

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotantotekniikka

2017

Kari Messo

# SIIPYÖRÄN LAADUN KEHITYS

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

2017 | 26+2

Kari Messo

## SIIPYÖRÄN LAADUN KEHITYS

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli kehittää alumiinista valmistetun siipipyörän laatua. Siipipyörien hitsaus toteutetaan MIG-hitsaavassa robottihitsaussolussa. Toimeksianto annettiin sitä varten, että robottihitsattuja kappaleita ei tarvitsisi tulevaisuudessa käsin korjata. Tämä työ antaa toimeksiantajalle hyvin dokumentoidut mittauspöytäkirjat sekä hyvän alustan jatkaa projektia tulevaisuudessa pitemmälle. Tämän työn toimeksiantaja on Fläkt Woods Oy. Fläkt Woods Oy valmistaa ja myy ilmanvaihtoon liittyviä kokonaisuuksia.

Siipipyörien hitsauksesta on aiemmin menetelmäkokeella hyväksytty hitsausohje. Opinnäytetyön aluksi laadittiin työpisteestä prosessikaavio, joka havainnollistaa työn eri vaiheet. Seuraavaksi mitattiin siipipyörän jigien eri kohtien heittoa sekä robotin kääntöpöydän heittoa. Mittausten tarkoituksena oli selvittää, että onko jigeissä tai kääntöpöydässä laadullisia poikkeamia.

Mittauksista selvisi jigeissä olevan odotuksia suurempia heittoa, jotka todennäköisesti vaikuttavat hitsauksen laatuun. Robotin kääntöpöydästä ei löytynyt hitsauksen laatuun vaikuttavaa heittoa. Tuloksena työstä tuli jigien kiinnityksessä käytettävän momentin määrittäminen ja asemointitappien tarkempi koneistus. Jatkossa myös alumiinin käsittelyyn liittyvää ohjeistusta otetaan tehokkaammin käyttöön.

ASIASANAT:

Alumiininhitsaus, jig, robottihitsaus.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

2017 | 26+2

Kari Messo

## IMPROVING THE QUALITY OF AN IMPELLER

The purpose of this thesis was to improve the quality of an impeller manufactured from aluminum pieces. The welding is implemented in a robot welding cell. The main issue in this process is that operators of the robot cell occasionally need to fix some of the products after the robot welding. This thesis grants valid documents for the company to proceed with this project. This thesis was commissioned by the company Fläkt Woods Oy. The company manufactures and sells products regarding air conditioning.

Previously a procedure test to accept the welding procedure specifications of the impeller has been done. In the beginning of this project, a process chart was made about the workstation. This process chart visualizes the different phases of the workstation. After this, the different parts of the jigs of the impeller were measured. The measurements were taken also from the turning table of the robot cell. The purpose of the measurements was to find out if there are quality deviations either in the jigs or in the turning table.

There were surprisingly large measurement differences in the jigs that most likely affect the quality of the weld. No dramatic measurement differences in the turning table of the robot cell were found. As a result of this project, some suggestions regarding the attachment of the jigs were made. In the future, the instructions for the handling of aluminum will be used more efficiently.

### KEYWORDS:

Welding of aluminum, jig, robot welding.

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 ALUMIININ HITSAUS</b>	<b>8</b>
2.1 Yleistä alumiinista	8
2.2 Hitsauslisäaine	8
2.3 Suojakaasu	9
2.4 Hitsausvirheet ja niiden ehkäisy	9
2.5 Hitsattavien materiaalien varastointi ja käsittely	13
<b>3 ROBOTISOITU MIG-HITSAUS</b>	<b>14</b>
3.1 MIG-hitsaus	14
3.2 Robottihitsaus	15
3.3 WPS	16
3.4 Menetelmäkokeella hyväksyminen	16
<b>4 TOTEUTUS</b>	<b>17</b>
4.1 Työn lähtökohdat	17
4.2 Jigin suoruuden mittaus	20
4.3 Kääntöpöydän suoruuden mittaus	21
4.4 Laadun toteutuminen	23
<b>5 YHTEENVETO</b>	<b>24</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>25</b>

## LIITTEET

- Liite 1. WPS
- Liite 2. Visuaalisen tarkastuksen ohje

## KUVAT

Kuva 1. Kuumahalkeama (Industria Center Oy 2017).	10
Kuva 2. Huokonen (Industria Center Oy 2017).	10
Kuva 3. Liitosvirhe (Industria Center Oy 2017).	11
Kuva 5. Reunahaava (Industria Center Oy 2017).	12
Kuva 4. Vajaa hitsautumissyvyys (Industria Center Oy 2017).	12
Kuva 6. MIG-hitsaus (Linde Group 2017).	14
Kuva 7. Ontto siipi.	17
Kuva 8. Napalevy.	17
Kuva 9. Pyörärengaslevy.	18
Kuva 10. Prosessikaavio 2/2.	19
Kuva 11. Prosessikaavio 1/2.	19

## TAULUKOT

Taulukko 1. Mittauspöytäkirja koko 25.	20
Taulukko 2. Mitattu heitto jäähtymisen jälkeen.	21
Taulukko 3. Kääntöpöydän mittauspöytäkirja	22
Taulukko 4. Asemointitappien halkaisijat.	23

## KÄYTETYT LYHENTEET

Hydratoituminen	Imeytyminen
Jigi	Hitsauksessa käytettävä pidike hitsattaville kappaleille
Korroosio	Aineen syöpyminen, kun kappaleen pintaan vaikuttaa kemiallinen tai sähkökemiallinen reaktio
MIG	Metal-arc Inert Gas (metallikaari, inerttinen kaasu)
Operaattori	Hitsausrobotin käyttäjä
pWPS	Alustava hitsausohje
WPS	Hitsausohje

# 1 JOHDANTO

Fläkt Woods Oy on tämän opinnäytetyön toimeksiantaja. Fläkt Woods Oy toimii ilmanvaihtotalalla työllistäen Suomessa noin 400 henkilöä. Turussa yritys valmistaa ilmastointikanavia sekä ilmastointipuhaltimia ja Akaalla ilmastoinnin päätelaitteita. Fläkt Woods Oy:n tuotteet koostuvat viidestä tuoteperheestä: ilmanvaihtopuhaltimet, ilmankäsittely, ilman hallinta ilmanvaihdon päätelaitteet sekä ilmanvaihtokanavat.

Tämän opinnäytetyön tavoite on kehittää alumiiniosista valmistetun siipipyörän valmistusmenetelmää. Siipipyörä valmistetaan robottihitsaamalla ja tässä työssä käsitellään kappaleiden jigleistä tai robotin kääntöpöydästä laatuun heikentävästi vaikuttavia tekijöitä. Työssä mitataan enimmäkseen heittoa mittaavilla mittavälineillä jigien ja robotin kääntöpöydän osia. Mittausten jälkeen pyritään ratkaisemaan mittauksista ilmeneviä ongelmia. Työstä tulokseksi toimeksiantaja saa dokumentoidut mittauspöytäkirjat, joiden mukaan projektia pystytään tulevaisuudessa jatkamaan.

