

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotantotekniikka

2018

Gharbi Sellami

# HITSAUKSEN LAADUN PARANTAMINEN

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

2018 | 35

Gharbi Sellami

## HITSAUKSEN LAADUN PARANTAMINEN

Opinnäytetyön tarkoitus on ollut tutkia MIG- ja MAG-hitsausprosesseja ja selvittää, mistä yleisimmät hitsausvirheet kohdeyrityksessä eli avoimet imuontelot, huokokset ja roiskeet, syntyvät. Lisäksi oli tarkoitus selvittää, miten yleisimmät virheet voidaan eliminoida ja miten ennaltaehkäisevät toimenpiteet ovat vaikuttaneet. Työ suoritettiin Stera Technologies Oy:n Kaarinan tehtaalla.

Työn teoriaosuudessa on käsitelty hitsausta yleisesti, hitsauksen hitsausparametrit, yleisimmät hitsausvirheet kohdeyrityksessä, eli roiskeet huokokset ja avoimet imuontelot, MIG-MAG-hitsauskaarityyppien alueet, ja työn lopussa on esitetty tuotannossa tehdyt havainnot ja tutkimukset. Sen jälkeen on vertailtu sisäisiä poikkeamia ja asiakasreklamaatioita, sekä uudelleentarkastuksessa löytyneitä virheitä sisäisessä tarkastuksessa löytyneisiin virheisiin. Lisäksi on vertailtu eri valmistajien hitsauskoneita ja MIG-MAG-hitsausprosesseja (perinteinen, PMC ja pulssi) eri hitsauskaarityyppialueilla.

Hitsausroiskeiden syntymisen pääasiallinen syy on ollut tuotteiden hitsaaminen MAG-hitsausprosesseilla välikaarialueella. Roiskeita saatiin vähennettyä hitsaamalla pulssi-MAG-hitsausprosessilla.

Avointen imuonteloiden syynä oli hitsausroiskeiden suoja-aineet ja puutteellinen tekniikka hitsin lopetuksen kohdalla ja ne voidaan välttää poistamalla hitsausroiskeiden suojausaineet käytöstä ja ottamalla lopetuskraatterin täyttö käyttöön.

Huokosten syynä olivat epäpuhtaudet ja epäkunnossa olleet hitsauspistoolien osat, ja huokokset voidaan välttää puhdistamalla hitsattavien railojen pinnat kunnolla ja vaihtamalla hitsauspistoolien osia tarvittaessa.

Työn pääasialliset tavoitteet saavutettiin, mutta ennaltaehkäisevien toimenpiteiden vaikutusta ei ehditty testaamaan.

ASIASANAT:

MIG/MAG-hitsaus, hitsausparametrit, avoimet imuontelot, huokokset, roiskeet.

EN

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

2018 | 35

Gharbi Sellami

## IMPROVING THE QUALITY OF WELDING

[Click here to enter text.](#)

The purpose of the thesis was to study the MIG and MAG welding processes and to find out the most common welding errors in the target company, i.e. end crater pipes, gas pores and spatters. The objective was also to find out how the most common welding mistakes can be eliminated and how preventive measures have worked. The work was done at Sterna Technologies Oy's Kaarina factory.

The theory section of the thesis deals with welding in general, welding parameters and the most common welding mistakes in the target company. The findings and results of the research are presented at the end of the thesis. Subsequently, internal deviations and customer reclamations have been compared, as well as errors found during an additional internal audit. In addition, different welding machines and MIG-MAG welding processes (conventional, PMC and pulse) have been compared.

The main cause of weld spattering was the welding of products with MAG welding processes in the globular transfer mode. The spattering was reduced by welding with the pulse-MAG welding process.

The end crater pipes were caused by spatter prevention chemicals and inadequate welding technique at the end of weld. They can be avoided by removing the usage of the spatter prevention chemicals and introducing proper weld end techniques.

The gas pores were caused by contaminants and defective parts of welding guns, and the pores can be avoided by thoroughly cleaning the surfaces of the welding gaps and by replacing the defective parts of the welding guns.

The main goals of the work were achieved but the impact of preventive measures was not tested.

KEYWORDS:

MIG/MAG-welding, welding parameters, end crater pipe, gas pore, spattering

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
1.1 Tavoite	8
<b>2 KAASUKAARIHITSAUS</b>	<b>9</b>
2.1 MIG-MAG-hitsaus	9
2.2 Kaarityypit	10
2.2.1 Lyhytkaarihitsaus	10
2.2.2 Välikaarihitsaus	11
2.2.3 Kuumakaarihitsaus	11
2.2.4 Pulssikaarihitsaus	12
2.2.5 PMC-Pulse Multi Control	13
2.3 Hitsausvirheet	13
2.4 Virheiden tyypit	13
2.4.1 Huokoset	14
2.4.2 Roiskeet	16
2.4.3 Avoin imuontelo	17
<b>3 MIG-MAG VAIKUTTAVAT HITSIIN HITSAUSPARAMETRIT</b>	<b>18</b>
3.1 Suojakaasut	18
3.2 Hitsauslisäaineet	18
3.3 Suutinetäisyyden ja vapalangan pituuden vaikutus	19
3.4 Hitsauspistoolin asento	20
3.5 Hitsausjännite (V)	20
3.6 Hitsausvirta (A)	21
3.7 Hitsausnopeus ja valokaaren pituuden vaikutus	21
<b>4 HITAUSTUOTANNOSSA ESIINTYVIEN HITSAUSVIRHEIDEN SYYT JA NIIDEN RATKAISUT</b>	<b>22</b>
4.1 Huokoset	22
4.2 Avoimet imuontelot	23
<b>5 HITAUSTUOTANNOSSA TEHDYT HAVAINNOT</b>	<b>24</b>
5.1 MAG-hitsauksen kaarityypit	24

5.2 Kuparilla pinnoitetun ja pinnoittamattoman hitsauslisäainelangan vertailu	25
5.3 Vertailu pulssi-MIG/MAG ja perinteinen-MIG/MAG-prosessi	27
5.4 Vertailu PMC ja perinteinen MAG-hitsausprosessi	29
5.5 Sisäisten poikkeamien ja asiakasreklamaatioiden vertailu	30
5.6 Sisäisten poikkeamien ja uudelleentarkastuksessa löytyneiden virheiden vertailu	31
5.7 Ehdotuksia silmämääräisten tarkastusten parantamiseksi	32
<b>6 TULOKSET</b>	<b>33</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>35</b>

## KUVAT

Kuva 1. MIG-MAG-Lyhytkaaarihitsausperiaate (Lukkari 1997, 168).	10
Kuva 2. MIG-MAG-välikaarihitsausperiaate (Lukkari 1997, 169).	11
Kuva 3. MIG-MAG-Kuumakaarihitsausperiaate (Lukkari 1997, 169).	12
Kuva 4. Pulssi-MIG-MAG-hitsauksen periaate (Lukkari 1997, 171).	12
Kuva 5. Kuvassa huokokset	15
Kuva 6. Kuvassa roiskeet	16
Kuva 7. Kuvassa avoin imuontelo	17
Kuva 8. Suutinetäisyyden vaikutus (Raekorpi 2018).	19
Kuva 9 Hitsauspistoolin asennon vaikutus (Kuusisto 2014, 20).	20
Kuva 10. Kaarityypit teräksen hitsauksessa (Lukkari 1997, muokattu).	25
Kuva 11. Hitsausroiskeet kuparilla pinnoitetulla lisäainelangalla	26
Kuva 12. Hitsausroiskeet kuparilla pinnoittamattomalla lisäainelangalla	26
Kuva 13. Hitsausroiskeet perinteisellä MAG-hitsausprosessilla.	28
Kuva 14. Hitsausroiskeet pulssi-MAG-hitsausprosessilla.	29
Kuva 15. hitsausroiskeet PMC MAG-hitsausprosessilla.	30
Kuva 16. hitsausroiskeet perinteisellä MAG-hitsausprosessilla.	30

## KUVIOT

Kuvio 1. Sisäiset poikkeamat ja asiakasreklamaatiot.	31
Kuvio 2. Sisäiset poikkeamat ja tarkastuksen jälkeen löytyneet virheet.	32

## TAULUKOT

Taulukko 1. Hitsausparametrit	24
-------------------------------	----

## KÄYTETYT LYHENTEET

ISO	Industry Standards Organization, alan standardointijärjestö
MAG	Metal-arc Activ Gas, kaasukaarihitsaus, jossa käytetään lisäainelankaa ja aktiivista suojakaasua
MIG	Metal-arc Inert Gas, kaasukaarihitsaus, jossa käytetään lisäainelankaa ja passiivista suojakaasua
NDT	Non-Destructive Testing, ainetta rikkomaton tarkastus
PMC	Pulse multi control
SFS	Suomen standardisoimisliitto
TIG	Tungsten Inert Gas Arc Welding, kaasukaarihitsaus elektrodi ja passiivista tai pääasiassa passiivista suojakaasua käyttämällä
VT	Visual Testing, visuaalinen tarkastus
WPS	Welding Procedure specification, hitsausohjeet

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tavoite

Tässä insinööriyössä tutkitaan MIG- ja MAG-hitsausprosesseja ja selvitetään, mistä yleisimmät hitsausvirheet kohdeyrityksessä eli avoimet imuontelot, huokoset ja roiskeet syntyvät. Lisäksi selvitetään, miten yleisimmät virheet voidaan eliminoida ja miten ennaltaehkäisevät toimenpiteet vaikuttavat. Tutkimus liittyy MIG-MAG-kaasukaarihitsausprosesseihin. Työ suoritettiin Stera Technologies Oy:n Kaarinan tehtaalla.

