

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

LUT Kone

BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

MODIFIOIDULLA PROSESSILLA VARUSTETUN MAG-PULSSIHITSAUKSEN
JA MAG-LYHYTKAARIHITSAUKSEN VERTAILU

COMPARISON BETWEEN PULSED MAG WELDING EQUIPPED WITH A
MODIFIED FUNCTION AND SHORT ARC MAG WELDING

Aki Riikonen 30.10.2013

Työn tarkastaja: DI Jenni Toivanen

SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn taustaa	6
1.2	Työn tavoite ja rajaus	7
1.3	Menetelmät.....	7
1.4	Kemppi Oy	7
2	MODIFIOITU MIG/MAG-HITSAUS, TUOTTAVUUS JA LAATU	8
2.1	MIG/MAG-hitsaus	8
2.1.1	MAG-lyhytkaarihitsaus.....	9
2.1.2	MAG-pulssihitsaus.....	10
2.1.3	WiseFusion™	11
2.2	A-mitan ja tunkeuman määrittäminen.....	13
2.3	Hitsausprosessien tuottavuus, hitsausenergia ja lämmöntuonti	14
2.4	Hitsien aineenkoetus	18
3	HITSAUSKOKEET.....	19
3.1	Hitsauskoemateriaali ja -laitteisto	19
3.2	Hitsauksessa tutkittavat asiat	21
3.3	Hitsauksen vaiheet	22
3.3.1	Ennen hitsausta.....	22
3.3.2	Hitsauksen aikana.....	23
3.3.3	Hitsauksen jälkeen	26
4	TUTKIMUSTULOKSET	27
4.1	Hitsaustapahtuman havainnointi	27
4.2	Hitsin silmämääräinen tarkastus	28

4.3	Makrohietutkimus	29
4.4	Murtokoe	32
4.5	Tärkeimmät hitsausparametrit ja laskelmat	35
5	TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	37
6	YHTEENVETO	40
	LÄHTEET	41
	LIITTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Symbolit

<i>A</i>	Hitsausvirta [I]
<i>a_i</i>	Tehollinen tunkeuma
<i>a_k</i>	Mitattavissa oleva a-mitta
Al	Alumiini
C	hiili
<i>E</i>	Hitsausenergia [kJ/mm]
<i>e</i>	Kaariaikasuhde/paloaikasuhde [%]
<i>i</i>	Tunkeuma
<i>k</i>	Terminen hyötysuhde hitsauksessa
<i>M</i>	Hitsiainemäärä [kg/m]
Mn	Mangaani
Nb	Niobium
P	Fosfori
Q	Lämmöntuonti [kJ/mm]
S	Rikki
<i>S</i>	Sulatusnopeus [kg/h]
<i>s</i>	Hitsin pituus [mm]
Si	Pii
<i>T</i>	Hitsiaineentuotto [kg/h]
<i>t</i>	Hitsaamiseen kulunut aika [s]
<i>t_k</i>	Hitsauksen kaariaika [h]
<i>t_{kok}</i>	Hitsaustyöhön käytetty kokonaisaika [h]
<i>U</i>	Jännite [V]
V	Vanadiini
<i>v</i>	Hitsausnopeus [mm/s; cm/min]
I	4 mm a-mittainen MAG-lyhytkaarihitsi
II	6 mm a-mittainen MAG-lyhytkaarihitsi
III	4 mm a-mittainen WiseFusion TM -MAG-pulssihitsattu hitsi
IV	6 mm a-mittainen WiseFusion TM -MAG-pulssihitsattu hitsi

Lyhenteet

1-MIG	Kemppi Oy:n kehittämä synerginen MIG/MAG-hitsaus-toiminto
a-mitta	Pienahitsin sisään piirretyn tasakylkisen kolmion korkeus
CEV	Equivalent carbon value, Hiiliekvivalentti
DT	Destructive testing, rikkova aineenkoetus
EN	European standard, Euroopan standardisoimisjärjestön tunnus
ET	Eddy current testing, pyörrevirtatarkastus
ISO	International Organization for Standardization- Kansainvälinen standardisointijärjestö
MC	Termomekaanisesti valssattu (M) ja kylmämuovattava (C)
MAG-hitsaus	Metallikaasukaarihitsaus käyttäen aktiivista suojakaasua (Metal Active Gas)
MIG-hitsaus	Metallikaasukaarihitsaus käyttäen inerttiä suojakaasua (Metal Inert Gas)
MT	Magnetic particle testing, magneettijauhetarkastus
NDT	Non destructive testing, rikkomaton aineenkoetus
PF	Hitsausasento: pystypienahitsaus alhaalta ylöspäin
PT	Penetrant testing, tunkeumanestetarkastus
RT	Radiographic testing, radiografinen tarkastus
SFS	Suomen standardisoimisliitto
TIG-hitsaus	kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa työkappaleen ja sulamattoman volframielektroodin välissä inertin suojakaasun ympäröimänä (Tungsten Inert Gas Arc Welding)
UT	Ultrasonic testing, ultraäänitarkastus
VT	Visual testing, silmämääräinen tarkastus
131	MIG-hitsauksen numerotunnus
135	MAG-hitsauksen numerotunnus

1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö on tehty Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa konetekniikan osastolle kevään ja syksyn 2013 aikana Kemppi Oy:n toimeksiantona. Työssä tarkastellaan WiseFusionTM-toimintoa käyttävää MAG-pulssihitsausprosessia ja verrataan sitä MAG-lyhytkaarihitsaukseen. Hitsausasentona tutkimuksessa on pienahitsi ja hitsaussuunta alhaalta ylöspäin (PF).

1.1 Työn taustaa

Yleisin tapa liittää teräksiä yhteen on hitsaus. Siinä osat liitetään toisiinsa käyttäen hyväksi puristusta ja/tai lämpöä, jolloin niiden välille saadaan jatkuva yhteys. Lämmönlähteenä hitsauksessa käytetään yleensä valokaarta, joka saadaan aikaan hitsausvirtalähteen tuottamalla sähköllä. (Ovako Oy, 2012, s. 3; Lukkari, 2002, s. 11; Kemppi Oy, 2013a.)