Robottihitsauksessa pyritään siihen, että tuotteet saadaan nopeasti ja tasalaatuisesti valmistettua. Joitain siipipyöriä joudutaan kuitenkin korjaamaan robottihitsauksen jälkeen, mitä ei pitäisi tapahtua. Mikäli kappaleet saadaan asetettua varmemmin robotille hitsattavaksi, työpiste olisi tehokkaampi ja tuottavampi.

Työn teoriaosuudessa käsitellään alumiinin hitsaamista ja MIG-menetelmällä hitsaamista sekä robotisoitua hitsaamista. Teoriaosuuden jälkeen esitellään työpisteen toimintaa sekä siipipyörä, jota työpisteessä hitsataan. Tämän jälkeen esitellään mittaustulokset ja kerrotaan lyhyesti laadun toteutumisesta työpisteellä. Lopuksi esitetään projektin tulokset ja sen vaikutukset yritykseen.

## 2 ALUMIININ HITSAUS

### 2.1 Yleistä alumiinista

Alumiinia seostetaan, jotta saavutettaisiin tärkeitä ominaisuuksia. Seuraavaksi esitellään yleisimmät alumiinin seosaineet ja niiden vaikutus alumiiniseoksen ominaisuuksiin. Kupari (Cu) parantaa lujuutta, pii (Si) parantaa juoksevuutta ja alentaa sulamisaluetta, mangaani (Mn) parantaa lujuutta mahdollisimman vähällä sitkeyden menetyksellä, magnesium (Mg) lisää lujuutta, mutta säilyttää korroosionkestävyyden, magnesium ja rikki yhdessä lisäävät muovattavuutta, pursotettavuutta ja lujuutta menettämättä korroosionkestävyyttä merkittävästi. Sinkki (Zn) toimii magnesiumin ja kuparin kanssa antaen hyvän lujuuden seokselle. (Lukkari 2001, 10–11.)

Muokattaville alumiineille on käytössä merkintäjärjestelmä, joka jakaa alumiiniseokset pääseosaineen avulla kahdeksaan ryhmään. (Lukkari 2001, 10–11.)

Alumiinin hitsauksessa valokaaresta aiheutuva lämpö johtuu nopeasti alumiinista ympäristöön ja levittäytyy laajalle alueelle. Tämä aiheutuu siitä, että alumiinin lämmönjohtavuus on esimerkiksi teräkseen verrattuna vähintään kolminkertainen. Korkean lämmönjohtavuuden vuoksi alumiinia hitsatessa esiintyy hitsausvirheiksi luokiteltuja huokosia sekä liitosvirheitä. Alumiinin lämpölaajenemiskerroin on teräksiin verrattuna noin kaksinkertainen ja tästä syystä alumiini laajenee ja kutistuu lämpötilan vaihtelusta voimakkaasti. Hitsatessa alumiini vetelee (materiaalissa tapahtuu muodonmuutoksia) myös enemmän kuin teräs. (Lukkari ym. 2016, 274.)

### 2.2 Hitsauslisäaine

Hitsauslisäaineen päätehtävä on tuottaa hitsiainetta raiioon. MIG-hitsauksessa hitsauslisäaineena on poikkeuksetta hitsauslanka, joka on umpilankaa. (Lukkari 2001, 178–179.)

Tyypilliset hitsausvirta-alueet eripaksuisille MIG-hitsauslangoille:

- 0,8 mm: 70-200 A
- 1,0 mm: 80-220 A
- 1,2 mm: 120-280 A



- 1,6 mm: 130-310 A
- 2,4 mm: 250-400 A. (Lukkari 2001, 137.)

### 2.3 Suojakaasu

Yleisin suojakaasu alumiinin hitsauksessa on argon. Suojakaasun on oltava kuivaa sekä puhdasta. Tähän vaikuttavat erityisesti kaasuletkujen sekä -liittimien tiiveys ja se, että letkut ovat alumiinin hitsaukseen soveltuvat eli eivät läpäise kosteutta. (Lukkari 2001, 137.) MIG-hitsauksessa suojakaasun päätehtävänä on suojata hitsaustapahtumaa, minkä lisäksi suojakaasun ominaisuuksiin kuuluu pitää valokaari vakaana, säilyttää hyvä tunkeuma sekä pitää hitsi tiiviinä. (Lukkari 2001, 196).

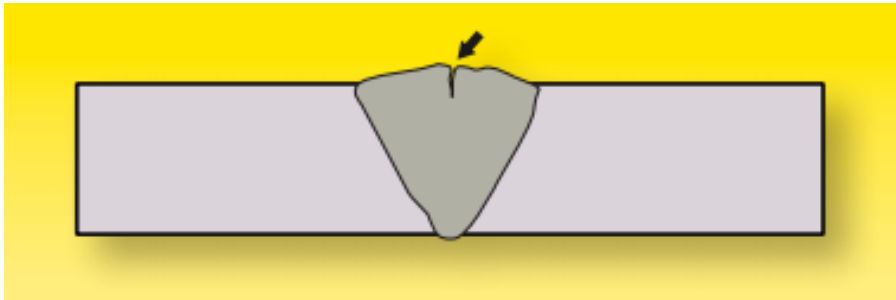
### 2.4 Hitsausvirheet ja niiden ehkäisy

Hitsiliitoksista ei läheskään aina tule täydellisiä, vaan jossain rajoissa hitsausvirheitä sallitaan. SFS-EN 30042:1994 "Alumiinin kaarihitsaus. Hitsiluokat" -standardi määrittää hitsausvirheiden hyväksymisrajat eri hitsiluokissa. Hitsiluokat on jaoteltu seuraavasti hitsausvirheiden ja niiden koon perusteella seuraavasti:

- D: tyydyttävä
- C: hyvä
- B: vaativa

B-luokka on kaikkein vaativin eli sallii vähiten hitsausvirheitä. Tämän noudattaminen tavallisesti nostaa tuotanto- ja tarkistuskustannuksia. Yleisin hitsausvirhe alumiininhitsauksessa on huokokset. Yleisesti kuitenkin tietty määrä huokosia saa hitsiin jäädä. Vakavia hitsausvirheitä ovat halkeamat ja liitosvirheet. Näitä ei tavallisesti hitseissä sallita lainkaan. Yleisimmät hitsausvirheet alumiinin hitsauksessa ovat huokokset, halkeamat, oksiditulkeumat, liitosvirheet, vajaa hitsautumissyvyys ja reunahaava. (Lukkari 2001, 226.)

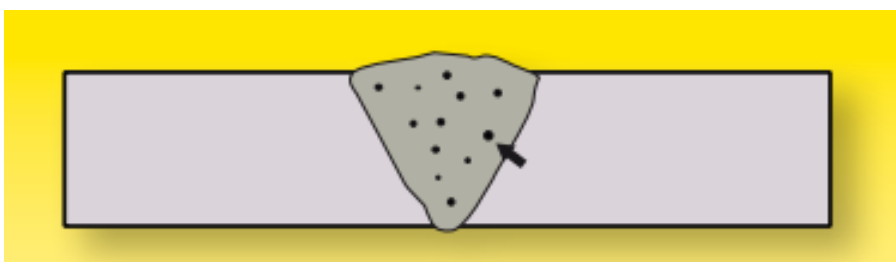
Halkeamat ovat yleensä kuumahalkeamia. Kuumahalkeamia voi esiintyä niin hitsiaineessa kuin muutosvyöhykkeillä. Kuvassa 1 halkeama esiintyy hitsiaineessa.