Stera Technologies Oy yrityksenä perustettiin vuonna 2007, kun Levyosa Oy, Elektromet Yhtiöt Oy, Hihra Oy, Auemec Systems Oy ja Beertekno Oy yhdistyivät. Tehtaat sijaitsevat Turussa, Kaarinassa, Paimiossa, Tammelassa, Kaavilla ja Viron Saussa. Vuonna 2017 Steralla työskenteli noin 800 työntekijää, ja sen liikevaihto on noin 75 miljoonaa euroa. (Stera Technologies Oy 2018.)

Stera Technologies on erikoistunut mekaniikan ja elektroniikan valmistukseen autoteollisuudelle ja telakoille. Esimerkkejä Steran nykyisin valmistamista tuotteista ovat muun muassa hitsatut ilmavesi-lämmönvaihtimet, ilma-ilma-lämmönvaihtimet, hydraulii- ja polttoainesäiliöt, moottorien ja generaattorien napasydämet sekä liitäntäkotelot.

Tuotteita valmistetaan Standardien ISO 9001, ISO 14001 ISO3834-2 ja ISO/TS 16949, mukaisesti. Tuotteet, jotka vaativat hitsausta, valmistetaan hitsausstandardin 3834-2 mukaan. (Stera Technologies Oy 2018.)

## 2 KAARIHITSAUS

Kaasukaarihitsaus on hitsausprosessi, jota käytetään metallin kiinnittämiseen metalliin sulattamalla. Prosessin suorittamiseen tarvitaan yleensä hitsauslisäainetta, jonka sulamispiste on suunnilleen sama kuin perusaineen sulamispiste. Lisäaineena käytetään hitsauspuikkoa tai lisäainelankaa. Jos hitsaus suoritetaan suojakaasun ympäröimänä, kyse on kaasukaarihitsauksesta. (Esab 2018.)

Kaasukaarihitsaus on tavallisin teräsrakenteiden liitostekniikka maailmassa, ja sitä voidaan käyttää kaikille sähköä johtaville materiaaleille. Yleisimpiä kaarihitsausmenetelmiä ovat MIG-MAG-hitsaus, MAG-täytelankahitsaus, puikkohitsaus, TIG-hitsaus, jauhekaarhitsaus ja plasmahitsaus. (Lukkari 1997, 15.)

### 2.1 MIG-MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus eli metallikaasukaarihitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välillä. (Lukkari 1997, 159.)

Aineensiirtyminen tapahtuu pieninä sulapisaroina langan päästä hitsisulaan. Langan-syöttölaite syöttää tasaisella nopeudella hitsauslankaa hitsauspistooliin ja siinä olevan kosketussuuttimen läpi valokaaren. Hitsausvirta tulee virtalähteestä monitoimijohdossa kulkevaa virtajohdinta myöten hitsauspistoolin päässä olevaan kosketussuuttimeen, josta se siirtyy hitsauslankaan. (Lukkari 1997, 159.)

Käytetty kaasu voi olla aktiivinen tai inertti. MAG-hitsauksessa käytetään aktiivista kaasua, joka reagoi sulassa tilassa metallien kanssa. Tällainen kaasu on joko hiilidioksidi tai hiilidioksidi-argon-seos. MIG-hitsauksessa käytetään inerttiä eli reagoimatonta kaasua, joita ovat helium ja argon. Pääasiallisesti MAG-hitsausta käytetään mustan teräksen hitsaukseen. Ei-rautametallien, kuten alumiinin, kuparin ja nikkelin hitsauksessa käytetään MIG-hitsausta. (Lukkari 1997, 159.)

## 2.2 Kaarityypit

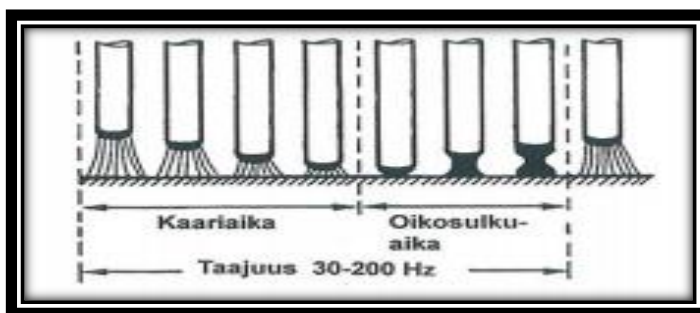
Kaarityyppi määräytyy lähinnä virta- ja jännitearvojen perusteella. Kullekin alueelle on luonteenomaista tietty aineensiirtymistapa ja pisarakoko, joihin vaikuttaa hitsausarvojen lisäksi myös suojakaasu. Kaarityyppejä on kolme: lyhytkaari, sekakaari ja kuumakaari. (Lukkari 1997, 167.)

### 2.2.1 Lyhytkaarihitsaus

Lyhytkaarihitsauksessa aine siirtyy tasaisin välein hallitusti oikosulkujen avulla. Oikosulku aiheuttaa lisäaineen siirtymisen pisarana hitsiin. (Kuusisto 2014, 15.)

Koska valokaari palaa vain osan hitsausajasta, on lämmöntuonti vähäistä. Lyhytkaarihitsaus sopii erittäin hyvin ohuiden aineiden hitsaukseen, koska lämpöpalamisen vaara on pieni. Lyhytkaarihitsauksen käyttöalueet ovat ohutlevy- ja asentohitsauksessa. (Kuusisto 2014, 15.)

Lyhytkaarihitsauksessa oikosulkujen määrä vaihtelee noin kolmestakymmenestä kahteen sataan kappaleeseen sekunnissa suojakaasusta, hitsausvirrasta, kaarijännitteestä ja induktanssista riippuen. (Kuusisto 2014, 15.) Kuvasta 1 nähdään kaariajan ja oikosulkuajan ero.

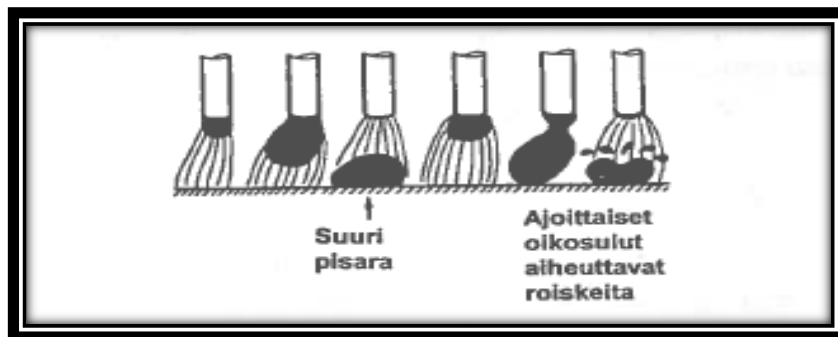


Kuva 1. MIG-MAG-Lyhytkaarihitsausperiaate (Lukkari 1997, 168).

### 2.2.2 Välikaarihitsaus

Hitsausta välikaarialueella pyritään yleensä välttämään. Lisäaine siirtyy pisaroina sekä osittain oikosulkujen kautta. Suuripisarainen lisäaineen siirtyminen sekä vaikuttavat kaa-rivoimat aiheuttavat roiskeita ja huurujen muodostumisnopeuden kasvua. (Kuusisto 2014, 17.)

Kuvassa 2 nähdään, että välikaarialueella syntyy suuria pisaroita. Lisäksi ajoittaiset oi-kosulut aiheuttavat roiskeita.



Kuva 2. MIG-MAG-välikaarihitsausperiaate (Lukkari 1997, 169).

### 2.2.3 Kuumakaarihitsaus

Aineensiirtyminen on hyvin hienopisaraista ja tapahtuu ilman oikosulkuja suihkumaisesti. Tämä edellyttää kuitenkin argon-pohjaista suojakaasua. Hiilidioksidilla ei päästä oiko-suluttomalle puhtaalle kuumakaarialueelle millään virta- ja jännitearvoilla. Hiilidioksidia käytettäessä seurauksena on epävakaata valokaaria ja hitsausroiskeita. Hitsatessa kuuma-kaarialuetta käytetään aineenvahvuuden ollessa yli 3 mm. (Kuusisto 2014, 17.)

Kuvassa 3 nähdään, miten kuumakaarialueella lisäaine siirtyy suihkumaisesti.



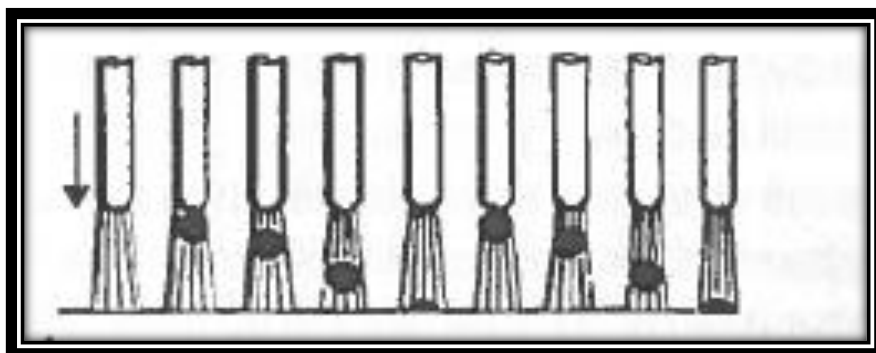
Kuva 3. MIG-MAG-Kuumakaarihitsausperiaate (Lukkari 1997, 169).