Hitsaustuotannon kehittymisellä on suuri taloudellinen merkitys koko kansantaloudelle yksittäisistä yrityksistä lähtien. Hitsaavan teollisuuden kehittyessä on mahdollista valmistaa entistä laadukkaampia hitsattuja tuotteita. Hitsaustekniikan kehittyminen voi mahdollistaa aivan uudenlaisen tuotteen suunnittelun ja valmistamisen, mikä aikaisemmin olisi ollut mahdotonta. Digitaalisen tekniikan ja uusien elektroniikkakomponenttien käyttöönottoaminen hitsauslaitteistoissa on lisännyt hitsaustyön tuottavuutta hitsaavassa teollisuudessa. (Lukkari, 2002, s. 13; Kemppi Oy, 2013b, s. 3.)

Yksi esimerkki hitsaavan teollisuuden ja hitsauslaitteiden kehittämisestä on Kemppi Oy:n WiseTM-tuoteperhe, jossa tietotekniikan avulla tuodaan asiakkaille lisää hyötytoimintoja hitsauslaitteisiin ja helpotetaan hitsauslaitteiden käyttämistä. Tuoteperheeseen kuuluu WiseFusionTM, -PenetrationTM, -RootTM ja -ThinTM. (Kemppi Oy, 2013b, s. 3.)

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Työn tavoitteena on selvittää tuoko WiseFusionTM-toiminnon käyttäminen MAG-hitsauslaitteessa lisähyötyä hitsaajalle, kun hitsataan pienahitsiä alhaalta ylöspäin ilman hitsausprosessin mekanisointia.

Työssä keskitytään vertaamaan WiseFusionTM-toiminnolla varustettua MAG-pulssihitsausta MAG-lyhytkaarihitsaukseen. Hitsattavana sovelluksena on pystypienahitsaus suuntana alhaalta ylöspäin (PF) käyttäen yhtä palkoa. Kummallakin prosessilla hitsataan yksi kappale 4 mm ja yksi 6 mm nimellisellä a-mitalla ilman hitsausprosessin mekanisointia. Tämän jälkeen verrataan näiden kahden prosessin tuottavuutta, lämmöntuontia ja hitsausnopeutta. Lisäksi tutkitaan hitsin laatua silmämääräisellä tarkastamisella. Tunkeumaa tarkastellaan makrohieiden ja murtokokeen avulla.

1.3 Menetelmät

Työn teoriaosa koostuu kirjallisuuskatsauksesta. Käytännönsuudessa testataan kumpaakin hitsausprosessia hitsauslaboratoriossa ja lopuksi vertaillaan hitsauksessa saatuja tuloksia toisiinsa. Käytännön osuuteen kuuluu myös tärkeänä osana hitsaajan kysymyslista, johon on koottu kysymyksiä tutkittavista hitsausprosesseista.

1.4 Kemppi Oy

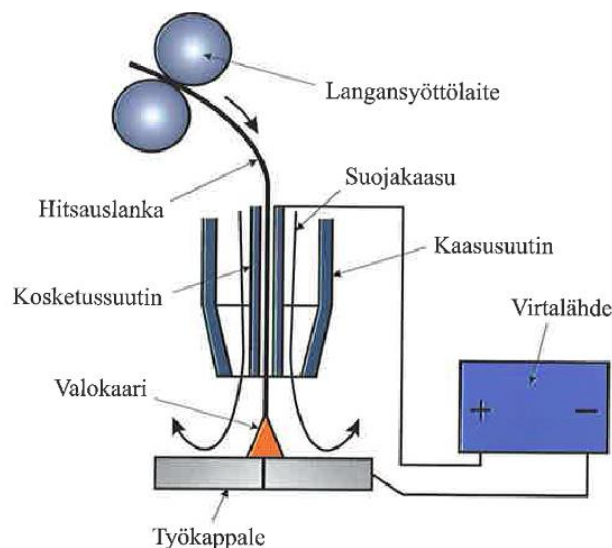
Kemppi Oy on maailman johtava tuottavan hitsauksen ratkaisutarjoaja ja kaarihitsausvälinevalmistaja. Kemppi Oy:n valmistamat hitsauslaitteet ja uusinta tekniikka edustavat ratkaisut ovat maailmanlaajuisessa arvossa. Tämänlaisia innovatiivisia ratkaisuja ovat esimerkiksi WiseTM-tuotteet. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Lahdessa, sillä on toimipisteitä 15 maassa ja säännöllistä vientiä noin 70 eri maahan. Tällä hetkellä henkilöstöä on 600 henkilöä. Kemppi Oy:n perusti Martti Kemppi vuonna 1949 nimellä Veljekset Kemppi Oy. (Kemppi Oy, 2013c.)

2 MODIFIOITU MIG/MAG-HITSAUS, TUOTTAVUUS JA LAATU

Tässä tutkimuksessa käytetään hitsausprosesseista MAG-lyhytkaarihitsausta ja WiseFusionTM-toiminnolla varustettua MAG-pulssihitsausta. Lisäksi selvitetään miten a-mitta ja tunkeuma mitataan, mitkä asiat vaikuttavat hitsausprosessien tuottavuuteen ja miten hitsin laatua voidaan tarkastella aineenkoetusmenetelmillä.

2.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on yleisimmin käytetty metallikaasukaarihitsausprosessi eri teollisuuden alueilla. Merkittävimmät edut MIG/MAG-prosessissa ovat joustavuus ja tuottavuus verrattuna vastaaviin prosesseihin (Suoranta, 2007, s. 18). Siinä valokaari palaa ilmalta suojattuna suojakaasun ympäröimänä työkappaleen ja hitsauslangan välillä (Kuva 1). Sula lisäaine siirtyy pisaramuodossa hitsisulaan hitsauslangan kärjestä ja sitä syötetään tasaisesti langansyöttölaiteen avulla hitsauspistoolin lävitse valokaareen. Suojakaasu suojaa hitsaustapahtumaa sitä ympäröivältä ilmalta. Hitsausvirta siirtyy virtalähteestä hitsauspistoolin päässä olevaan kosketussuuttimeen ja siitä hitsilankaan. Jokaiselle hitsausprosessille on ilmoitettu standardissa SFS-EN ISO 4063 numerotunnus, josta hitsausprosessit on tunnistettavissa. MIG-hitsauksella numerotunnus on 131 ja MAG-hitsauksella 135. (Lukkari, 2002, s. 158–159; Keinänen & Kärkkäinen, 2011, s. 257; SFS-EN ISO 4063.)