Kuva 1. Kuumahalkeama (Industria Center Oy 2017).

Hitsiaineessa halkeama syntyy jännitysten vaikutuksesta hitsisulan jäähmettyessä niin sanotulla puuroalueella. Muutosvyöhykkeiden halkeamat taas ilmenevät perusaineen raerajojen osittaisesta sulamisesta sularajan läheisyydessä. Kuumahalkeaman syy on usein metallurginen eikä hitsauksen suorituksesta johtuva, mikä tarkoittaa sitä, että perusaineen ja lisäaineen kemiallisilla koostumuksilla on merkittävä rooli kuumahalkeamien syntyyn. Kraaterihalkeaman syynä on hitsauksen virheellinen lopetus. Tämä voidaan estää suurentamalla hitsausnopeutta lopussa, käyttämällä lopetuspalaa tai pienentämällä vähitellen hitsausvirtaa. Halkeamat heikentävät merkittävästi liitoksen sekä rakenteen kantokykyä, joten hitsausvirheenä standardi SFS-EN 30042 ei näitä juurikaan salli. (Lukkari 2001, 230–231.)

Huokokset ovat kaasujen aiheuttamia onteloita hitsiaineessa (kuva 2). Ne esiintyvät jonnossa, ryhmissä, tasaisena huokoisuutena tai yksittäisinä huokosina.

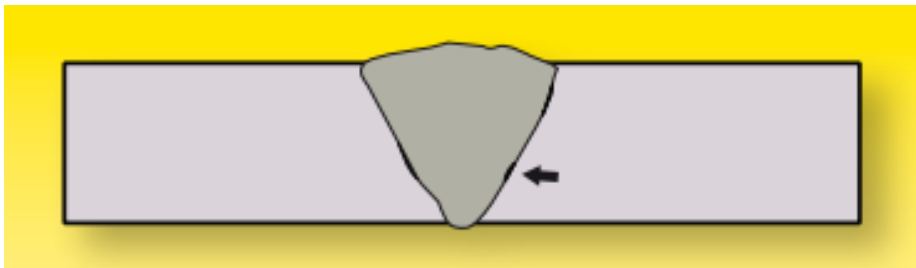


Kuva 2. Huokonen (Industria Center Oy 2017).

Vedyn pääseminen hitsisulaan on suurin huokosten aiheuttaja. Yleisimpiä lähteitä vedyn suureen pitoisuuteen hitsisulassa ovat: kosteus tai epäpuhtaus pääaineessa tai hitsauslangan pinnalla, hydratoitunut oksidikalvo, virheelliset hitsausparametrit ja epäpuhdas suojakaasu. MIG-hitsauksessa suurin vedyn lähde on halkaisijaltaan ohut lisäainelanka.

Vedyn liukeneminen alumiiniin kasvaa noin kaksikymmenkertaiseksi alumiinin sulamispisteessä, kun vertaa jähmettyneeseen alumiiniin. Hitsin jäähtymisen aikana vetyä liukenee hitsisulasta pois, mutta jos hitsi jäähtyy liian nopeasti, jää vetyä jähmettyneen hitsin sisään aiheuttaen huokosia. Jos tuotannossa toistuvasti hitsi jäähtyy liian nopeasti, voidaan ongelmaa ehkäistä esikuumentamalla hitsattavat kappaleet, jolloin hitsin jäähtymisaika pitenee ja vety ehtii liueta pois hitsisulasta. (Lukkari 2001, 226–229.)

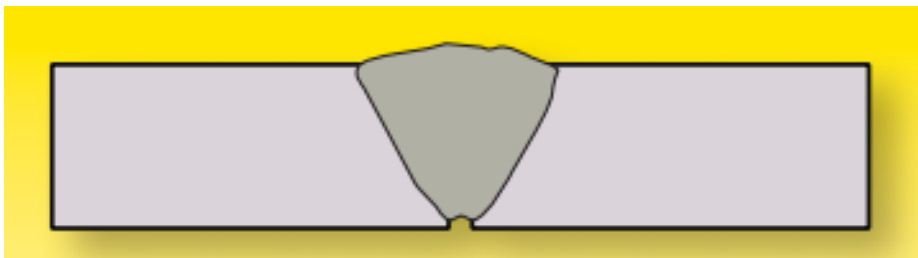
Liitosvirheet (kuva 3) aiheutuvat tavallisimmin virheellisestä hitsausnopeudesta tai rai-lopintojen epäpuhtauksista. Liitosvirheet esiintyvät palkojen välissä tai railokyljissä. Hitsauksessa on tärkeää, että valokaari pääsee sulattamaan railonkyljet sekä puhdistamaan kohdan jota hitsataan. Tämän vuoksi hitsauspistoolin oikeellinen asento on tärkeä tekijä liitosvirheen ehkäisemiseksi. Liitosvirhe on vastaavasti rakennetta heikentävä hitsausvirhe kuten halkeamat, joten näitäkään ei standardi juurikaan salli. (Lukkari 2001, 232.)



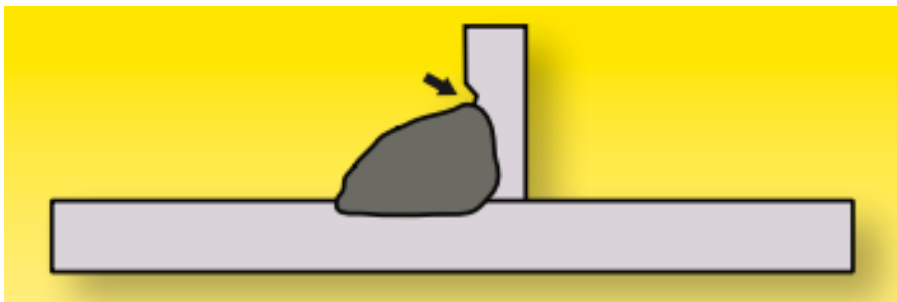
Kuva 3. Liitosvirhe (Industria Center Oy 2017).

Sulkeumalla tarkoitetaan useimmin alumiininhitsauksessa oksidisulkeumaa, joka tarkoittaa sitä, että alumiinioksidihiuksia on jäänyt hitsiaineeseen. Tämä johtuu siitä, että oksidihiuksien tiheys on suurempi kuin alumiinin, jolloin hitsisulan jähmettyessä oksidihiuksien tiheys ei pääse helposti pintaan vaan vajoavat alaspäin. Oksidihiuksia syntyy esimerkiksi silloin, jos oksidikalvon puhdistus ei ole onnistunut tai jos kaasusuoja on heikko. (Lukkari 2001, 232–233.)