#### 2.2.4 Pulssikaarihitsaus

Pulssikaarihitsauksessa lisäaine siirtyy suurpisaraisena ilman oikosulkuja. Kun hitsausvirta pulssitetaan, saadaan aikaan säännöllinen lisäaineen siirtyminen, vakaa kaari sekä samalla pieni lämmöntuonti perusaineeseen. (Kuusisto 2014, 18.)

Pulssikaarihitsausta käytetään muun muassa vaativissa asentohitsauksissa, kun halutaan erittäin tasaista tunkeumaa ja vähän roiskeita. Pulssikaarihitsauksella saavutetaan helpommin huokos- ja halkeamavapaa hitsi. (Kuusisto 2014, 18.)

Kuvassa 4 nähdään, miten pulssihitsauksessa hitsauslisäaine siirtyy ilman oikosulkuja.



Kuva 4. Pulssi-MIG-MAG-hitsauksen periaate (Lukkari 1997, 171).

### 2.2.5 PMC-Pulse Multi Control

PMC:llä Fronius on muuttanut pulssitettua kaarta niin, että entistä parempia tuloksia voidaan saavuttaa, kun pulssihitsaus tehdään uudella tehokkaalla TPS/i-virtalähteellä. Uudet ja kehittyneet toiminnot parantavat merkittävästi kaaren hallintaa, mikä vähentää roiskeiden syntymistä, kun hitsataan terästä, alumiinia ja kromi-nikkeli-seoksia. (Fronius 2017-2018.)

### 2.3 Hitsausvirheet

Hitsausmenetelmällä tarkoitetaan osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostuvat jatkuvan yhteyden.

Hitsauksessa voidaan käyttää lisäainetta, jonka sulamispiste on suunnilleen sama kuin perusaineen. Tätä kutsutaan liitoshitsaamiseksi. Toinen yleinen hitsi on päällehitsaus, jota käytetään kappaleen pinnoittamiseen. (Lukkari 1997, 11).

Sanastostandardin SFS 3052 mukaan hitsausvirhe on epäjatkuvuus hitsissä tai poikkeama hitsin muodossa. Hitsausvirheitä ovat esimerkiksi halkeamat, vajaa hitsautumisvyvyys, huokoisuus ja reunahaavat. Hitsausvirhe ja hitsausvika ovat eri termejä. Hitsausvirheillä tarkoitetaan poikkeamaa ihanteellisesta hitsistä, ja hitsausvialla sellaisia virheitä, jotka vaativat korjausta. (Lukkari 1997, 11.)

Hitsausvirheet heikentävät liitoksen kestävyyttä tai muita ominaisuuksia, mistä syystä pyritään yleensä mahdollisimman virheettömään hitsaukseen. Kustannukset kasvavat kuitenkin virheettömyysvaatimusten myötä. Tästä syystä ei aina tarvita täysin virheetöntä hitsiä, jos rakenteen kuormitukset ja olosuhteet eivät siitä ehdottomasti vaadi. (Lukkari 1997, 32.)

### 2.4 Virheiden tyypit

Tässä käsitellään Steran konepajassa kappaleen pinnalla ilmenevät yleisimmät hitsausvirheet, joita ovat huokokset, avoimet imuontelot ja roiskeet.

### 2.4.1 Huokoset

Huokosia ja onteloja kutsutaan konepajateollisuudessa usein pelkästään huokosiksi. Huokonen on hitsiaineeseen sulkeumiin jääneiden kaasujen muodostama ontelo, joka voi olla pallomainen tai pitkänomainen. Ne muodostuvat hitsissä yksittäisiksi pallomaisiksi huokosiksi, jonoiksi tai huokoisten tasaisiksi ryhmiksi. Huokosia aiheuttavia kaasut ovat seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen hitsauksessa vety, typpi ja happi, sekä ruostumattoman teräksen ja alumiinin hitseissä vety. (Lukkari 1997, 219.)

Syitä, jotka aiheuttavat huokosia, ovat hitsiin jäänyt kaasu, kostea lisäaine, liian pieni kaasuvirtaus, liian suuri kaasuvirtaus, roiskeet kaasusuutimessa, liian suuri hitsausnopeus, liian pitkä valokaari, liian pieni hitsausvirta, epäpuhtaudet perusaineessa ja liian nopea jäähtyminen. Niiden syntymistä voidaan ehkäistä pitämällä huolta, että hitsattavien railojen pinnat ovat puhtaita ja kuivia. Hitsin lähiympäristöllä on myös vaikutusta. Seuraavat toimenpiteet ehkäisevät huokosten syntymistä: kuiva lisäaine, kaasuvirtauksen tarkastus, hitsauspaikan suojaaminen vedolta, hitsaaminen sopivilla valokaaripituudella sekä kosteuden ja muiden epäpuhtauksien eliminointi lisäaineessa ja perusaineessa. (Lukkari 1997, 219.)

Kuvassa 5 nähdään, että punaisella ympyröidylle alueelle on syntynyt huokosia MAG-hitsausprosessilla.

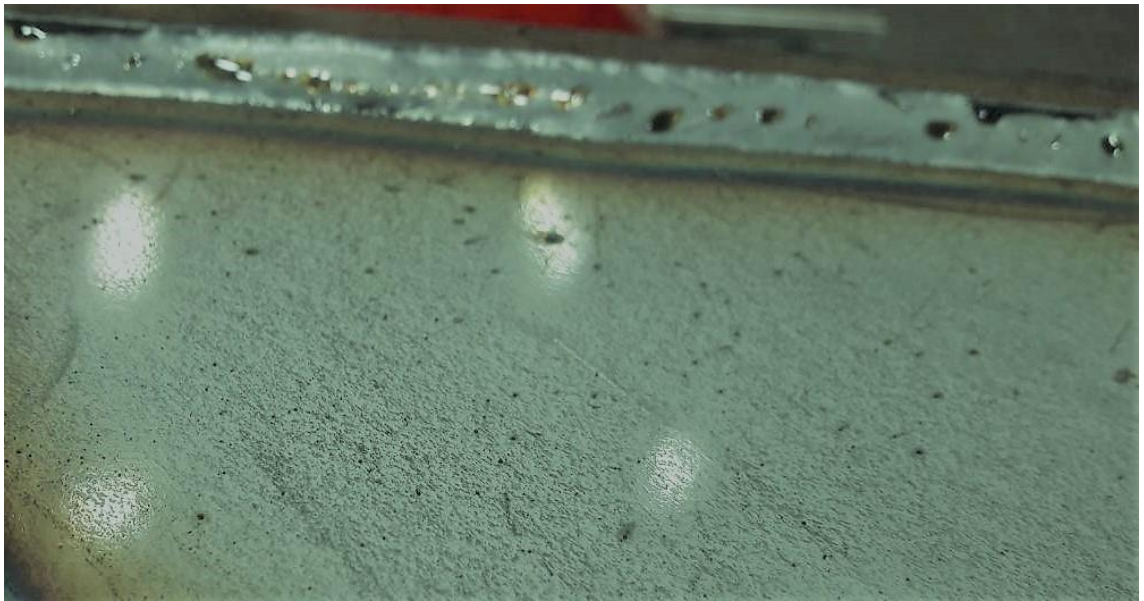


Kuva 5. Kuvassa huokokset

## 2.4.2 Roiskeet

Hitsausroiskeilla tarkoitetaan lisäaineesta tai hitsiaineesta sinkoutuneita pieniä sulapi-saroita, jotka ovat tarttuneet kiinni perusaineeseen tai jähmettyneet hitsiaineen pinnalle. MIG/MAG-hitsauksessa roiskeille on monia syitä, kuten virheelliset hitsausarvot, esimerkiksi liian suuri virta ja kun virta ja jännite eivät ole oikeassa suhteessa toisiinsa. Muita syitä roiskeisiin ovat väärä napaisuus, magneettinen puhallus, liian pitkä valokaari ja hit-saajan ammattitaito. Roiskeita voidaan ehkäistä korjaamalla hitsausarvoja, käyttämällä oikeaa napaisuutta, vähentämällä magneettista puhallusta sijoittamalla maadoitin toi-seen paikkaan ja hitsaamalla lyhemmällä valokaarella. (Lukkari 1997, 217.)

Kuvassa 6 nähdään syntyneet hitsausroiskeet MAG-hitsausprosessilla.