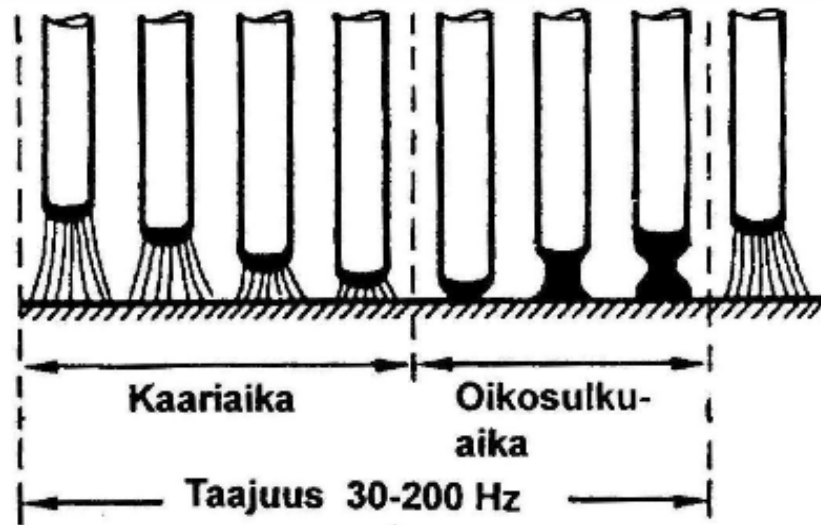
Kuva 1. Periaatekuva MIG/MAG-hitsauksesta (Matilainen et al., 2011, s. 292).

Suojakaasuna MIG/MAG-hitsauksessa voi olla inertti tai aktiivinen kaasu. Inertti suojakaasu ei reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa, kun taas aktiivinen reagoi. Inertti suojakaasu on helium, argon tai niiden kaasuseos. Aktiivinen suojakaasu on yleensä argonin, hapen ja hiilidioksidin kaasuseos tai puhdas hiilidioksidi. Inerttiä kaasua käyttävää hitsausprosessia kutsutaan MIG-hitsaukseksi ja aktiivista kaasua käyttävää kutsutaan MAG-hitsaukseksi. MAG-hitsaus soveltuu terästen hitsaamiseen ja MIG-hitsauksella hitsataan pääasiassa ei-rautametalleja, kuten alumiinia. Usein hitsauksessa käytetyn suojakaasun joukossa on happea tai aktiivista hiilidioksidia. MAG-hitsaus on tästä johtuen paljon yleisempää, kuin vastaava inerttiä kaasua käyttävä prosessi. Useasti saatetaankin puhua MIG-hitsauksesta vaikka tarkoitettaisiin MAG-hitsausta (Lukkari, 2002, s. 159; Esab, 2013.)

2.1.1 MAG-lyhytkaarhitsaus

Kaarityypit MIG/MAG-hitsauksessa ovat lyhyt-, seka- ja kuumakaari. Eri kaarityypit eroavat toisistaan lähinnä jännite- ja virta-arvojen perusteella ja hitsausparametreista riippuen lisäaineen siirtyminen tapahtuu oikosulkujen avulla tai suihkumaisesti. Kaikilla kaarityypeillä on omat käyttökohteensa ja erikoispiirteensä. (Lukkari, 2002, s. 167–170.)

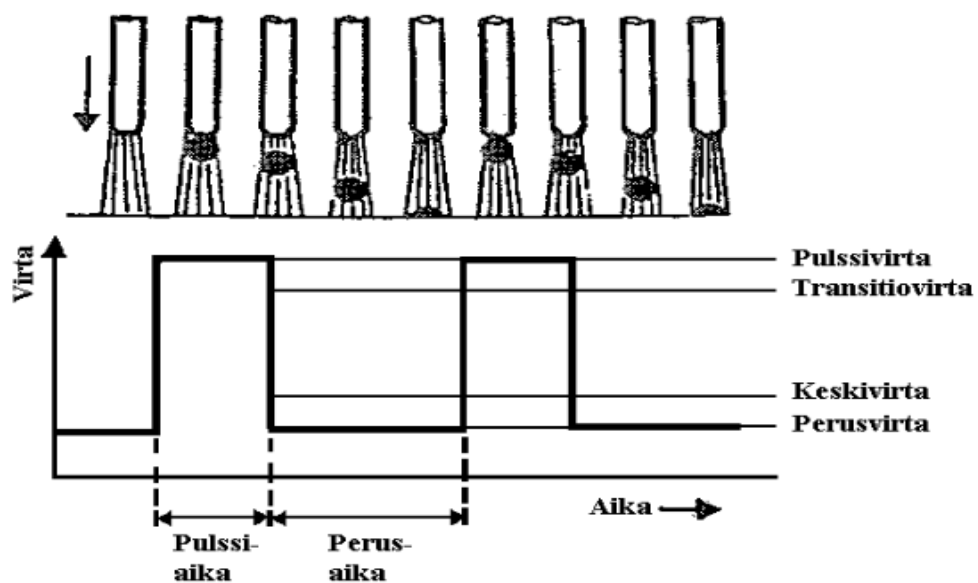
MAG-lyhytkaarhitsaukseksi (short-circuit transfer) kutsutaan hitsausta, jossa käytetään aktiivista suojakaasua, pieniä jännite- ja virta-arvoja ja jaksottaisesti palavaa valokaarta (Keinänen & Kärkkäinen, 2011, s. 257). Aineensiirtyminen tapahtuu oikosulkujen avulla ja sula metalli siirtyy hienopisaraisessa muodossa työkappaleen pinnalle (Kuva 2). Siirtymistä oikosulkujen avulla voi tapahtua 20–200 kertaa sekunnissa. Ominaista lyhytkaarhitsauksessa on suhteellisen kylmä hitsaustapahtuma valokaaren palaessa vain osan ajasta ja hitsisulan ollessa vähäistä. Tällöin lämmöntuonti on prosessissa pieni, hitsisula on helposti hallittavissa ja hitsaus onnistuu kaikissa asennoissa. (American Welding Society, 2004, s. 151; Lukkari, 2002, s. 167, 169.)