Virheellinen railomuoto tai virheelliset hitsausarvot voivat johtaa vajaaseen hitsautumissyvyyteen (kuva 4). Hitsiluokka B ei salli vajaata hitsautumissyvyyttä lainkaan, joten tämän virheen esiintyessä on säädettävä hitsausparametreja sopivammaksi tai muokattava hitsattavaa railoa. Liian suurella hitsausnopeudella, liian suurella hitsausvirralla tai virheellisellä kuljetustavalla voi olla seurauksena reunahaava (kuva 5). Reunahaava on pitkittäinen ura perusaineen pinnalla, koska sulaa metallia ei ole sitä täyttänyt. Mikäli hitsattu rakenne on väsyttävästi kuormitettu, on reunahaava hyvin haitallinen. (Lukkari 2001, 234.)



Kuva 5. Vajaa hitsautumissyvyys (Industria Center Oy 2017).



Kuva 4. Reunahaava (Industria Center Oy 2017).

## 2.5 Hitsattavien materiaalien varastointi ja käsittely

Alumiini pitäisi säilyttää tilassa, jonka suhteellista kosteutta ja lämpötilaa pystytään kontrolloimaan, näin ollen pystytään varmistumaan siitä että alumiinin varastointi tapahtuu kuivassa ja tasalämpöisessä tilassa. Hitsattavien pintojen on oltava puhtaita sekä kuivia, jotta hitsiin ei syntyisi huokosia. Suositeltava tapa alumiinilevyjen säilytykseen on pitää levyt pystyssä ja erotella levyjen pinnat toisistaan jollain ei-metallisella materiaalilla. Hitsattavat levyt tulee ottaa tuotantotiloihin yksi tai kaksi vuorokautta ennen hitsausta, jotta lämpötilan tasaantuminen ei aiheuta kosteutta hitsattaviin osiin. (Lukkari 2001, 213.)

Alumiinin ja ferriittisten terästen välistä kosketusta tulisi välttää, sillä seurauksena tästä voi olla korroosion syntyminen. Materiaalit tulee varastoida niin, että niiden seostyyppi tunnetaan. (SFS käsikirja 66-10 2016, 78.)

Lisäaineen asianmukainen varastointi on MIG-hitsauksessa hyvin tärkeää, sillä hitsauksen aikana railoon tuotavan langan pinta-ala on suuri ja lanka itsessään on ohutta. Vahingoittunut MIG-hitsauslanka ei ole tuotantokelpoista eikä sitä pysty puhdistamaan, joten varastointiin ja säilytykseen täytyy kiinnittää erityistä huomiota. (Lukkari 2001, 214.)

Lisäaineiden varastoinnissa on suositeltavaa, että lisäaineet varastoidaan alkuperäispakkauksissa lämpimässä ja kuivassa tilassa. Avatut lisäainepaketit tulee käyttää mahdollisimman nopeasti, jotta lisäainelangan pinnalle ei muodostu oksidikalvoa johon vety ja kosteus pääsisi imeytymään eli hydratoitumaan. Lisäainelangan oikealla varastoinnilla pystytään ehkäisemään lisäainelangasta aiheutuvia huokosia. Suositus on että ostettu lanka käytettäisiin kuuden kuukauden sisään ja kahdentoista kuukauden jälkeen lankaa ei saisi enää käyttää. (Lukkari 2001, 213–214.)

Ennen hitsausta railopinnoilta ja railon sivuilta on poistettava kaikki epäpuhtaudet kuten rasva, öljy, kosteus sekä oksidikerros. Mikäli puhdistusta ei ole tehty huolellisesti ja epäpuhtauksia on hitsauksen aikana railoalueella, epäpuhtaudet juoksevat hitsausalueelle. (Lepola & Makkonen, 2005, 203.)

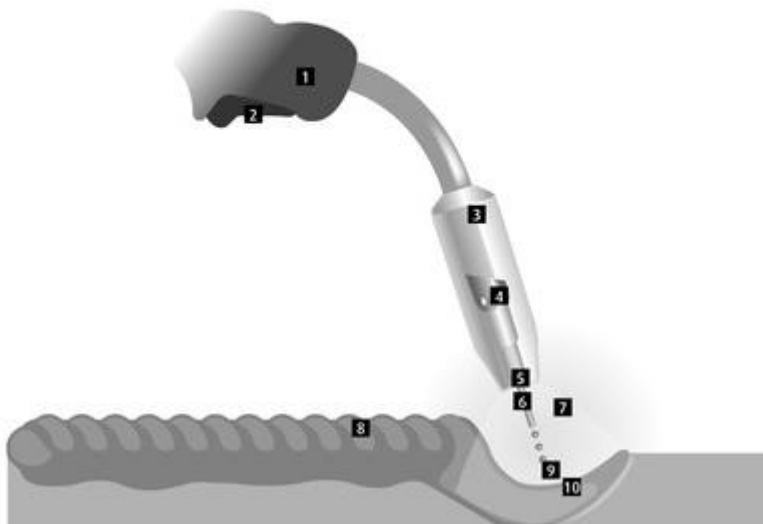
## 3 ROBOTISOITU MIG-HITSAUS

### 3.1 MIG-hitsaus

MIG-hitsauksella tarkoitetaan sitä että valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välissä suojakaasun ympäröimänä, tätä havainnollistaa kuva 6. Hitsauksen aikana sulaa metalli siirtyy langan kärjestä pisaroina valokaaren läpi hitsisulaan. Alumiinia hitsatessa käytetään inerttiä, eli sulan metallin kanssa reagoimatonta suojakaasua joka tarkoittaa sitä, että suojakaasu sisältää argonia tai argonin ja heliumin seoskaasua. (Lukkari 2001, 119.)

#### Typical MIG/MAG set up

1 Torch, 2 Torch trigger, 3 Shroud, 4 Gas diffuser, 5 Contact tip, 6 Welding wire, 7 Shielding, 8 Weld, 9 Droplets, 10 Weld pool



Kuva 6. MIG-hitsaus (Linde Group 2017).

MIG-hitsauksen hyviä puolia ovat: prosessin helppo mekanisointi, valokaaren kyky puhdistaa kappaleen pintaa, kaikki hitsausasennot ovat mahdollisia, hitsausprosessi on juoksuhteeton ja kuonaton. Monenlaisissa hitsattavissa kappaleissa kuitenkin luoksepäästävyys aiheuttaa ongelmia MIG-hitsauksessa. Toinen haittapuoli on prosessin arkuus huokosille, joka johtuu pääsääntöisesti MIG-hitsauksessa käytettävistä ohuista hitsauslangoista. (Lukkari ym. 2016, 285.)

Ennen hitsauksen aloittamista hitsattavien kappaleiden liitospinnat sekä hitsin lähialueet on puhdistettava huolellisesti. Kosteus, lika ja muut epäpuhtaudet voivat aiheuttaa virheellisen hitsin. Alumiinia hitsatessa pitää olla erityisen tarkka puhtaudesta. Alumiiniliitokset on puhdistettava joko alkoholilla tai asetonilla ja oksidikalvo on poistettava ruostumattomalla teräsharjalla tai muilla keinoilla. (Weman 2012, 94.)