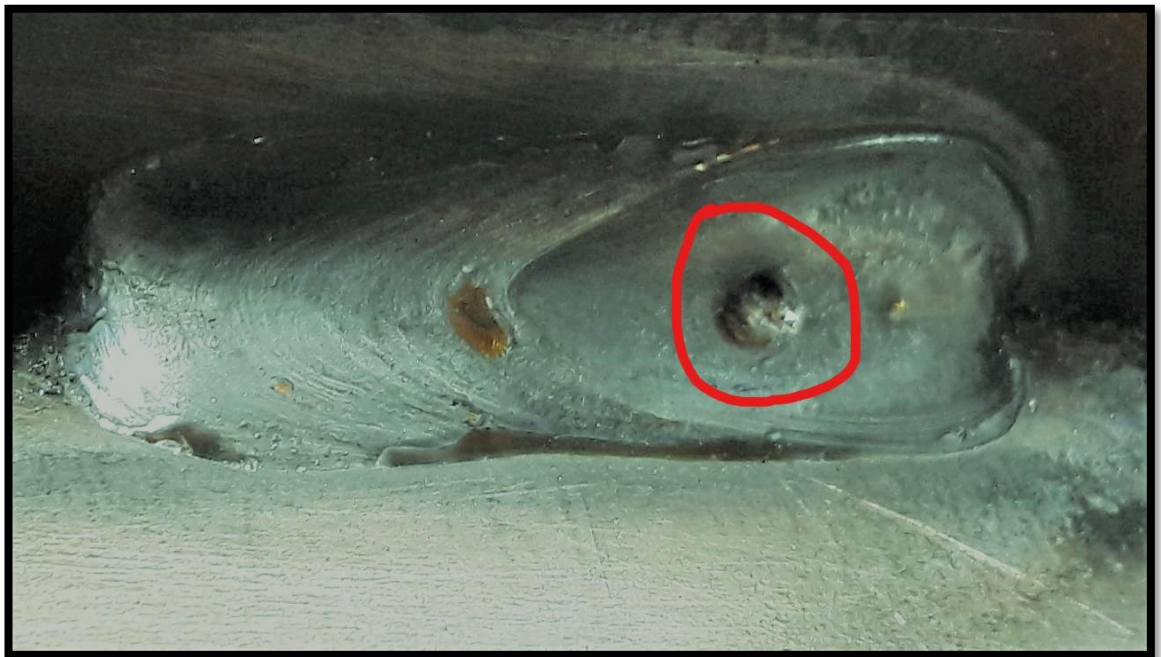


Kuva 6. Kuvassa roiskeet

### 2.4.3 Avoin imuontelo

Imuontelo eli paippi esiintyy hitsipalon lopetuksessa. Imuontelo syntyy kutistumisesta palon lopetuskohtaan, jos hitsaus päätetään virheellisellä lopetustekniikalla. Virheen välttämiseksi voidaan kuljettaa hitsauspistoolia hieman taaksepäin tai pysähdytään hetkeksi hitsin päätekohtassa. Virheen välttämiseksi voidaan käyttää myös kraatteritäyttö-laitetta, tai hitsataan päästä päähän aloitus- ja lopetuspaloja käyttäen. Jos hitsin lopussa esiintyy imuontelo, ennen hitsin jatkamista voidaan ontelo poistaa hiomalla tai talttaamalla. (SHY 2018.)

Kuvassa 7 nähdään, että punaisella ympyröidylle alueelle on syntynyt avoin imuontelo MAG-hitsausprosessilla.



Kuva 7. Kuvassa avoin imuontelo

## 3 MIG-MAG VAIKUTTAVAT HITSIIN

### HITSAUSPARAMETRIT

Hitsausparametrien valintaan vaikuttavat erilaiset tekijät, kuten esimerkiksi perusaineen paksuus, hitsaajan kokemus ja hitsausasennot.

#### 3.1 Suojakaasut

Suojakaasun tehtävä kaasukaarihitsauksessa on estää ilmassa esiintyvien hitsauksen kannalta haitallisten aineiden, kuten typen ja hapen vaikutusta hitsausprosessiin, sekä muodostaa optimaaliset olosuhteet hitsaukselle. Suojakaasu on elintärkeä kaasukaarihitsauksessa, jotta hitsiin ei synny haitallisia huokosia.

Suojakaasu vaikuttaa suoraan hitsausprosessiin, kuten hitsauksen ulkonäköön, roiskeiden määrään, hitsattavan kappaleen viimeistelyyn ja korroosio-ominaisuuksiin. Tämän takia on tärkeää valita oikea suojakaasu. Suojakaasun valintaan vaikuttavat hitsattava materiaali sekä hitsausympäristö. Tyypillisiä suojakaasun komponentteja ovat hiilidioksidi, happi, argon, helium ja vety. (Kuusisto 2014, 11.)

#### 3.2 Hitsauslisäaineet

Hitsauslisäaine on hitsauksessa hitsausvyöhykkeelle tuotavan tai liitospintojen väliin asettavan aineen nimitys. Hitsauslisäaineita ovat muun muassa hitsauslangat, hitsauspuikot tai muut vastaavat aineet. Hitsausapuaine on hitsauksessa käytävä aine, joka tekee hitsauksen mahdolliseksi tai helpottaa hitsausta. Hitsausapuaineita ovat muun muassa suojakaasut kaasukaarihitsauksessa, ja hitsausjauheet jauhekaarihitsauksessa. Puikkohitsauksen lisäaineen eli hitsauspuikon päällyste on tavallaan tällainen hitsausapuaine, koska siinä on muun muassa erilaisia suojakaasua kehittäviä ja kuonaa muodostavia aineita. (Lukkari 1997, 28.)

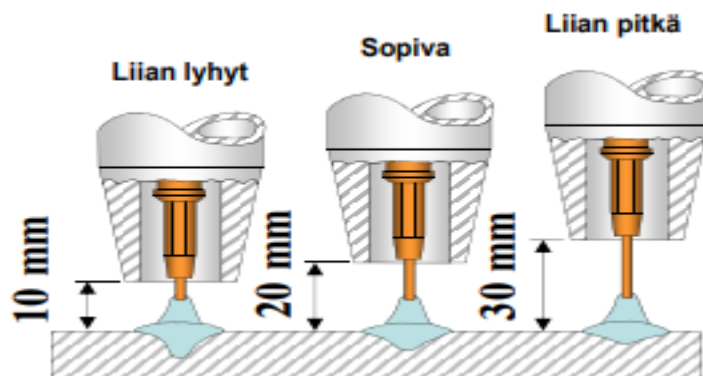
### 3.3 Suutinetäisyyden ja vapalangan pituuden vaikutus

Vapaalanka on se osa, joka on ulkona kosketussuuttimesta. Usein sillä saatetaan tarkoittaa myös kosketussuuttimen etäisyyttä työkappaleesta tai hitsipalon pinnasta, mikä on helpompi mitata.

Suutinetäisyys on hitsausparametri, joka vaikuttaa virtaan sekä suojakaasun suojaavaan vaikutukseen. Todellinen hitsausvirta muuttuu vapaalangan pituuden muuttuessa. (Lukkari 1997, 208.)

Yleisohje suutinetäisyydelle on 10-20 kertaa langan halkaisija riippuen hitsaustehosta. Lyhytkaarhitsauksella noin 10 kertaa langanhalkaisija, ja kuumakaarialueella on noin 15 kertaa langanhalkaisija. (Lukkari 1997, 221.)

Liian pienisuutinetäisyys voi aiheuttaa suuttimen ylikuumentumisen, koska lämmöntuonti kasvaa. Lisäksi tämä voi aiheuttaa reunahaavoja. Liian suuri suutinetäisyys voi aiheuttaa roiskeita ja huokosia, koska suojakaasu ei suojaa kunnolla hitsiä, jolloin palaminen ei ole puhdasta sekä sulan sekaan pääsee ilmassa olevia epäpuhtauksia. (Lukkari 2002, 221.) Kuvassa 8 nähdään, miten eri suutinetäisyydet vaikuttavat hitsin muotoon kuumakaarialueella ja 1,2 mm:n hitsauslisäaineen halkaisijalla.

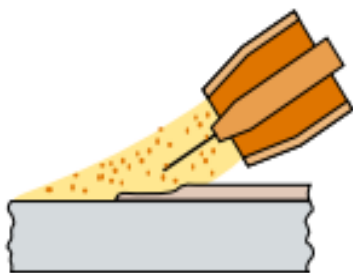


Kuva 8. Suutinetäisyyden vaikutus (Raekorpi 2018).

### 3.4 Hitsauspistoolin asento

Hitsauspistooli on osa MIG-MIG hitsauslaitetta, jonka kautta syötetään hitsauslankaa. Hitsauspistooli siirtää sen päässä olevasta kosketussuuttimessa hitsausvirran perusteella hitsauslankaa ja ohjaa suojakaasun kaasusuuttimen kautta hitsaustapahtuman suojaksi. Hitsauslangan lisäksi pistoolin kautta tulee hitsausvirta, suojakaasu, ohjainkaapelit ja jäähdytysvesi. (Kuusisto 2014, 20.)

Hitsauspistoolin liian suuri kallistus aiheuttaa sen, että suojakaasu ei enää suojaa hitsisulaa. Tästä on seurauksena huokosten muodostuminen sekä roiskeiden koon ja määrän lisääntyminen, kuten kuvassa 9 nähdään. (Kuusisto 2014, 20.)



Kuva 9 Hitsauspistoolin asennon vaikutus (Kuusisto 2014, 20).

### 3.5 Hitsausjännite (V)

Jännitteen nousu kasvattaa valokaaren pituutta, hitsauspalon leveyttä sekä lämmöntuontia, joka puolestaan vaikuttaa lämpövyöhykkeen kokoon. Reunahaava on merkki liian korkeasta jännitteestä. Toisaalta liian matala jännite tekee valokaaresta epävakaan ja hankaloittaa sen syttymistä hitsauksen aloituksessa. Jännite vaikuttaa olennaisesti myös tunkeuman muotoon ja kokoon. Matalalla jännitteellä tunkeuma on kapea ja syvä. Korkea jännite tekee tunkeumasta leveän, mutta matalan. (Weman 2012, 91.)

### 3.6 Hitsausvirta (A)

Hitsausvirta on hitsausarvo, jonka säätö on yleensä sidoksissa lisääineensyöttönopeuden kanssa, mutta sitä voidaan kuitenkin hienosäätää. Hitsausvirran kasvatus muodostaa syvemmän tunkeuman ja kupumaisen hitsin. Tämä on seurausta kahdesta asiasta: lämmöntuonnin kasvusta, joka kasvattaa tunkeumaa, sekä valokaaren lyhenemisestä, josta seuraa hitsin kaventuminen. Päinvastainen ilmiö tapahtuu, jos virta pienenee. (Kuusisto 2014, 20).