Kuva 2. Lyhytkaarihitsauksen periaate (Lukkari, 2002, s. 168).

2.1.2 MAG-pulssihitsaus

MAG-pulssihitsaus eroaa perinteisestä MAG-hitsauksesta sen aineensiirtymistavalla. Pulssihitsauksessa lisäaine siirtyy pisara kerrallaan hitsisulaan pulsseissa sykkivän hitsausvirran avulla (Kuva 3). Huippuhitsausvirta on yleensä noin kaksi kertaa suurempi kuin jatkuvalla virralla hitsattaessa. Tällöin pisaroita irrottava pinch-voiman suuruuden ansiosta oikosulkuja ei pääse syntymään hitsausprosessin aikana. (Lukkari, 2002, s. 171–172; Kemppi Oy, 2013d.)



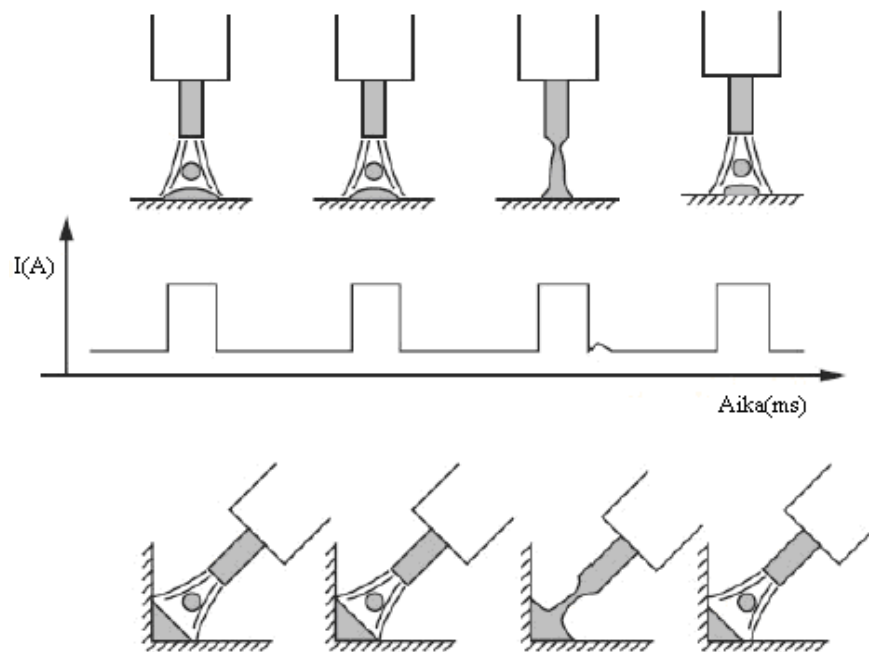
Kuva 3. Periaatekuva pulssihitsauksesta (Lukkari, 2002, s. 171).

2.1.3 WiseFusion™

WiseFusion™ on Kemppi Oy:n kehittämä hitsaustoiminto ja se kuuluu uusimpana tulokkaana osaksi Wise™-tuoteperhettä. Tuotesarjaan kuuluvat WiseFusion™, -Penetration™, -Root™ ja -Thin™. Wise™-tuotteiden tarkoitus on parantaa hitsin laatua, hitsauksen tuottavuutta, hitsauksen hallintaa ja pienentää hitsauksesta johtuvia lisätyökustannuksia. (Kemppi Oy, 2013b, s. 3; Kemppi Oy, 2012, s. 1; Kemppinen, 2011, s. 27.)

WiseFusion™ on mukautettu toiminto synergiseen MIG/MAG-pulssi ja -kuumakaarihitsaukseen. Se on kehitetty vastaamaan erityisesti alumiinin, ruostumattomien ja seostamattomien teräksen asentohitsauksissa syntyviin yleisiin ongelmiin, kuten hitsisulan ja valokaaren hallintaan. WiseFusion™-toiminto pitää valokaaren piteuden tasaisena ja estää valokaaren koon muuttumista vapaalangan piteuden muuttuessa hitsauksen aikana. Tällöin valokaari pysyy lyhyempänä ja kohdistuu pienemmälle alueelle. Myös hitsauksen optimaalisten parametrien löytäminen helpottuu ja tuottavuus paranee. (Kemppinen, 2011, s. 30; Uusitalo, 2012, 21; Kumpulainen, 2009, s. 2; Kemppi Oy, 2013e, s. 13.)

WiseFusion™-toimintoa säädetään asettamalla prosentuaalinen arvo oikosulkujen määrälle hitsauslaitteesta. Prosentuaalinen arvo kuvaa tietyssä ajanjaksossa tapahtuvien oikosulkujen määrää. Esimerkiksi pulssihitsauksessa 50 % -arvo tarkoittaa, että joka toisen pulssin jälkeen tulee oikosulku. Prosessi toimii kuvan 4 osoittamalla tavalla, missä on esitetty yhden pulssinjakson aikana tapahtuva oikosulkuvaihe. (Uusitalo, J. 2012, 21.) Kuvassa 5 nähdään kuvaa 4 vastaava tilanne MAG-pulssihitsauksessa käyttäen WiseFusion™-toimintoa. Sarjan kolmannessa kuvassa tapahtuu täysin roiskeeton oikosulku juuri ennen seuraavan lisäainepisaran irtoamista hitsisulaan. (Kumpulainen, 2009, s. 2; Kemppi Oy, 2013e, s. 13.)



Kuva 4. Oikosulkuvaihe WiseFusion™-toimintoa käyttäen (Muokattu Uusitalo, 2012, s. 21).



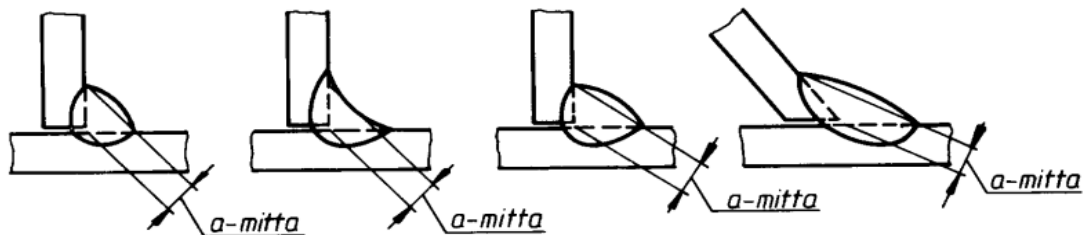
Kuva 5. Kuvasarja MAG-pulssihitsauksesta käyttäen WiseFusion™-toimintoa (Kumpulainen, 2009, s. 2).