### 3.2 Robottihitsaus

Tyypillinen robottisolukko koostuu robottikädestä, hitsausjigistä, virtalähteestä ja muista välttämättömistä hitsauslaitteistoista. Robottikäden päähän asennetaan hitsauspistooli ja kappaleen hitsausjigi pitää huolen siitä, että hitsattavat kappaleet ovat aina parhaassa mahdollisessa asennossa hitsattavaksi. MIG-hitsaava robottisolukko on taloudellisesti katsottuna kannattava, jos solusta läpi menevien tuotteiden määrä on vuosittain 1000 ja 60 000 kappaleen välillä. (Weman 2012, 161–162.)

Robottisolun etuihin kuuluu luonnollisesti parempi tuottavuus, sillä hitsausnopeutta pystytään yleensä kasvattamaan merkittävästi ja robotti + operaattori tavallisesti korvaa 2 - 4 käsin hitsaajaa. Hitseistä tulee tasalaatuisempia ja tavallisesti laatu myös kasvaa käsin hitsattuihin saumoihin verrattaessa. Työolosuhteet paranevat, sillä operaattorin ei tarvitse altistua hitsauskaasuille. (Weman 2012, 162.)

Haittapuolia robottihitsauksessa ovat mm. kappaleiden uudelleensuunnittelu robottihitsaukseen sopivaksi ja toleranssien tiukentuminen sekä kappaleissa ja jigien valmistuksessa. Käyttäjien kouluttaminen / uudelleen kouluttaminen operaattoriksi voidaan myös laskea haittavaikutukseksi. (Weman 2012, 162.)

### 3.3 WPS

WPS (Welding Procedure Specification) tarkoittaa hitsausohjetta. Hitsausohje pitää sisällään kaikki tarvittavat tiedot hitsaustapahtumaan liittyen, kuten esimerkiksi:

- Hyväksyntätapa
- Perusaine
- Hitsausprosessi
- Hitsausaineet
- Railomuoto
- Hitsausparametrit
- Palkojärjestys
- Tarvittavat puhdistukset

Hitsausohjetta laadittaessa luokitellaan se ensin alustavaksi hitsausohjeeksi (pWPS). Hitsausohjeen käyttäminen ei ole pakollista ellei sopimus, tuotestandardi tms. sitä vaadi käytettäväksi. Hitsausohjetta käyttämällä yritys pystyy kuitenkin varmistamaan hitsaus-ten toistettavuuden ja lisäämään laatua hitsaustoimenpiteeseen. (Lukkari 2001, 206 - 207.)

### 3.4 Menetelmäkokeella hyväksyminen

Standardi SFS-EN 288-4 määrittää kokeet, joiden mukaan hitsausohje on hyväksytettävä, mikäli hitsausohje on hyväksytettävä menetelmäkokeella. Menetelmäkokeessa tuotantoa edustavat kappaleet hitsataan ja testataan standardin mukaisesti tuotantoa vastaavissa olosuhteissa alustavaa hitsausohjetta noudattaen. Alustava hitsausohje pitää sisällään tarvittavat parametrit sekä niiden vaihtelualueet. Koekappaleiden hitsaus ja testaus suoritetaan valvojan seurannassa. (Lukkari 2001, 208).

Rikkomaton tarkastus kuuluu koekappaleen testaukseen, tähän sisältyy silmämääräinen tarkastus, radiografinen tai ultraäänitarkastus sekä tunkeumanestetarkastus. Kun rikkomaton tarkastus on tehty ja koekappaleet ovat hyväksytysti niistä selvinneet, tehdään rikkovat aineenkoetukset. Rikkovat aineenkoetukset ovat standardin tarkalleen määrittelmiä menetelmiä, kuten esimerkiksi taivutuskokeet ja vetokokeet, joissa koekappaleita esimerkiksi vedetään niin kauan kunnes kappale menee rikki. (Lukkari 2001, 208).



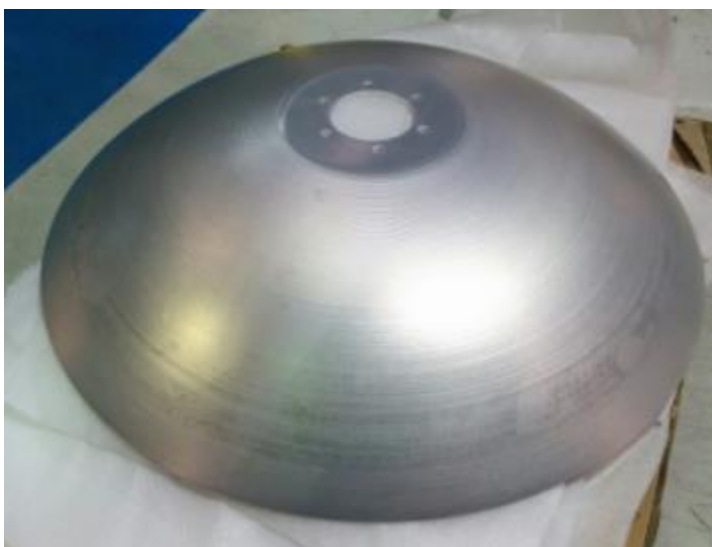
## 4 TOTEUTUS

### 4.1 Työn lähtökohdat

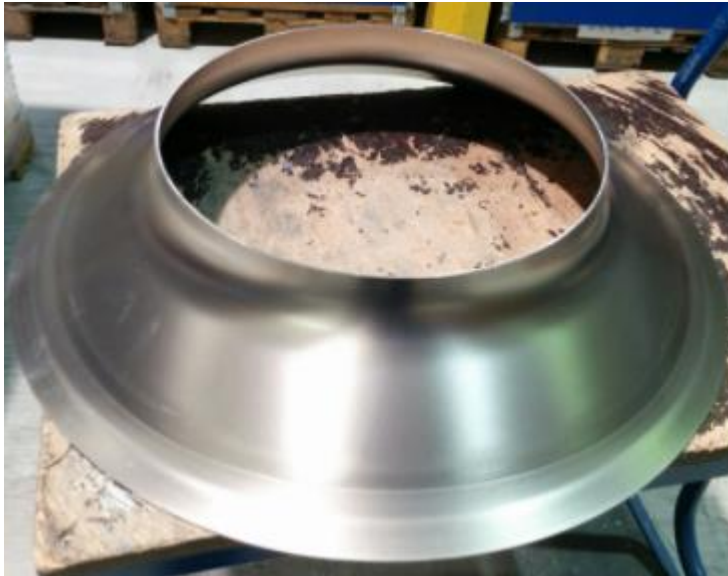
Siipipyörä hitsataan Motomanin robotilla, johon kuuluu kaksipuolinen kääntöpöytä, hitsaava robottikäsi sekä suojakoppi imulla, hitsausvirtalähde on merkiltään Fronius. Työpisteellä on aina kaksi työntekijää, jotka ovat perehdytetty käyttämään robottia ja osaavat hitsata alumiinia myös käsin. Työpistettä pyritään pitämään kolmessa vuorossa.



