14 olevan hitsatun rakenteen valmistus valamalla yhdeksi kokonaisuudeksi on mahdotonta kappaleen muodon takia, sillä kappale on ontto, mutta nestetiivis. Tällöin kappaletta ei voida valaa yhdeksi kokonaisuudeksi. Tämän lisäksi ontto sisus vaatii suuren keernan käyttöä, mikä aiheuttaa paljon kustannuksia.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vertailussa voidaan huomata, että teräsvalu ja hitsattu rakenne mahdollistavat tuotteelle tiettyjä ominaisuuksia. Samalla valmistusmenetelmä sanelee tiettyjä ehtoja tuotteelle. Valamalla voidaan valmistaa tuotteita, jotka ovat lähes täysin identtisiä toisiinsa, koska kaikkien tuotteiden muotit valmistetaan samasta mallista. Hitsattua rakennetta voidaan muokata nopeasti, koska tuote valmistetaan tyypillisesti levyaihioista leikatuista osista. Taulukossa 4 on listattu teräsvalun ja hitsatun rakenteen ominaisuuksia.

Taulukko 4. Teräsvalun ja hitsatun rakenteen ominaisuuksia.

Ominaisuus	**Teräsvalu**	**Hitsattu rakenne**
Rakenteen muokattavuus	Vaatii uuden valumallin	Erilailla leikatut ja taivutetut osat, usein levyt
Pinnanlaatu	Huono, pinnanlaadulliset vaatimukset johtavat pinnan koneistukseen, kappaleiden työstövarat	Hyvä, ei vaadi erillistä koneistusta
Mittatarkkuus, pituusmitta	Tuotekohtainen, yleensä DCTG 10-14 luokan mukainen, 2 – 40 mm	Riippuvainen esivalmistetuista liitettävistä osista ja laatuluokasta A-D, 1 – 27 mm
Ontelot ja reiät tuotteessa	Vaatii keernojen käyttöä, mahdoton tehdä onttoa yhtenäistä kappaletta	Liitettävien osien leikkaus, taivutus ja kappaleiden oikeanlainen sovitus
Jälkikäteen suoritettava lämpökäsittely	Aina normalisointi, usein myös jännitystenpoistohehkutus	Materiaalikohtainen, jännitystenpoistohehkutus, päästö ja normalisointi mahdollisia
Kustannusten jaottelu	Kappaleen työstö- ja työkustannukset suurimmat	Kone- ja työkustannukset suurimmat
Esivalmistelu	Valumalli, keernat, syöttö- ja täyttöjärjestelmä, kaavaus, peitostus	Taivutus, leikkaus, silloitus ja mahdolliset hitsausrailot
Materiaali	Koko tuotteessa sama	Mahdollisuus käyttää eri materiaaleja
Seinämän paksuus	Tavallisesti yli 6 mm	Ohutlevyt, jopa alle 1 mm

Taulukossa 4 mittatarkkuuksille annetut toleranssit ovat riippuvaisia suoraan kappaleen nimellismitasta. Taulukossa ilmoitetut vaihtelut ovat tarkkuusluokkien ääripäät tuotteille, joiden nimellismitta on 1-10000 mm. Mittatarkkuuteen vaikuttaa nimellismitan lisäksi materiaali, valmistusmenetelmä, sekä tuotteen muoto ja koko. Esimerkiksi valuteräksisten suurien pintojen tarkka valmistus on hankalaa. Tästä syystä pintaan on kannattavaa tehdä pieni korotus, syvennys tai kuvio. Tällöin pinta näyttää paremmalta ja asetettu suoruus ja tasaisuus toleranssit ovat helpommin saavutettavissa.

Tyypillisesti teräsvalun ulkomuodossa pyritään välttämään massakeskittymiä ja poikkipinnan äkillisiä muutoksia, koska ne lisäävät tuotteen kustannuksia ja valuvirheiden mahdollisuutta. Hitsattavaan rakenteeseen on helpompi liittää erikokoisia ja paksuisia osia. Ylipäänsä ulokkeiden haluttu sijainti ja koko on helpommin saavutettavissa hitsatussa rakenteessa kuin teräsvalussa.

Hitsattujen rakenteiden kirjo on laajempi kuin teräsvalujen, koska valutuotteen rakenteen muuttaminen vaatii aina oman mallin. Lisäksi eri valumallit täytyy monesti varastoida, mikäli niitä halutaan käyttää uudestaan. Valmiita levyaihioita voidaan hyödyntää uuden hitsattavan rakenteen valmistuksessa, koska liitettävät osat leikataan ja muokataan tilatuista vakiokokoisista levyistä.