WiseFusion™-toimintoa käyttämällä saavutetaan mm. seuraavia etuja: (Kemppinen, 2011, s. 30; Uusitalo, 2012, s. 25; Kemppi Oy, 2013b, s. 11)

- valokaaren pituuden säätö automaattista
- valokaaresta saadaan kapea ja energiatiheä
- asentohitsauksissa parempi hitsisulan hallinta
- suurempi hitsausnopeus
- reunahaavan mahdollisuus pienenee
- syvempi tunkeuma
- alhainen lämmöntuonti ja kapea railo → tuottavampi ja kustannustehokkaampi hitsausprosessi.

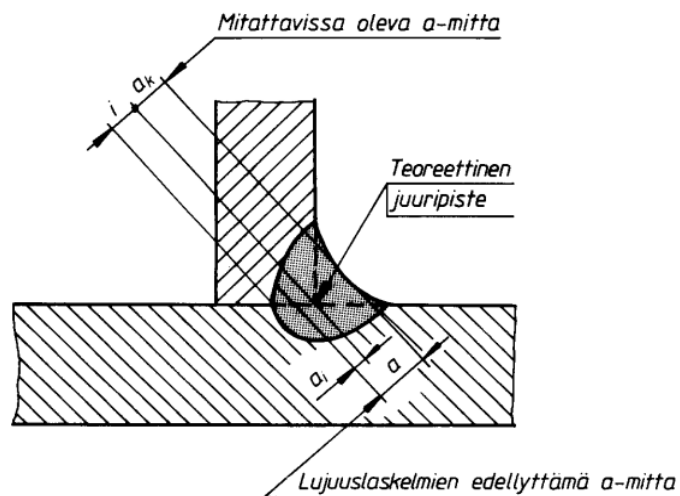
2.2 A-mitan ja tunkeuman määrittäminen

Oleellinen suure pienahitsauksessa on hitsin a-mitan määrittäminen. Se on hitsin sisään piirretyn suurimman kolmion korkeus, jonka kyljet koskettavat hitsirailon kylkiä. A-mitta mitataan kuvan 6 osoittamalla tavalla. A-mitta tulee määrittää siihen vaikuttavien voimien mukaan ja sen suuruuden tulee olla välillä 3–15 mm, kuitenkin suosien mahdollisimman pientä a-mittaa hitsauskustannusten ollessa suuremmat isommilla a-mitoilla. (SFS 2373; Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys, 2006, s. 137.)



Kuva 6. A-mitan määrittäminen pienahitsauksessa (SFS 2373).

Juuritunkeumalla tai yleisimmin käytetyllä tunkeumalla tarkoitetaan pienahitsauksessa sitä mitta, minkä hitsi on tunkeutunut perusaineeseen suhteessa ideaaliseen pienahitsiin. Liian pienestä tunkeumasta voi seurata vajaa hitsautumissyvyys, eli hitsi ei ole ulottunut tarpeeksi syvälle pienahitsin juuressa ja tästä johtuen hitsausliitos voi olla heikko. Esimerkki pienahitsin tunkeumasta on esitetty kuvassa 7. (SFS 3052; Lukkari, 2002, s. 50.)



Kuva 7. Kuvassa i kuvaa hitsin tunkeumaa pienahitsauksessa (SFS 2373).

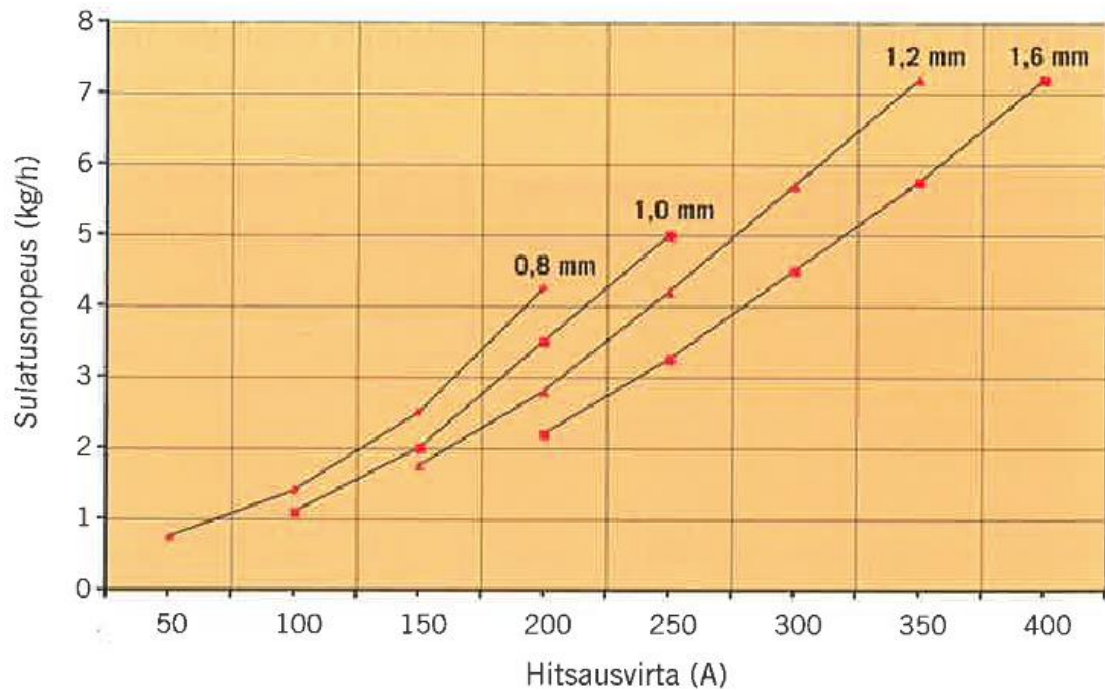
2.3 Hitsausprosessien tuottavuus, hitsausenergia ja lämmöntuonti

Tuottavuudella tarkoitetaan hitsauksessa esimerkiksi sitä, kuinka monta hitsausliitosta tai kuinka paljon valmista hitsiä saadaan aikaan käytetyillä materiaali-, työ-, laite- tai vastaavilla resursseilla. Sillä voidaan mm. tarkoittaa kuinka paljon hitsattuja kappaleita tai hitsausmetriä valmistuu yhdessä työvuorossa. Tuottavuutta on usein hankalaa vertailla muihin yrityksiin ja tuotteisiin. Hitsauksen tuottavuutta voidaan parantaa esimerkiksi: (Martikainen, 2012a, s. 21–22; Lukkari, 2011, s. 4)

- hitsiaineentuition suurentamisella (kg/h)
- paloaikasuhteen eli kaariaikasuhteen suurentamisella (%)
- hitsiainemäärän pienentämisellä (kg/m).