Kuva 7. Ontto siipi.

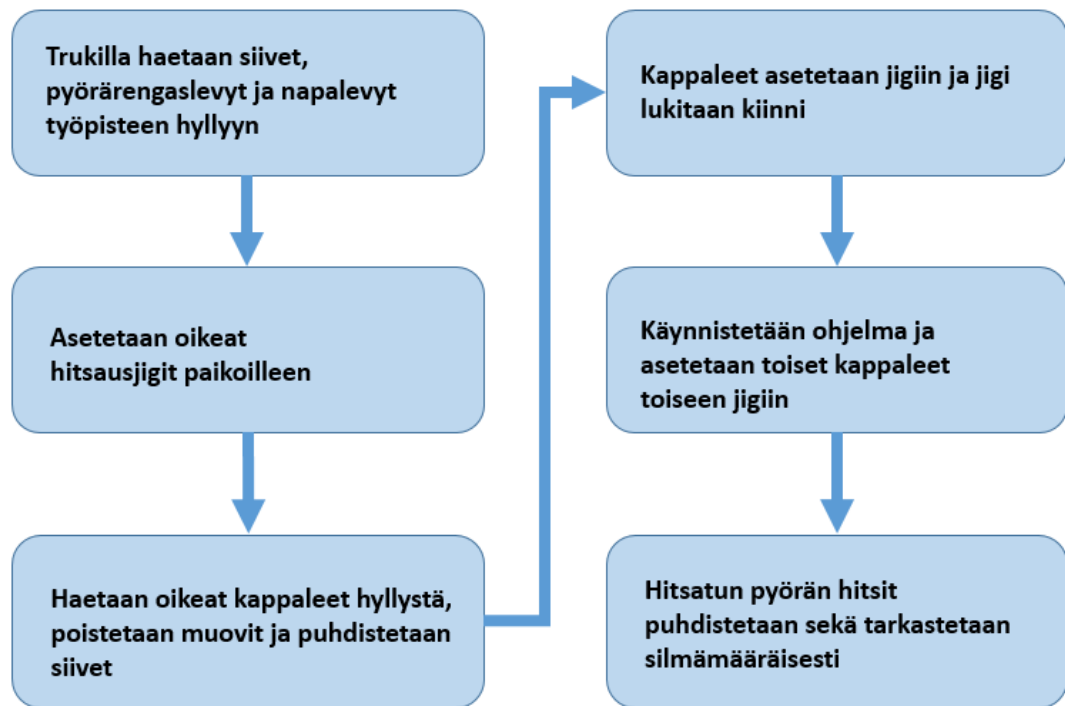


Kuva 8. Napalevy.

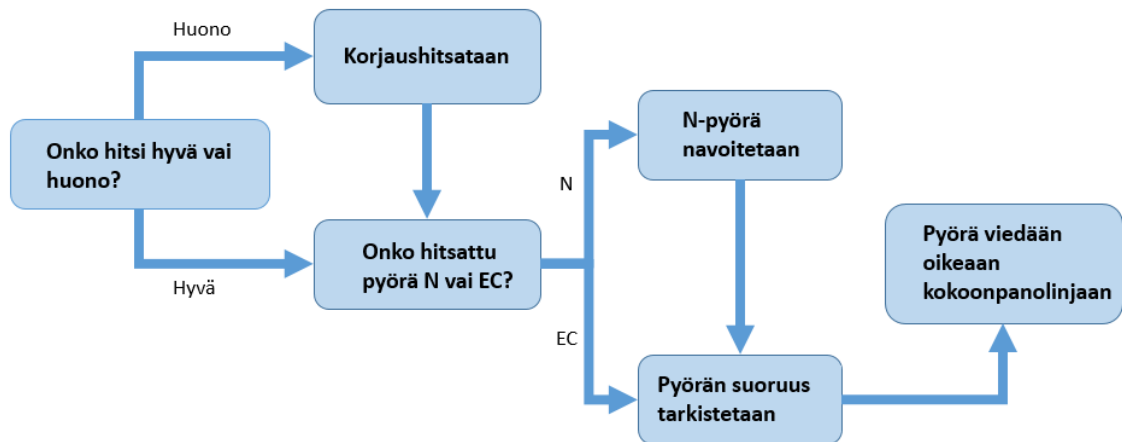


Kuva 9. Pyörärengaslevy.

Siipipyörän osat tulevat alihankinnasta ja tämän työn tarkoituksena ei ole puuttua tuotteen materiaaleihin tai ominaisuuksiin, vaan parantaa prosessia olemassa olevilla laitteilla ja materiaaleilla. Siipipyöriä on 12 eri kokoa ja näiden nimitykset vaihtelevat välillä 25 - 90 siipipyörän koon mukaan. Pyörän koosta riippuen siiven rakenne vaihtelee hieman. Koossa 25 siipi on umpinainen, mutta kaikissa suuremmissa pyörissä siiven rakenne on ontto. Siipirakenne on haluttu ontoksi sen takia, että siipipyörästä tulee kevyempi ja se pääsee suurempiin kierrosnopeuksiin. Siiven ollessa ontto yritys säästää myös materiaalikustannuksissa.



Kuva 11. Prosessikaavio 1/2.



Kuva 10. Prosessikaavio 2/2.

Yllä olevat kuvat 10 ja 11 kuvaavat työpisteen työvaiheita. Kääntöpöydän toiselle puolelle asetetaan toinen samanlaisista hitsausjigeistä ja lukitaan paikoilleen, puolet ovat nimeltään A ja B. Tämän jälkeen operaattori puhdistaa puhdistusaneella ja rätillä siippi-pyörän siivet ja poistaa suojamuovit pyörärengaslevystä sekä napalevystä. Seuraavaksi jigiin asetetaan edellä mainitut siippi-pyörän osat. Nämä lukitaan jigiin kiinni pneumaattisesti, eli paineilmaa käyttäen.

Robotti havaitsee jigin koon ja valitsee oikean ohjelman sen perusteella käyttöön. Ohjelma voidaan laittaa päälle, jolloin kääntöpöytä kääntyy 180°. Tämä mahdollistaa sen, että samalla kuin robotti hitsaa toisella puolella olevaa siipipyörää, operaattori pystyy asettamaan seuraavan jigin käyttövalmiiksi.

Operaattori käynnistää toisen puolen ohjelman ja puhdistaa valmiin siipipyörän hitsit liinalla sekä suorittaa silmämääräisen tarkastuksen. Jos hitsattu kappale on N-siipipyörä, se navoitetaan ja sen jälkeen katsotaan sen suoruus laser-etäisyysmittarilla. Jos kappale on EC-siipipyörä, katsotaan pelkästään sen suoruus. Jos taas siipipyörässä ilmenee hitsausvirheitä, joutuu operaattori korjaushitsaamaan siipipyörää ja tämän jälkeen tekemään edellä mainitut tarpeelliset toimenpiteet.