### 3.7 Hitsausnopeus ja valokaaren pituuden vaikutus

Hitsausnopeus vaikuttaa hitsipalon suuruuteen. Liian hidas kuljetusnopeus saattaa aiheuttaa sen, että sula vyöryy kaaritapahtuman eteen, jolloin syntyy kylmäjuoksua.

Nopeutta lisäämällä valokaari vaikuttaa tehokkaammin perusaineeseen ja tunkeuma kasvaa. Jos kuljetusnopeus kasvaa liian suureksi, tunkeuma pienenee, sillä lämpötila vaikuttaa vähemmän aikaa perusaineeseen. Valokaaren pituuden säätö vaikuttaa lähinnä hitsin pinnan muotoon. Lyhyeksi säädetty valokaari aiheuttaa syvän ja kapean tunkeuman ja hitsin palon pinta muodostuu kapeaksi ja korkeaksi. Liian pitkä valokaari aiheuttaa roiskeita, huokosia sekä reunahaavoja. (Kuusisto 2014, 21.)

## 4 HITSAUSTUOTANNOSSA ESIINTYVIEN HITSAUSVIRHEIDEN SYYT JA NIIDEN RATKAISUT

### 4.1 Huokokset

Hitsaustuotannossa huokosten hitsausvirheiden syynä voi olla, että

- hitsauspöydät ovat täynnä pölyä, josta seuraa, että kappaletta kääntäessä hitsattavaan railoon tarttuu pölyä eli epäpuhtauksia
- huokosten yleisimmät syntyiskohdat ovat nurkkaliitoksissa ja päittäisliitoksissa
- kaasusuuttimet ovat tukossa hitsausroiskeista
- kaasuhajottimet ovat rikki eikä niitä ole vaihdettu
- laserilla leikatessa syntynyt hilse on poistamatta

Ratkaisuja huokosten hitsausvirheisiin ovat esimerkiksi seuraavat:

- Hitsauspöytä on puhdistettava pölystä ennen uuden työn aloittamista.
- Nurkkaliitokset puhalletaan paineilmalla puhtaaksi, jotta railoon kiinni tarttuneet epäpuhtaudet saadaan poistetuksi.
- Nurkkaliitos tulisi hitsata mieluummin ylhäältä-alaspäin (PG) asennolla.
- Hitsausroiskeidensuojausaineita tulee välttää.
- Hitsareiden lisäkoulutus siitä, miten hitsauspistoolin asento vaikuttaa suojakaasuun jakautumiseen.
- Kuluneet kaasusuuttimet on vaihdettava.
- Kaasusuuttimet on huolellisesti putsattava hitsausroiskeista.
- Kaasusuutinten suoja-ainetta on käytettävä.
- Hilse on poistettava ennen hitsausta.
- On tarkistettava huolellisesti kaasuhajottimet ja vaihdettava ne tarvittaessa.

## 4.2 Avoimet imuontelot

Hitsaustuotannossa avointen imuonteloiden hitsausvirheiden syynä voi olla, että

- Hitsausrailoon on levitetty roiskeidensuojusainetta.
- Puutteellinen tekniikka hitsin lopetuksen kohdalla.

Ratkaisuja avointen imuonteloiden hitsausvirheisiin ovat esimerkiksi seuraavat:

- Hitsausroiskeidensuojusaine on poistettava kokonaan railosta.
- On käytettävä lopetuskraatteria täyttö, tai hitsauspistoolia on liikutettava noin 10 mm taaksepäin ennen hitsauksen lopetusta.

## 5 HITSAUSTUOTANNOSSA TEHDYT HAVAINNOT

### 5.1 MAG-hitsauksen kaarityypit

Hitsausohjeessa (WPS) hitsausarvot riippuvat materiaalin paksuudesta, hitsin a-mitasta ja hitsausasennosta.

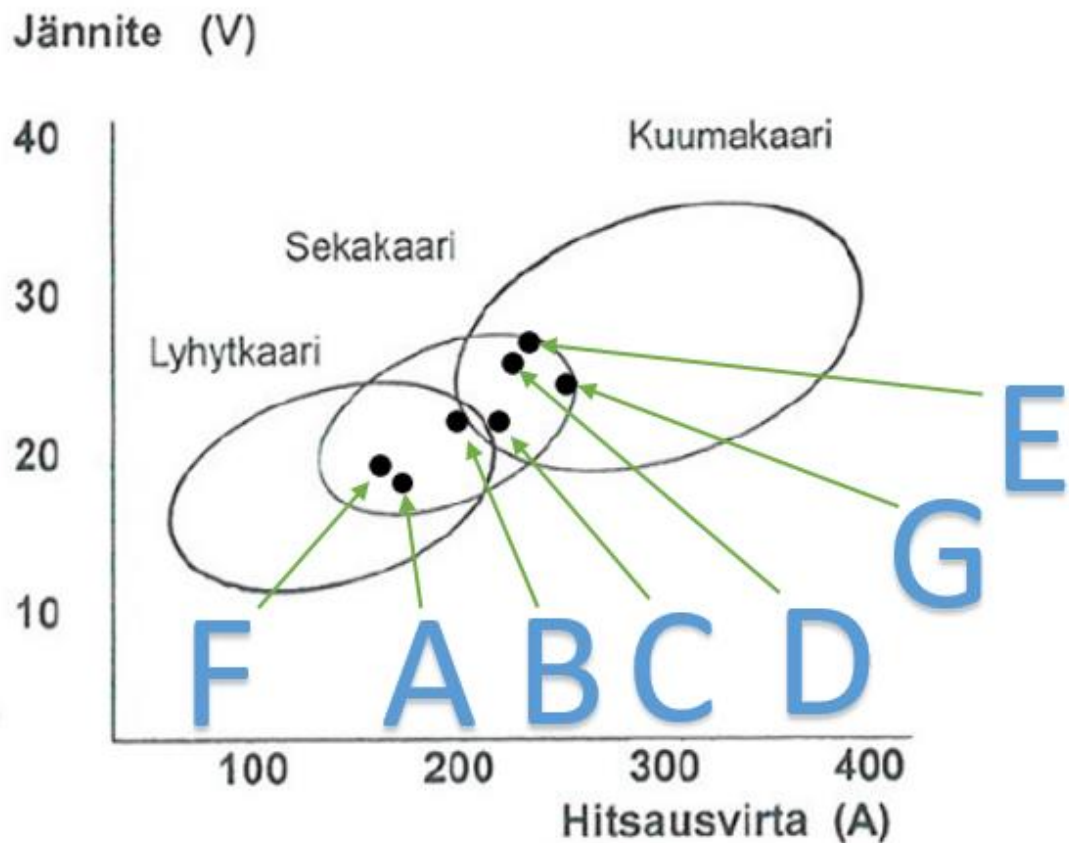
Tässä esitetään MAG-hitsauksen kaarialueen parametrit (taulukko 1) seostamattomaan teräkseen hitsauksessa. Hitsauslangan halkaisija on 1 mm, suojakaasu on 92 % argonia ja 8 % hiilidioksidia. Hitsauksen kaarialueet ovat minimi- ja maksimialueella 65 A /15 V - 175 A – 20 V lyhytkaari, alueella 160 A /22 V-215 A /25 V sekakaarialue ja alueella 205A/27V-280A/32V kuumakaarialue. (Lukkari 1997, 174.)

Taulukko 1. Hitsausparametrit

Hitsausparametrit			
WPS numero	Tunnukset	Hitsausvirta (A)	Jännite (V)
3	A	170–190	17,5–20
4	B	185–220	22–24,5
6	C	210–230	22–24
7	D	210–240	25–27
7	E	230–260	25,5–28
8	F	165–185	19–20
13	G	220–250	24–25

Kuvasta 10 nähdään, että hitsausarvot, joilla pienaliitos hitsataan, aiheuttavat hitsaamisen välikaarialueella, mikä tarkoittaa, että roiskeiden määrä on suuri.

Kuvaan on merkitty pienaliitoksen MAG-hitsausprosessin kaarialueet, jotka on esitetty hitsausparametrien taulukossa (1).

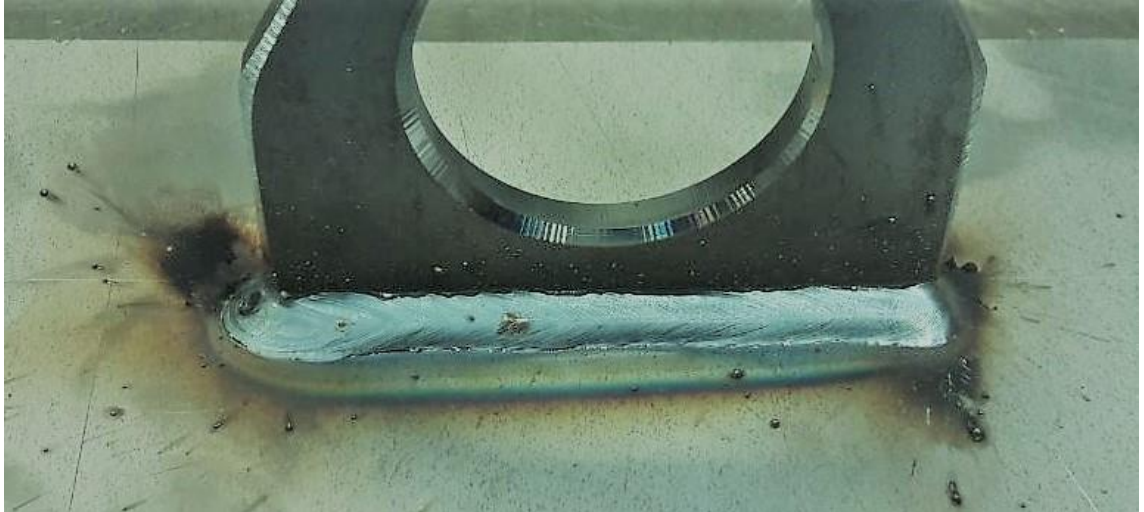


Kuva 10. Kaarityypit teräksen hitsauksessa (Lukkari 1997, muokattu).