Hitsiaineentuition (T) tarkoittaa raiioon sulatetun hitsiaineen määrää aikayksikössä. Hitsiaineentuition tarkkailemalla voidaan päätellä ovatko hitsausparametrit ja lisäaine valittu oikein. Hitsiaineentuition voidaan kasvattaa esimerkiksi virran suurentamisella sekä paksumman ja enemmän virtaa kestävän lisäaineen käyttämisellä. (Martikainen, 2012a, s. 21–22; Lukkari, 2011, s. 4-6, 163.)

Hitsiaineentuition sijaan voidaan esittää kaavioissa sulatusnopeutta (S), jolla tarkoitetaan lisäainemäärän määrää aikayksikössä. Nämä eivät ole täysin sama asia, sillä hitsauksessa syntyy jonkun verran häviötä esimerkiksi roiskeiden muodossa, jolloin sulatusnopeus (kg/h) on aina suurempi kuin hitsiaineentuition (kg/h). Tästä huolimatta sulatusnopeutta voidaan käyttää hitsiaineentuition sijasta tarkastelussa ja laskemisessa, koska virhe on korkeintaan muutaman prosentin luokkaa. Kuvasta 8 voidaan nähdä MAG-umpilankojen sulatusnopeus suhteessa hitsausvirtaan. (Lukkari, 2002, s. 163; Stenbacka, 2011, s. 69.)



Kuva 8. MAG-umpilankojen sulatusnopeuden suhde hitsausvirtaan (Stenbacka, 2011, s. 71).

Paloaikasuhte (e) määritellään standardissa SFS 3054 kaariajan ja hitsaustyöhön käytetyn kokonaisajan välisenä suhteena. Paloaikasuhte lasketaan kaavasta: (Lukkari, 2008, s. 10; SFS 3054)

$$e(\%) = \frac{(t_k \times 100)}{t_{kok}} \quad (1)$$

Yhtälössä 1 t_k tarkoittaa hitsauksen kaariaikaa, eli aikaa kun valokaari palaa ja t_{kok} hitsaustyöhön käytetty kokonaisaika. (Stenbacka, 2011, s. 71.)

Paloaikasuhdetta on vaikea määrittellä tietylle prosessille. Esitetyt arvot ovat useasti liian korkeita verrattuna todellisiin arvoihin. Paloaikasuhteen suuruus ei ole täysin verrattavissa hitsauksen tuottavuuteen ja se kertoo enemmänkin kuinka paljon aikaa menee muuhun kuin hitsaamiseen. Viitteellisiä lähtöarvoja paloaikasuhteelle eri hitsausprosesseissa ovat: (Lukkari, 2007, s. 7; Stenbacka, 2011, s. 72)

- puikkohitsaus 20 %
- MIG/MAG-umpilankahitsaus 22–25% (käsin)
- jauhekaarhitsaus 40–80 %
- mekanisoitu ja automatisoitu hitsaus 70–90 %.

Oleellinen suure hitsauksen ominaisuuksien selvittämiseksi on hitsausnopeus (v). Se lasketaan kaavasta (Valtanen, 2008, s. 191)

$$v \left(\frac{mm}{s} \right) = \frac{s(mm)}{t(s)} \quad (2)$$

Yhtälössä 2 s on hitsin pituus ja t hitsaamiseen kulunut aika.

Hitsiainemäärällä tarkoitetaan raiioon tarvittavaa hitsiainemäärää. Esimerkiksi hitsiainemäärää voidaan pienentää hitsien määrän vähentämisellä ja hitsattavien osien lukumäärän vähentämisellä. Hitsiainemäärä (M) voidaan laskea hitsiaineentuoton ja hitsiainemäärän suhteen kaavasta (Lukkari, 2007, s. 3; Lukkari, 2011, s. 5.)

$$M \left(\frac{kg}{m} \right) = \frac{1,67 \times T \left(\frac{kg}{h} \right)}{v \left(\frac{cm}{min} \right)} \quad (3)$$

Hitsausenergialla (E) tarkoitetaan kaarihitsauksessa palon hitsauksessa käytettyä energiaa hitsin pituusyksikköä kohti. Se on tärkeä hitsaukseen liittyvä suure, koska sillä on vaikutus moniin ominaisuuksiin hitsausaineessa ja hitsauksessa. Esimerkiksi käytettäessä liian korkeaa hitsausenergiaa sitkeysominaisuudet huonontuvat hitsausliitoksissa. Hitsausenergia voidaan laskea kaavan 4 mukaisesti: (Lukkari, 2002, s. 54.)

$$E \left(\frac{kJ}{cm} \right) = \frac{(I(A) \times U(V) \times 60)}{(v \left(\frac{cm}{min} \right) \times 1000)} \quad (4)$$

Yhtälössä 4 I tarkoittaa hitsausvirtaa ja U hitsausjännitettä (Lukkari, 2002, s. 54).

Lämmöntuonti (Q) tarkoittaa kaarihitsauksessa hitsiin siirtyvää lämpöenergiaa hitsin pituusyksikköä kohti. Hitsausenergia (E) ei kokonaisuudessaan siirry lämpöenergiana hitsiin, vaan siinä syntyy häviöitä ympäristöön esimerkiksi säteilynä. Lämmöntuonti voidaan laskea kaavalla: (Lukkari, 2002, s. 54.)

$$Q \left(\frac{kJ}{cm} \right) = k \times E \quad (5)$$

Yhtälössä 5 k tarkoittaa hitsauksen termistä hyötysuhdetta, mikä on: (Lukkari, 2002, s. 54)

- jauhekaarihitsauksessa 1
- MIG/MAG-hitsauksessa 0,8
- täytelankahitsauksessa 0,8
- puikkohitsauksessa 0,8
- TIG-hitsauksessa 0,6
- plasmahitsauksessa 0,6.