Hitsattujen rakenteiden liitoskohdat erottuvat usein selvästi tuotteesta ja vaikuttavat täten tuotteen ulkonäköön. Lisäksi hitsaus aiheuttaa rakenteeseen muutosvyöhykkeen ja rajapinnan hitsi- ja perusaineen välille. Muutosvyöhykkeen kovuus, lujuus ja raekoko eroavat tyypillisesti perusaineesta. Tällöin rakenteeseen voi syntyä kohtia, jotka eivät täytä rakenteelle annettuja laadullisia vaatimuksia.

Teräsvalu on yhdestä materiaalista valmistettu yhtenäinen kokonaisuus. On kuitenkin mahdollista liittää valuteräksestä valmistettuja osia toisiinsa esimerkiksi hitsaamalla tai muilla liittämismenetelmillä.

7 YHTEENVETO

Työssä vertaillaan teräsvalua ja hitsattua rakennetta yleisellä tasolla, eikä keskitytä tietyn rakenteen tutkimiseen. Vertailussa kiinnitetään huomiota muun muassa rakenteiden etuihin, heikkouksiin ja rajoituksiin. Lisäksi tarkastellaan kustannuksia ja niiden jaottelua, sekä rakenteiden tuotannollisia virheitä ja suunnittelussa huomioon otettavia tekijöitä. Tarkoituksena on tuoda esille molempien menetelmien ominaisuuksia, minkä perusteella valmistusmenetelmän valinta helpottuu.

Valmistusmenetelmistä esitellään valuteräksen valmistuksessa käytettävä kertamuottimenetelmä hiekkavalaminen, sekä hitsausmenetelmät puikko-, MIG/MAG-, TIG-, ja jauhekaarihitsaus. Lisäksi kerrotaan lyhyesti käytettävistä kestomuottimenetelmistä, mutta niiden käyttö rajoittuu lähes ainoastaan ei-rautametalleihin.

Vertailu osoittaa, että teräsvalu ja hitsattu rakenne vaikuttavat rakenteen muotoiluun ja käytettäviin materiaaleihin. Haluttu rakenne voidaan kuitenkin valmistaa usein, sekä valamalla että hitsaamalla. Tuotteen suunnittelussa on tällöin huomioitava molempien menetelmien tarjoamat hyödyt ja rajoitukset. Valamista suositaan usein, kun tuotantomäärä kasvaa. Hitsaamista suositaan, kun tuotteen rakenteen muokattavuus on suuri. Valmistusmenetelmää valittaessa kannattaa huomioida, että Suomessa on tällä hetkellä seitsemän teräsvalimoa, mutta hitsauspalveluiden saatavuus on paljon laajempi.

LÄHTEET

AFS, 2014. Casting Cost Estimating. [AFS:n www-sivuilla]. Päivitetty 18.4.2014. [viitattu 18.4.2014]. Saatavissa: <http://www.afsinc.org/about/content.cfm?ItemNumber=6950>

Chougule, R., G. & Ravi, B. 2005. Casting cost estimation in an integrated product and process design environment. [verkkodokumentti] [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://efoundry.iitb.ac.in/TechnicalPapers/2005/2005CIM_CastingCostEstimation.pdf>

Custompartnet, 2014. Sand Casting. [verkkodokumentti] [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://www.custompartnet.com/wu/SandCasting>

Esab. 2013. Preparation for welding. [Esabin www-sivuilla]. Päivitetty 26.7.2013. [viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: <http://www.esabna.com/euweb/oxy_handbook/589oxy12_1.htm>

Esab. 2014. Hitsausmenetelmät. [Esabin www-sivuilla]. Päivitetty 25.3.2014 [viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: <http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes.cfm>

Estanc. 2014. Muut Paineettomat säiliöt, sekoitussäiliöt, kemikaalisäiliöt. [Estancin www-sivuilla]. Päivitetty 10.4.2014 [viitattu 10.4.2014]. Saatavissa: <http://estanc.ee/tuotteet/painetomat-sailiot/muut-painetomat-sailiot/?lang=fi?&lang=fi>

Ihalainen, E. & Aaltonen, K. & Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2005. Valmistustekniikka. 11. painos. Hakapaino Oy, Helsinki. 490 s. ISBN 951-672-333-0.

Lepola, P & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. 1. Painos. Helsinki, WSOY. 429 s. ISBN 951-0-27158-6.

Lukkari, J. 1997. Hitsaustekniikka. Perusteet ja kaarihitsaus. 2. tarkistettu painos. Helsinki, Oy Edita Ab. 292 s. ISBN 951-719-469-2.

Lukkari, J. 2006. Hitsauskustannukset – työtä, työtä, työtä!. Hitsausuutiset Nro. 1. ESAB.