#### 4.2 Jigin suoruuden mittaus

Pienin hitsausjigi (koko 25) otettiin tarkemman tarkastelun alle, jotta nähtäisiin onko jiggissä virhettä, joka voisi aiheuttaa laadun heikkenemistä. Jigin mittaukset (kuva 12) suoritettiin ensin optimoidussa ympäristössä ja tämän jälkeen tuotantotilassa. Jokaisesta mittauskohdasta on otettu kuva mahdollisia jatkotoimenpiteitä varten.

Mittaukset otettiin mittakellolla sekä sormikellolla (riippuen mittauskohdasta) kahdeksasta eri kohdasta jigiä. Optimoidussa ympäristössä (taulukossa 1 nimellä Alakerta) tehdyistä mittauksista saatiin tietoon, kuinka paljon jigin eri kohdissa on heittoa kun jigiä pyörittää paikallaan. Tuotantotilassa tehtyjen samojen mittausten jälkeen pystyttiin tuloksia vertaamaan toisiinsa. Tällä tavoin pystytään toteamaan, että onko robotin kääntöpöydässä myös heittoa. Tulokset ilmenevät taulukossa 1.

Taulukko 1. Mittauspöytäkirja koko 25.

Sijainti	Jigi	Mittayksikkö	Mittalukema kertoo heiton							
			Mittaus 1.1	Mittaus 1.2	Mittaus 2.1	Mittaus 2.2	Mittaus 3.1	Mittaus 3.2	Mittaus 4.1	Mittaus 4.2
Alakerta	A	mm	0,12	0,07	0,2	0,17	0,5	0,1	0,2	0,22
Alakerta	B	mm	0,15	0,1	0,3	0,25	0,55	0,22	0,26	0,22
Robotilla	A	mm	1,5	0,2	2	1,8	0,5	1,2	1,2	0,74
Robotilla	B	mm	0,18	0,17	0,35	0,4	0,58	0,33	0,21	0,27
Erotus	A	mm	1,38	0,13	1,8	1,63	0	1,1	1	0,52
Erotus	B	mm	0,03	0,07	0,05	0,15	0,03	0,11	-0,05	0,05
		Mittaväline:	mittakello	mittakello	mittakello	mittakello	mittakello	sormikello	sormikello	sormikello

Mittaustuloksista suurimmat heitot olivat A puolen jigissä. A jigissä mittauksissa 1.1, 2.1, 2.2, 3.2 ja 4.1 heittolukema ylitti yhden millimetrin ja mittaus 2.1 oli peräti kaksi millimetriä. Tämä herätti ajatuksen siitä, että onko A puolen kääntöpöydässä myös heittoa josta näin suuret lukemat voisivat johtua.

Tuotantotilassa mittausten jälkeen oli tarkoitus hitsata testiksi kymmenen kappaletta siipipyöriä molemmilla kääntöpöydän puolilla. Varastossa ei ollut kuitenkaan kuin kolmen siipipyörän kappaleet, eli toteutunut määrä oli yksi pyörä mittausten perusteella paremmalla puolella (B) ja huonommalla puolella (A) kaksi pyörää.

Kaikki kolme hitsattua pyörää puhdistettiin ja tarkastettiin silmämääräisesti. Tämän jälkeen pyörien annettiin jäähtyä hetki ja sen jälkeen mitattiin pyörien heitto aivan kuten normaalissa tuotannossa (taulukko 2). Tämän koon pyörässä heitto saisi olla enintään 0,8 mm. Tulokseksi mittauksista saatiin, että huonomman puolen (A) kaksi pyörää heittivät 1 mm ja 1,1 mm kun taas paremman puolen (B) yksi pyörä heitti sallitun 0,8 mm.

Taulukko 2. Mitattu heitto jäähtymisen jälkeen.

Heitto jäähtymisen jälkeen		
A	1	1,1
B	0,8	-

#### 4.3 Kääntöpöydän suoruuden mittaus

Jigin 25 suoruuden mittauksista esiintyvistä heitoista johtuen oli syytä epäillä kääntöpöydästä A löytyvän heittoa, joka tulisi pyrkiä poistamaan laadun parantamiseksi. Mikäli kääntöpöydästä löytyy suuria heittoa, vaikuttaisi näiden korjaaminen mahdollisesti hitsauksen laatuun positiivisesti.

Kääntöpöydän mittauksessa mitattiin ensin optimoiduissa olosuhteissa (taulukoissa nimellä Alakerta) ja sen jälkeen tuotantotilassa neljän kohdan heittoa, sekä kahden kohdistustapin halkaisijat. Mittausvälineinä käytettiin mittakelloa, sormikelloa sekä mikrometriä riippuen mitattavasta kohteesta. Mittakellolla mitattiin kääntöpöydän kiinteän tason, asemointitappien keskeisyyden, sekä koon 63 jigin kallistuksesta aiheutuvaa heit-

toa. Sormikellolla mitattiin kääntöpöydän aluskiilojen heittoa. Mikrometrillä mitattiin halkaisijat isosta asemointitapista, pienestä asemointitapista ja aputapista, joka tehtiin vastaamaan isoa asemointitappia.

Taulukko 3. Kääntöpöydän mittauspöytäkirja

Sijainti	Puoli	Mittayksikkö	Luvut kertovat heiton		Aluskiilat
			Taso	Asemointitappien keskeisyys	
Alakerta		mm	0,03	0,02	0,06
Robotilla	A	mm	0,7	0,26	0,32
Robotilla	B	mm	0,15	0,07	0,28
Erutus	A	mm	0,67	0,24	0,26
Erutus	B	mm	0,12	0,05	0,22
		Mittaväline:	mittakello	mittakello	sormikello

Kääntöpöydän aluskiilojen heitto tuotannossa robotilla oli noin 0,30 mm molemmilla puolilla kuten taulukosta 3 ilmenee. Optimoidussa tilassa tämä heitto oli 0,06 mm. Optimoidun tilan ja tuotannon väliseksi eroiksi muodostuivat A puolelta 0,26 mm ja B puolelta 0,22 mm. Jigi lasketaan nojaamaan aluskiiloihin, joten näissä kiiloissa esiintyvät heitot varmasti vaikuttavat pyörän hitsaamiseen.

Jigi koko 63 on toiseksi suurin jigi mitä tuotannossa on, joten tämä jigi asetettiin kääntöpöytään ja pöytää kallistettiin saman verran kuin kääntöpöytä hitsatessa kallistuu (kuva 13). Jigin yläreunasta mitattiin mikrometrillä, että heittoa aiheutui 0,3 - 0,5 mm. Nämä tulokset kuitenkin olivat vain toiselle puolelle kallistettaessa. Todellisuudessa kääntöpöytä kallistuu molempiin suuntiin, eli nämä heitot pitää vielä kertoa kahdella. Oikea heitto on siis 0,6 - 1,0 mm. Jigin kiinnitykseen operaattori käyttää momenttiavainta, joka kiristää kaksi kiinnityspulttia momenttiin 11,5 Nm. Kiinnitysmomentti todettiin olevan aika pieni, joten mahdollisesti suurempi kiinnitysmomentti pitäisi jigin paremmin paikoillaan.