Termisen hyötysuhteen erot johtuvat hitsaustapahtuman eroista. Esimerkiksi jauhekaarihitsauksessa hitsaustapahtuma on paksun hitsiainekerroksen alla, jolloin lämpö ei pääse säteilemään ympäristöön, kun puolestaan TIG-hitsauksessa lämpö pääsee vapaasti säteilemään ympäristöön. (Lukkari, 2002, s. 54.)

2.4 Hitsien aineenkoetus

Hitseille tehdään laaduntarkastuksia, jotta voidaan pitää yllä haluttua laatutasoa. Hitsien tarkastaminen voidaan jakaa NDT- ja DT-menetelmiin. Niiden avulla voidaan selvittää tutkittavan kappaleen ominaisuuksia ja käyttäytymistä. (Lukkari, 2001, s. 3; Hitsausteknillinen Yhdistys, 2006, s. 29.)

NDT-menetelmiksi (non destructive testing) kutsutaan ainetta rikkomattomia tarkastustapoja. Niiden tarkoituksena on varmistaa, että tuotteelle suunniteltu laatuvaatimus täyttyy koekappaletta rikkomatta. Hitsaustekniikassa sitä voidaan käyttää arvioimaan hitseissä olevia hitsausvirheitä. (Lukkari, 2001, s. 3–4, Inspecta, 2013a.)

Perinteisiä NDT-menetelmiä ovat: (Martikainen, 2012a, s. 9)

- silmämääräinen tarkastus (visual testing, VT)
- tunkeumanestetarkastus (penetrant testing, PT)
- magneettijauhetaarkastus (magnetic particle testing, MT)
- radiografinen tarkastus (radiographic testing, RT)
- ultraäänitarkastus (ultrasonic testing, UT)
- pyörrevirtatarkastus (eddy current testing, ET).

DT-menetelmillä (destructive testing) tarkoitetaan ainetta rikkovia tarkastustapoja. Siinä tutkittava materiaali rikotaan sen ominaisuuksien, kuten materiaalin lujuuden kovuuden, muovattavuuden, sitkeyden ja väsymiskestävyyden testaamiseksi. Menetelmä sopii esimerkiksi tilanteeseen, jossa ominaisuuksia ei voida tutkia ei-rikkovilla testausmenetelmillä. Koekappaleet testataan erilaisten rasitusten ja kuormien avulla. (Inspecta, 2013b; Martikainen, 2012b, s. 4–5.)

Perinteisiä DT-menetelmiä ovat: (Martikainen, 2012b, s. 41)

- makro-/mikrohietutkimus
- murtokoe
- iskukoe
- taivutuskoe
- kovuuskoe
- vetokoe.

3 HITSAUSKOKEET

Koehitsaukset suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston hitsauslaboratoriossa Kemppi Oy:n FastMig Pulse 450 -hitsauslaitteistolla. Kokeissa hitsattiin pystypienä yhdellä palolla ja hitsaussuunta oli alhaalta ylöspäin. Hitsaukset tehtiin MAG-lyhytkaarihitsauksena ja WiseFusion™-toiminnolla varustetulla MAG-pulssihitsauksella. Kummallakin hitsausprosessilla hitsattiin 4 mm ja 6 mm a-mittaiset koekappaleet. Pienahitsejä testattiin ennen varsinaisia koehitsejä monilla eri hitsausarvoilla parhaiten hitsaukseen soveltuvien arvojen löytämiseksi (Kuva 9). Hitsauksessa ei käytetty automatisointia ja ne suoritettiin kokonaan käsin hitsauksena.



Kuva 9. Harjoittelukappale, missä näkyy kaksi pienahitsiä (Aki Riikonen).

3.1 Hitsauskoemateriaali ja -laitteisto

Liitteen 1 esitetyn ainestodistuksen mukaisesti perusaine hitsauksessa oli 6 mm paksua Ruukki Laser 355 MC -rakenneterästä, joka on termomekaanisesti valssattua (M) ja kylmämuovattavaa (C). Taulukossa 1 on esitetty Ruukki Laser 355 MC -rakenneteräksen sisältämät eri seosainepitoisuudet, jotka on saatu liitteen 1 ainestodistuksesta. Teräksen hiiliekvivalentin (CEV) ollessa 0,19 teräs on hyvin

hitsattavaa eikä tarvitse esikuumennusta. Raja hyvälle hitsattavuudelle on CEV < 0,40 % ja mitä pienempi sen arvo on, sitä paremmin materiaali soveltuu hitsaamiseen. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys, 2006, s. 104).

Taulukko 1. Ruukki Laser 355 MC -rakenneteräksen prosentuaaliset seosainepitoisuudet.

C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V
0,054	0,010	0,700	0,008	0,004	0,030	0,029	0,007

Hitsauslisäaineena käytettiin Esab Oy:n Ok Autrod 12.51 1 mm umpilanka (Kuva 10). Liitteen 2 mukaisesti lisäainelanka on kuparoitu seostamaton yleislanka, joka sopii erityisesti hienoraeterästen ja rakenneterästen MAG-hitsaukseen. Hitsauslisäaine sisältää 0,1 % hiiltä (C), 0,9 % piitä (Si) ja 1,5 % mangaania (Mn).



Kuva 10. Hitsauslisäaineen tuoteseloste (Aki Riikonen).

Suojakaasuna hitsauksessa käytettiin Woikoski Oy:n SK-18-kaasuseosta. Hitsauskaasun koostumus oli argonia ja 18 prosenttia hiilidioksidia (Ar + 18 % Co₂). (Woikoski Oy, 2013.)