Lukkari, J. 2002. Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Hitsausuutisissa julkaistut artikkelit, osat 1-5. Helsinki, OY ESAB. 15 s. Saatavissa: <http://www.esab.fi/fi/fi/support/upload/Hitsien_laatu_ja_hitsausvirheet.pdf>

Meskanen, S. & Höök, T. 2009a. Suunnittelijan perusopas - Valumateriaalit. [verkkodokumentti] [viitattu 10.4.2014]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_02.pdf>

Meskanen, S. & Höök, T. 2009b. Suunnittelijan perusopas - Valumenetelmät. [verkkodokumentti] [viitattu 10.4.2014]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_03.pdf>

Meskanen, S. 2009a. Suunnittelijan perusopas - Valamisen edut ja haitat. [verkkodokumentti] [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_14.pdf>

Meskanen, S. 2009b. Valimotekniikan perusteet - Johdanto. [verkkodokumentti] [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_johd_johdanto.pdf>

Meskanen, S. 2009c. Valimotekniikan perusteet - Kaavaushiekan raaka-aineet ja sideainemenetelmät. [verkkodokumentti] [viitattu 27.3.2012]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_menet_hiekkaraakaaineet.pdf >

Meskanen, S. 2009d. Valimotekniikan perusteet – Kestomuottimenetelmät. [verkkodokumentti] [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_menet_kestomuotti.pdf>

Meskanen, S. & Höök, T. 2010. Suunnittelijan perusopas - Rauta-, teräs- ja metallivalujen valuviat [verkkodokumentti] [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_04.pdf>

Meskanen, S & Höök, T. 2013. Valimotekniikan perusteet - Kertamuottimenetelmät [verkkodokumentti] [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_menet_kertamuotti.pdf>

MET Raaka-ainekäsikirja 2. 2001. Valuraudat ja valuteräkset. 2. uudistettu painos. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 196 s. ISBN 951-817-757-0

Niemi, P. 2010a. Jälkikäsittelytekniikka - Lämpökäsittely. [verkkodokumentti] [viitattu 10.4.2014]. Saatavissa: < http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_jalkikasittely_I.pdf>

Niemi, P. 2010b. Valunsuunnittelutekniikka – 16. Valukappaleen suunnittelu koneistuksen kannalta. [verkkodokumentti] [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_valunsuunnittelu_16.pdf>

Ovako. 2012. Ovakon terästen hitsaus. [verkkodokumentti] [viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: <http://www.ovako.com/PageFiles/320/Ovakon_terasten_hitsaus_15724.pdf>

Peiron, 2010. Standardin ISO 8062 mittatoleranssijärjestelmä. [verkkodokumentti] [viitattu 18.4.2014]. Saatavissa: <http://www.peiron.com/liitteet/toleranssit.pdf>

Pohjalainen, K. 1997. Valumallit. Tampere: TAOH. 171 s. ISBN 952-5059-04-9.

SFS-EN ISO 8062-3. Geometrical Product Specifications (GPS) – Dimensional and geometrical tolerances for moulded parts – Part 3: General dimensional and geometrical tolerances and machining allowances for castings. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS, 2007. 30 s. Vahvistettu 20.8.2007.

SFS-EN 10293. Yleiset valuteräkset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS, 2005. 24 s. Vahvistettu 5.9.2005.

SFS-EN 12285-2. Tehdasvalmisteiset terässäiliöt. Osa 2: Maanpäälliset, sylinterimäiset, makaavat yksi- ja kaksoisvaippasäiliöt palaville ja palamattomille vesiä pilaaville nesteille. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS, 2005. 33 s. Vahvistettu 5.9.2005.

SFS-EN ISO 13920. Hitsaus. Hitsattuja rakenteita koskevat yleistoleranssit. Pituus- ja

kulmamitat. Muoto ja sijainti. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS, 1996. 9 s. Vahvistettu 11.4.1996.

Suomen hitsausteknillinen yhdistys r.y. 2014. Hitsauksen materiaalioppi. 4. korjattu painos. Helsinki: Suomen hitsausteknillinen yhdistys r.y.. 304 s. ISBN 951-98212-2-8.

Teknologiateollisuus. 2010. Teräsvalu. [verkkodokumentti] [viitattu 10.4.2014]. Saatavissa: <www.teknologiateollisuus.fi/file/7448/V_TERSVALU.pdf.html>

TWI, 2014. Welding imperfections [verkkodokumentti] [viitattu 10.4.2014]. Saatavissa: <http://dc193.4shared.com/doc/2egtQlq2/preview.html>

Valuatlas, 2014. Valimotoimialan kuvaus [Valuatlaksen www-sivuilla] . Päivitetty 15.4.2014. [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/valimoala.php>