## 5.2 Kuparilla pinnoitetun ja pinnoittamattoman hitsauslisäainelangan vertailu

Hitsauskoe suoritettiin käsin hitsaamalla perinteisellä MAG-hitsausprosessilla. Testauksessa käytettiin kahden eri valmistajan hitsauslisäaineita, jotka olivat kuparilla pinnoitettu Lincoln Ultra Mag- sekä Böhler EMK 8 NC pinnoittamaton -umpilankoja. Teräksen laatu oli S235JR2.

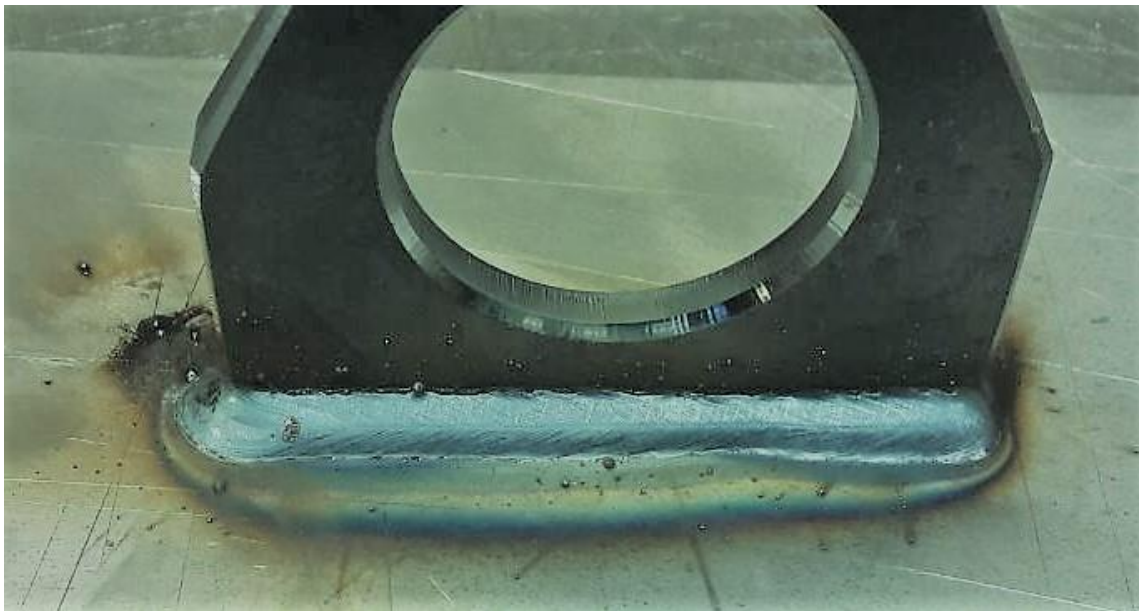
Kuvassa 11 nähdään, kuinka paljon kuparilla pinnoitettu lisäainelanka perinteisellä MAG-hitsausprosessilla aiheuttaa roiskeita



Kuva 11. Hitsausroiskeet kuparilla pinnoitetulla lisäainelangalla

Kuvassa 12 nähdään, kuinka paljon pinnoittamaton lisäainelanka perinteisellä MAG-hitsausprosessilla aiheuttaa roiskeita.

Kuvista voidaan päätellä että, molemmista hitsauslisäainelangoista syntyy yhtä paljon roiskeita.



Kuva 12. Hitsausroiskeet kuparilla pinnoittamattomalla lisäainelangalla

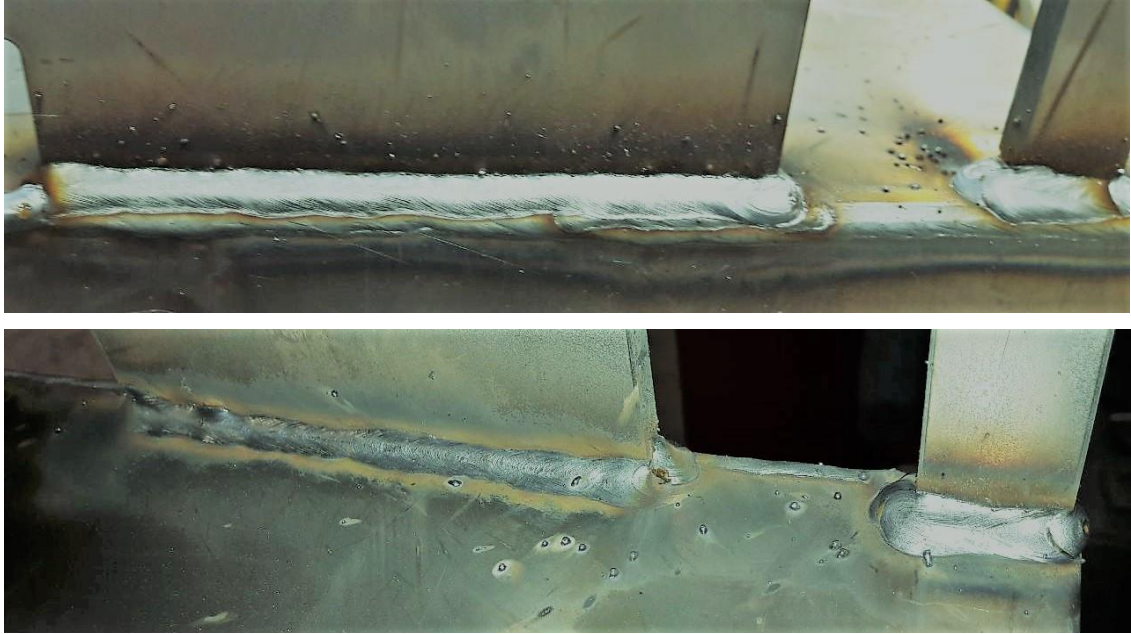
### 5.3 Vertailu pulssi-MIG/MAG ja perinteinen-MIG/MAG-prosessi

Hitsauskokeeseen valittiin kaksi samanlaista hitsattavaa tuotetta, joiden aineenvahvuus vaihteli kolmesta kahdeksaan millimetriin. Teräksen laatu oli S235JR2. Hitsausprosessi suoritettiin käsin hitsaamalla, kuten konepajassa hitsataan. Testauksessa käytettiin kahden eri valmistajan hitsauskoneita, jotka olivat Kemppi ja Migatronic. Koekappaleissa käytettiin suojakaasuna Arcal speed -kaasua, joka sisältää 92 % argonia ja 8 % hiilidioksidia. Lisäaineena käytettiin 1 mm pinnoittamatonta Böhler EMK 8 NC -umpilankaa.

Ennen koekappaleiden hitsaamisesta suojakaasun virtauksen määrä tarkastettiin WPS:n mukaan ja määrä varmistettiin kaasuvirtausmittarilla. Lisäksi roiskeet kaasuuttimesta poistettiin huolellisesti pihdillä ja koekappaleen railo puhallettiin puhtaaksi paineilmalla. Koekappaleissa ei käytetty roiskeidensuojausainetta.

Kokeet suoritettiin alapiena- ja pystyhitsaus alaspäin -hitsausasunnoille, kuten hitsausohjeessa (WPS) mainitaan. Kempin hitsauskoneella käytettiin perinteistä MAG-hitsausprosessia, ja sama hitsauskoe tehtiin myös Migatronic-hitsauskoneella käyttäen MAG-pulssi-hitsausprosessia. Näiden kahden valmistajan valinta johtui siitä, että konepajan olemassa olevat hitsauskoneet ovat Kempin koneita, jotka käyttävät perinteistä MAG-hitsausprosessia, ja Migatronicin pulssi-MAG-hitsauskone oli puolestaan mahdollista saada helposti lainaksi.

Kuvissa 13 nähdään, kuinka paljon perinteinen MAG-hitsausprosessi aiheuttaa roiskeita.

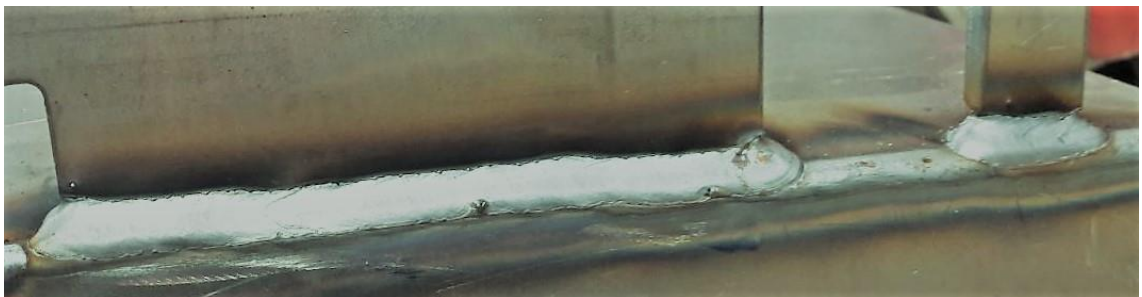


Kuva 13. Hitsausroiskeet perinteisellä MAG-hitsausprosessilla.