Kääntöpöydässä on kaksi asemointitappia, jotka kohdentavat jigien oikeaan paikkaan. Näiden halkaisijat mitattiin mikrometrillä ja tulokset dokumentoitiin (taulukko 4). Jigien kiinnitys voisi olla tasalaatuisempaa, jos asemointitapit sekä jigien kohdistusreiät olisivat tarkemmin mitoitettut.

Taulukko 4. Asemointitappien halkaisijat.

	Puoli	Mittayksikkö	Iso asemointitappi	Pieni asemointitappi
Alakerta		mm	49,975	24,96
Robotilla	A	mm	49,85	24,99
Robotilla	B	mm	49,85	24,99
Erotus	A	mm	0,125	0,03
Erotus	B	mm	0,125	0,03
		Mittaväline:	mikrometri	mikrometri

#### 4.4 Laadun toteutuminen

Alumiiniosien sekä lisäaineiden varastoinnista ja käsittelystä on laadittu ohjeet, jotka ovat ajankohtaiset ja yksityiskohtaiset. Työpisteen operaattoreilta sekä työnjohdolta kysyttiin, että ovatko he tietoisia näistä ohjeistuksista. Ketään kysytyistä henkilöistä ei ollut tietoinen siitä, että mistä näitä ohjeistuksia voisi löytää. Tästä johtuen kyseiset materiaalit kerätään yhteen ja jokaiselle pidetään perehdytys. Tämän jälkeen materiaalit laitetaan selkeään sijaintiin, joka tulee olemaan jatkossa kaikilla tiedossa.

Hitsauslankana käytetään 1,2 mm paksua lankaa ja hitsaukset suoritetaan virta-alueella 106 - 194 A (ampeeria). Suojakaasuna käytetään puhdasta argonia. Argon on yksi yleisimmin alumiininhitsauksessa käytettävistä suojakaasuista, joten tämän ei pitäisi vaikuttaa heikentävästi hitsin laatuun.

Siipipyörän hitsaamisesta on laadittu WPS, (Liite 1) jonka mukaan on hyväksytysti suoritettu menetelmäkoe. Tasaisen laadun saavuttamiseksi on laadittu visuaalisen tarkastuksen ohje, (Liite 2) jonka avulla kokemattomampikin operaattori pystyy tarkastamaan hitsin oikeellisuuden.

## 5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli parantaa alumiinisen siipipyörän hitsausprosessia. Pääpaino työssä oli etsiä siipipyörien jigeistä tai robotin kääntöpöydästä laatua heikentäviä tekijöitä. Siipipyörän jigejä ja robotin kääntöpöytää mitattiin heittoa mittaavilla mittalaitteilla. Mitattavista kohteista valittiin kriittisiä pisteitä, joita mitattiin mittakellon avulla. Tulokseksi tästä saatiin mittauspöytäkirjat, joista on myöhemmin helppo tarkastella saatuja tuloksia.

Tästä opinnäytetyöstä oli mielestäni hyötyä sekä toimeksiantajalle tuotantoa ajatellen että minulle oppijana. Toimeksiantaja sai huolellisesti dokumentoidut sekä kuvitetut mittauspöytäkirjat, joten kuka tahansa yrityksessä pystyy myöhemmin jatkamaan projektia. Yritys sai myös konkreettiset parannusehdotukset jigien kiinnitykseen: asemointitappien tarkentamisen sekä paremman momentin määrittämisen jigien kiristykseen. Projektia olisi voinut vielä jatkaa paljon pidemmällekin. Toimeksiantajan kanssa kuitenkin keskustelimme, että nämä tulokset riittävät tämän projektin laajuudeksi ja tästä heidän on projektia hyvä jatkaa.

Opinnäytetyö pysyi aikataulussa ja toimeksiantajan kanssa oli helppoa ja joustavaa työskennellä. Minulle hyödyllisin osuus tässä projektissa oli se havainto, miten paljon säännöllisillä välipalavereilla on merkitystä projektin edetessä. Työn kannalta oli myös erittäin tärkeää, että keskustelin säännöllisesti tuotannon, esimiesten sekä laitteiston kunnossapitäjän kanssa projektin edetessä.



## LÄHTEET

Lepola, Makkonen 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

Lukkari, J. 2001. Alumiinit ja niiden hitsaus. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Lukkari, J.; Kyröläinen, A. & Kauppi, T. 2016. Hitsauksen materiaalioppi osa 2: Metallit ja niiden hitsattavuus. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. (SHY).

SFS-käsikirja 66-10, 2016. Alumiinin hitsaus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

Weman, K. 2012. Welding processes handbook. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Industria Center Oy. 2017. Viitattu 20.11.2017: <http://www.industriacenter.fi/cms/tiedostot/tiedostopankki/Hitsausvirheet.pdf>

The Linde Group. 2017. Viitattu 20.10.2017: [http://www.linde-gas.com/en/processes/cutting\\_joining\\_and\\_heating/welding/metal\\_inert\\_gas\\_and\\_metal\\_active\\_gas\\_welding/index.html](http://www.linde-gas.com/en/processes/cutting_joining_and_heating/welding/metal_inert_gas_and_metal_active_gas_welding/index.html)


## Liite 1. WPS

## Liite 2. Visuaalisen tarkastuksen ohje

Fläktwoods Oy  
Kimmo Hörkkö

Alumiinihitsaus  
Siipipyörä

6.9.2017

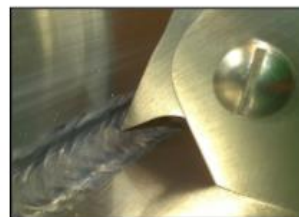
	Asiakirjanimi: hitsauksen laatuohje		Versio	Sivu
	SIIPYOMF- 025-090		1.	1(1)
	Laatinut: KH	Hyväk. :	Pvm:	8.9.2017

Huom: SFS-EN ISO 10042 laatu luokka B mukainen.

Siipipyörän hitsauksen visuaalinen tarkistusohje.

**1. Oikea a-mitta: liian pieni a-mitta ei sallittu.**

Virhe nro. 1.13



**2. Ei silminhavaittavia murtumia/halkeamia.**

Virhe nro. 1.1



**3. Ei reunahaavaa > jouheva liittymä vaaditaan.**

Virhe nro. 1.10



**4. Lopetuskraatteri ei sallittu.**

Virhe nro. 1.12



**5. Kateettipoikkeama eli pienen epäsymmetria.**

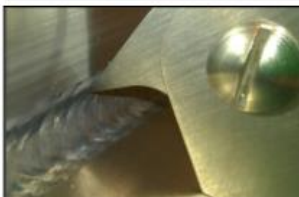
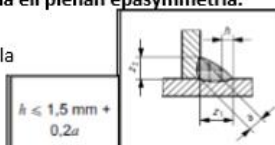
Virhe nro. 1.17

Sallittu h eri a-mitoilla

a3 h= 2,1 mm

a4 h= 2,3 mm

a5 h= 2,5 mm



**6. Sovitusvirhe eli maksimi ilmarako.**

Virhe nro. 3.2

Maksimi koot 025-071 0,75 mm.

Maksimi koot 080-090 1,0 mm.