Kuvissa 14 nähdään, kuinka paljon vähemmän roiskeita syntyy pulssi-MAG-hitsausprosessilla.

Kokeissa havaittiin, että Migatroni-hitsauspistoolin pää kuumeni, koska hitsauskoneessa ei ole vesijäähdytintä, joka jäähdyttäisi hitsauspistoolia. Hitsausprosessia pystyttiin jatkamaan tästä huolimatta. Migatroni tarjoaa myös hitsauskoneita, joissa on vesijäähdyttimet, joilla kuumeneminen voidaan välttää.

Vertailun vuoksi hitsattiin kaksi samaa tuotetta, jossa kummassakin oli yhteensä 21 metriä hitsiä. Ensimmäinen koe hitsattiin perinteisellä MAG-hitsausprosessilla ja toinen pulssi-hitsausprosessilla. Pulssi-MAG-hitsauksen viimeistely kesti huomattavasti vähemmän aikaa kuin perinteisen MAG-hitsauksen. Pulssi-MAG-hitsauksen viimeistely kesti 14 min 8 s ja perinteisen hitsauksen 47 min 35 s.





Kuva 14. Hitsausroiskeet pulssi-MAG-hitsausprosessilla.

#### 5.4 Vertailu PMC ja perinteinen MAG-hitsausprosessi

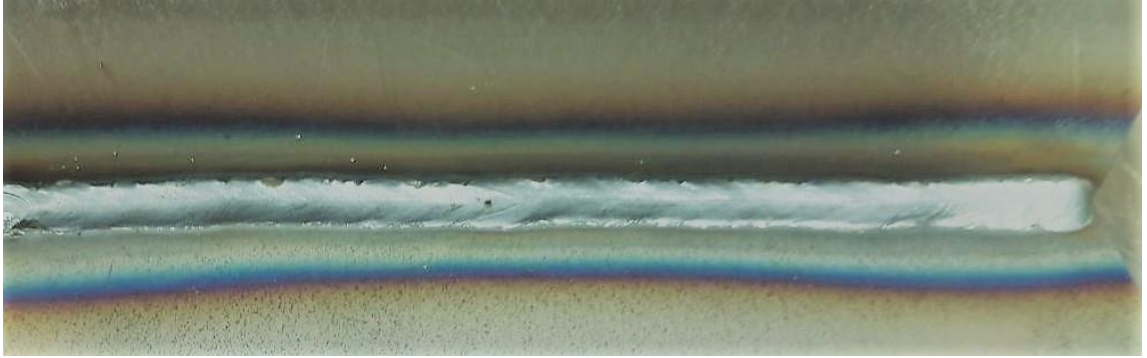
Hitsauskoe suoritettiin käsin hitsaamalla eikä automatisoidusti, koska Stera Technologies Oy:n Kaarinan tehtaalla hitsataan pelkästään käsin, ja tarkoitus oli testata erityisesti käsin hitsausta. Testauksessa käytettiin kahden eri valmistajan hitsauskoneita, jotka olivat Kemppi ja Fronius. Koepaloissa käytettiin suojakaasuna Arcal speed -kaasua, joka sisältää 92 % argonia ja 8 % hiilidioksidia. Lisäaineena käytettiin pinnoittamatonta 1 mm Böhler EMK 8 NC umpilankaa. Teräksen laatu oli S235JR2.

Konepajalla oli valmiina WPS, josta haettiin hitsausparametrien arvot riippuen hitsausasennosta, materiaalin vahvuudesta ja hitsin a-mitasta.

Ennen uusien koepalojen hitsaamisesta suojakaasun virtauksen määrä tarkastettiin WPS:n mukaan ja määrä varmistettiin kaasuvirtausmittarilla. Lisäksi roiskeet kaasusuuttimesta poistettiin huolellisesti pihdillä ja koekappaleen railo puhallettiin puhtaaksi paineilmalla. Koekappaleessa ei käytetty roiskeidensuojausainetta.

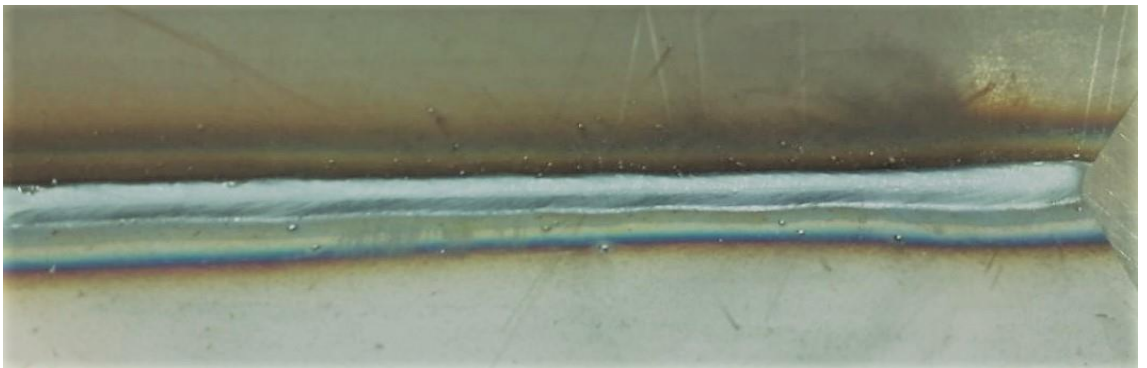
Testaus suoritettiin Kempin hitsauskoneella, ja testauksessa käytettiin perinteistä MAG-hitsausprosessia, ja sama hitsauskoe tehtiin myös Fronius-koneella käyttäen PMC MAG-hitsausprosessia.

Kuvassa 15 nähdään, kuinka paljon vähemmän roiskeita syntyy PMC-MAG-hitsausprosessilla.



Kuva 15. hitsausroiskeet PMC MAG-hitsausprosessilla.

Kuvassa 16 nähdään, kuinka paljon perinteinen MAG-hitsausprosessi aiheuttaa roiskeita.

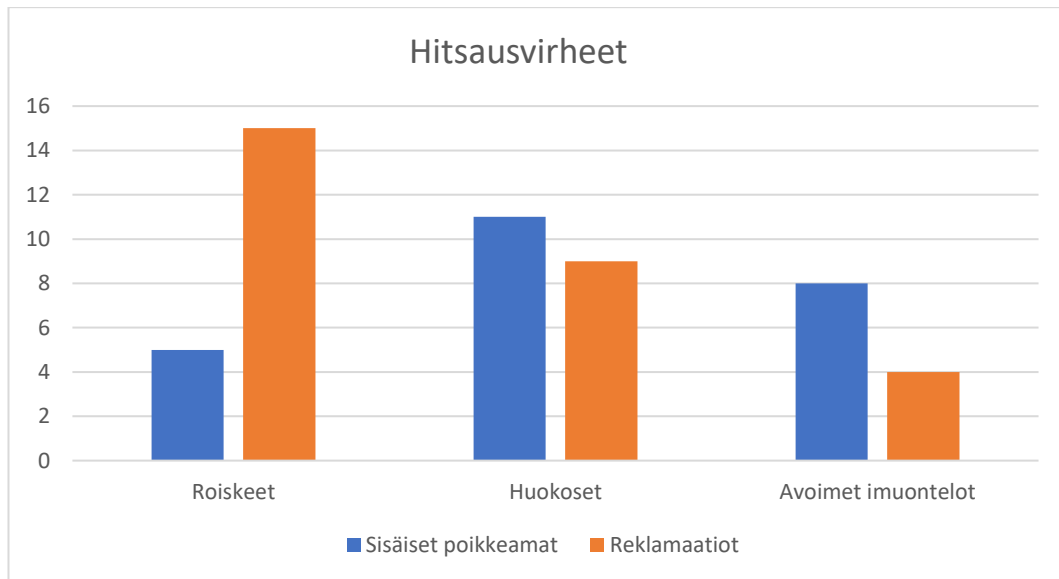


Kuva 16. Hitsausroiskeet perinteisellä MAG-hitsausprosessilla.

### 5.5 Sisäisten poikkeamien ja asiakasreklamaatioiden vertailu

Sisäisiä poikkeamia eli talon sisäisessä tarkastuksessa löytyneitä hitsausvirheitä, ja asiakasreklamaatioita vertailtiin viimeisen seitsemän kuukauden ajalta. Yleisimmät virheet olivat roiskeet, huokoset ja avoimet imuontelot.

Kuviossa 1 nähdään, että hitsausroiskeiden reklamaatioita on kolme kertaa enemmän kuin mitä on todettu sisäisiksi poikkeamiksi. Avoimia imuonteloita todettiin sisäisesti enemmän kuin reklamaatioissa. Huokosten kohdalla sisäisten poikkeamien ja reklamaatioiden määrät vastasivat suurin piirtein toisiaan. Tämä kertoo sitä, että silmämääräistä tarkastusta ei ole tehty huolellisesti.



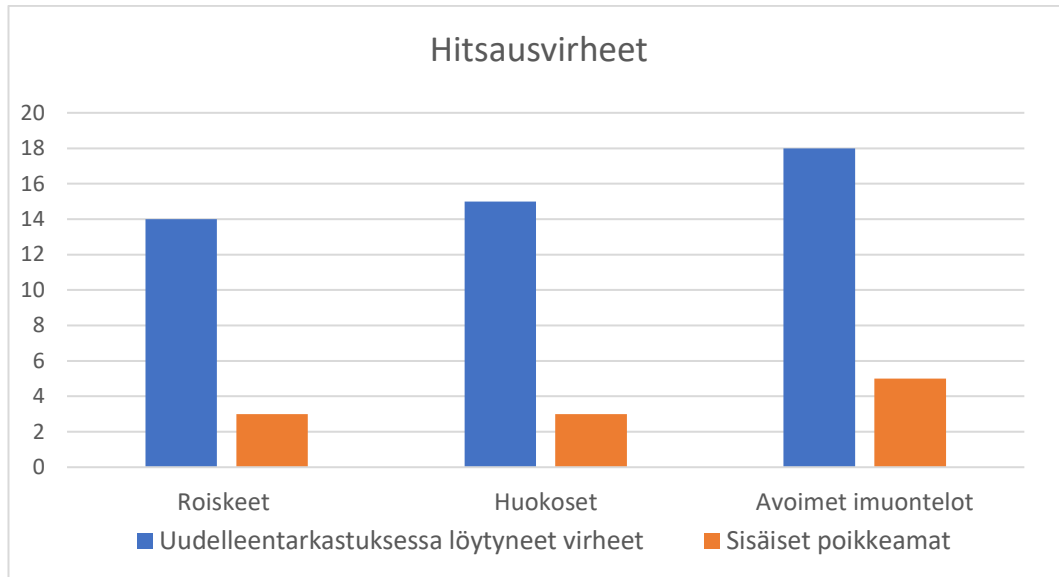
Kuvio 1. Sisäiset poikkeamat ja asiakasreklamaatiot.

#### 5.6 Sisäisten poikkeamien ja uudelleentarkastuksessa löytyneiden virheiden vertailu

Konepajassa suoritettiin sisäisistä tarkastuksista läpi päässeiden tuotteiden eli maalattujen ja asiakkaalle lähtövalmiina olleiden tuotteiden uudelleentarkastukset kolmena päivänä viikossa yhden kuukauden ajan. Uudelleentarkastus tehtiin yleisimpien hitsausvirheiden eli roiskeiden, huokosten ja avoimien imuonteloiden osalta.

Kuviossa 2 nähdään, että uudelleentarkastuksen jälkeen löydettyjen hitsausvirheiden määrä on huomattavasti suurempi kuin sisäiset poikkeamat. Tämä kertoo sitä, että suuri osa syntyneistä hitsausvirheistä on päässyt tarkastuksesta läpi.

Tästä huomattiin, että on mahdotonta silmämääräisellä tarkastuksella nähdä hitsin pinnan alle syntyneitä yksittäisiä huokosia. Tämä virhe tulee näkyviin vasta, kun tuotteet puhalletaan hiekkapuhalluksella silmämääräisen tarkastuksen jälkeen. Hiekkapuhalluksen aikana hitsin pinnan alle jääneiden yksittäisten huokosten pinta rikkoutuu, jolloin ne tulevat näkyviin.



Kuvio 2. Sisäiset poikkeamat ja tarkastuksen jälkeen löytyneet virheet.

### 5.7 Ehdotuksia silmämääräisten tarkastusten parantamiseksi

Silmämääräisten tarkastusten parantamiseksi tehtiin seuraavia ehdotuksia:

- Hitsarit viimeistelevät itse tuotteet ja tarkistavat ne ennen tarkastukseen lähettämistä.
- Tuotteet puhalletaan ulkona sekä sisällä paineilmalla ennen tarkastusta, jotta kaikki hiomisestä jäävä pöly tulee poistettua.
- Tuotteet on käännettävä ympäri, jotta kaikki pinnat tulevat tarkastettua.
- Tuotteet käsitellään huolellisesti ja rauhallisesti.

## 6 TULOKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia, mistä kohdeyrityksen yleisimmät hitsausvirheet eli roiskeet, avoimet imuontelot ja huokokset syntyvät, ja löytää ennaltaehkäisivät toimenpiteet niille. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella, miten ennaltaehkäisevät toimenpiteet ovat vaikuttaneet, mutta tätä ei rajallisen aikataulun takia ehditty tehdä.

Työn tuloksena löydettiin tapoja vähentää hitsausroiskeiden määrää. Sekä hitsauskaasun että lisäaineen valinnalla voidaan roiskeita vähentää, mutta kun niillä on saavutettu paras tulos, jää jäljelle hitsausprosessin merkitys, ja voidaan todeta, että pulssi-MAG-hitsausprosessi on paras vaihtoehto roiskeiden määrän ja välikaarialueen välttämiseksi.

Perinteisen MAG-hitsauksen ja pulssi-MAG-käsinhitsauksen hitsien viimeistelyyn käytettyä aikaa vertailtiin. Pinnan roiskeiden poistamiseen käytetyllä ajalla oli merkittävä ero eri prosessien välillä. Pulssi-MAG-hitsausprosessilla viimeistelyyn käytetty aika oli 70 % pienempi kuin perinteisellä-MAG-hitsausprosessilla. Lisäksi pulssi-MAG-hitsausprosessi pienentää muiden hitsausvirheiden riskiä, hitsin ulkonäkö on parempi, se vähentää asiakasreklamaatioita sekä viimeistelyyn tarvittavien tarvikkeiden määrää, ja samalla tuotannon tuottavuus kasvaa.

Pulssi- ja PMC-MAG-hitsaus soveltuvat käytettäväksi, kun halutaan tuottaa roiskeettomia hitsattuja tuotteita, joita toisaalta on mahdotonta saada aikaiseksi sekakaarialueella perinteisellä hitsausprosessilla. Pulssiprosessi pienentää lämmöntuontia, joka aiheuttaa muodonmuutoksia työkappaleessa. Lisäksi pulssiprosessi kasvattaa tuottavuutta verrattuna perinteiseen MAG-hitsausprosessiin, koska samalla hitsausvirralla langansyöttönopeus kasvaa noin 20 % suuremmaksi, ja tuloksena saadaan kasvatettua lisäaineen sulatustehokkuutta (kg/h).

Hitsauskoneiden hinnat olivat myös tärkeä vertailutekijä. Perinteinen MIG-MAG-hitsausprosessi on eniten käytetty metalliteollisuuden hitsausprosessi. Toisaalta pulssi- ja PMC-MAG-hitsauksella voidaan eliminoida hitsausroiskeet, mikä vähentää jälkikäsitteilyn tarvetta ja parantaa tuotannon tehokkuutta.

Tutkimuksessa saatiin selvitettyä, mistä avointen imuonteloiden ja huokosten syntyminen johtuu, ja lisäksi selvitettiin, millä niitä voidaan ennaltaehkäistä.

Sisäisiä poikkeamia, eli tarkastuksissa löytyneitä hitsausvirheitä, ja asiakasreklamaatioita tutkittiin ja vertailtiin, sekä verrattiin uudelleentarkastuksissa löytyneitä virheitä sisäisiin poikkeamiin. Tutkittiin, kuinka paljon virheitä pääsee ensimmäisen silmämääräisen tarkastuksen läpi maalaamoon ja sieltä eteenpäin lähettämöön. Uudelleentarkastukset osoittivat, että merkittävä määrä hitsausvirheitä pääsee läpi tarkastuksista.

Koska yksittäisiä huokosia on mahdotonta silmämääräisesti havaita ennen hiekkapuhallusta ja maalausta, suositellaan, että tuotteet uudelleen tarkastetaan heti maalauksen jälkeen, kun ne ovat vielä kiinni maalausradalla, mikä nopeuttaa tarkastusprosessia. Huokosten tarkastamisen lisäksi voidaan samalla havaita mahdollisia muita tarkastuksesta läpi päässeitä hitsausvirheitä. Lisäksi suositellaan, että ehdotetut toimenpiteet tarkastusten parantamiseksi otetaan käyttöön. Nämä ehdotukset yhdessä todennäköisesti vähentävät asiakasreklamaatioita.

Myös hitsauslankoja ja niiden aiheuttamia roiskeita vertailtiin. Testauksen aikana kokeiltiin kahta erilaista umpilankaa eri valmistajilta, joista toinen oli pinnoitettu kuparilla ja toinen pinnoittamaton. Näillä kahdella langalla hitsattiin koekappaleet eri levyn paksuuksilla. Tuloksena molemmista syntyi yhtä paljon roiskeita, vaikka pinnoittamattomalla langalla valmistajan mukaan syntyisi vähemmän roiskeita.

Työn aihe oli haastava ja erittäin mielenkiintoinen. Hyvää oli myös, että työn aikana pääsi käyttämään työkokemusta ja koulussa opittua tietoa, ja lisäksi opin lisää tietoa hitsaus-tekniikasta

## LÄHTEET

Esab, 2018. Viitattu 17.11.2018. <http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/hitsausmenetelmat.cfm>

Fronius, 2017-2018. Viitattu 28.11.2018. <https://www.fronius.com/en-us/usa/welding-technology/our-expertise/welding-processes/pmc>

Kuusisto, T. 2014. Käytännön ohjeita MIG/MAG- hitsaukseen. AGA.

Lukkari, J & Kyröläinen, A. 2002. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsattavuus. Helsinki: Tammer-Paino Oy.

Lukkari, J. 1997. Hitsaus-tekniikka perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki: Edita Prima Oy.

Makkonen, M & Lepola, P 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet Helsinki Söderström Osakeyhtiö.

Raekorpi, P, 2017. kemppi aineisto MIG-MAG- prosessi. Kemppi Oy.

Stera Technologies Oy. 2015. Viitattu 26.10.2018. <http://stera.com/fi/products-and-services/>

SHY. 2018. Viitattu.29.11.2018. <https://docplayer.fi/16695765-Perusaineesta-johtuvat-hitsausvirheet-ovat-paaasiassa-halkeamia-kuuma-ja-tai-kylmahalkeamia.html>

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