Hitsauksessa käytettiin Kemppi Oy:n FastMig Pulse 450 -hitsauslaitteistoa (Kuva 11). Kokeet suoritettiin käyttämällä laitteiston 1-MIG-toimintoa MAG-lyhytkarihitsauksessa ja WiseFusion™-toimintoa MAG-pulssihitsauksessa. Lyhytkarihitsauksessa koneesta säädettäviä erityisparametreja olivat hienosäätö ja dynamiikka. WiseFusion™-hitsauksessa puolestaan säädettävänä erikoisparametreina olivat hienosäätö, dynamiikka ja pulssivirta.



Kuva 11. Kemppi Oy:n FastMig Pulse 450 -hitsauslaitteisto (Aki Riikonen).

3.2 Hitsauksessa tutkittavat asiat

Hitsauksessa tarkasteltava pääasia oli vertailla WiseFusion™-toiminnolla varustettua MAG-pulssihitsausta ja MAG-lyhytkarihitsausta hitsattaessa pystypienaa hitsaussuuntana alhaalta ylöspäin. Muita tarkasteltavia asioita olivat:

- hitsausprosessien tuottavuuden vertailu
- lämmöntuonnin vertailu
- hitsausnopeuden vertailu
- tunkeuman vertailu murtokokeen avulla
- nurkan sulamisen todentaminen makrohieen avulla
- kysymyslistan laatiminen hitsaajalle.

3.3 Hitsauksen vaiheet

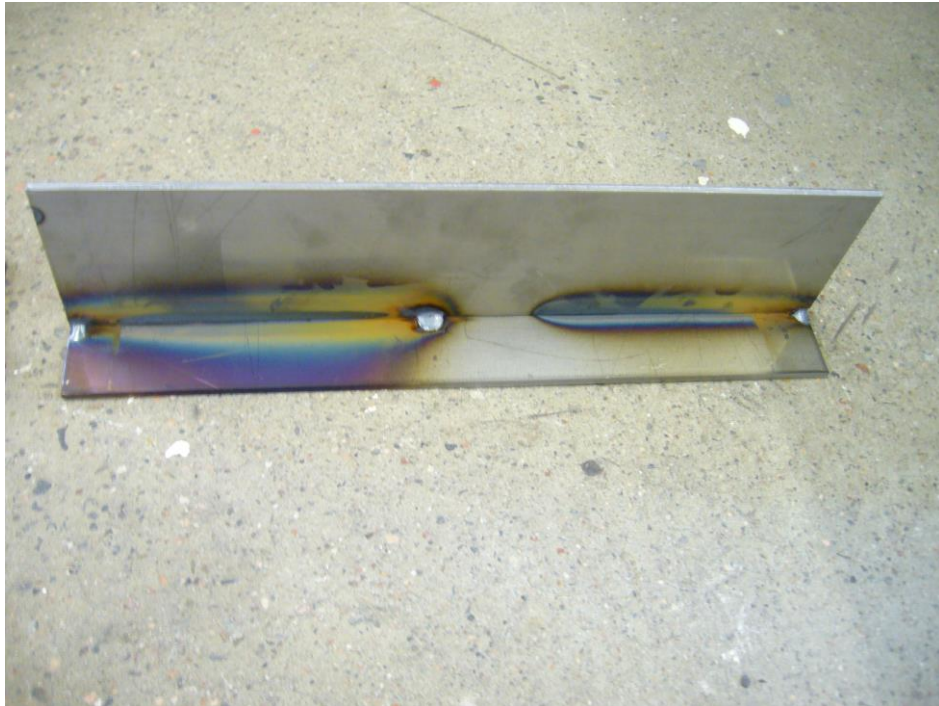
Hitsauksen vaiheet jaoteltiin kolmeen vaiheeseen: ennen hitsausta, hitsauksen aikana ja hitsauksen jälkeen tapahtuviin toimintoihin.

3.3.1 Ennen hitsausta

Aluksi 6 mm paksuisesta Ruukki Laser 355 MC -rakenneteräslevystä leikattiin kaksi 10 cm mittaista levyä pystypienaa varten Finn-Power-levyleikkurilla (Kuva 12). Kuvassa 13 on esitetty, miten levyt kiinnitettiin toisiinsa silloittamalla ne levyjen kummastakin päästä 1 cm ja keskeltä 2 cm pituisilla hitseillä. Tämän jälkeen kappale kiinnitettiin hitsauspöytään kuvan 9 osoittamalla tavalla. Ennen varsinaisten koekappaleiden valmistamista hitsattiin kummallakin hitsausprosessilla useita koehitsauksia, jotta päästiin mahdollisimman lähelle haluttua a-mittaa. Samalla yritettiin löytää optimaaliset hitsausparametrit kummallekin hitsausprosessille. Sopivien hitsausarvojen löytyessä ja a-mitan lähestyessä haluttua mitta, aloitettiin varsinaiset koehitsaukset.



Kuva 12. Finn-Power-levyleikkuri (Aki Riikonen).



Kuva 13. Pienahitsattavat levyt kiinnitetty yhteen kolmella siltahitsillä (Aki Riikonen).

3.3.2 Hitsauksen aikana

Hitsaukset aloitettiin tekemällä ensin a-mitaltaan 4 mm (Kuva 14) ja 6 mm (Kuva 15) pystypienahitsit samaan kappaleeseen WiseFusionTM-toiminnolla varustetulla MAG-pulssihitsauksella ja toiseen kappaleeseen 4 mm (Kuva 16) ja 6 mm (Kuva 17) a-mitaltaan olevat pystypienahitsit MAG-lyhytkaarhitsauksella. Hitsauksen aikana havainnoitiin hitsaustapahtumaa ja mitattiin hitsaukseen kulunut aika. Tämän jälkeen mitattiin hitsin pituus hitsausnopeuden selvittämiseksi. Hitsit merkittiin niiden tunnistamisen helpottamiseksi I, II, III ja IV. Numerointi oli järjestyksessä WiseFusionTM-prosessilla varustettu MAG-pulssihitsaus 4 mm a-mittalla (I), 6 mm a-mittalla (II), MAG-lyhytkaarhitsauksen 4 mm a-mittalla (III) ja 6 mm a-mittalla (IV). Hitseihin viitataan myöhemmin näillä numeroilla.



Kuva 14. WiseFusion™-MAG-pulssihitsauksella hitsattu 4 mm a-mitta (Aki Riikonen).



Kuva 15. WiseFusion™-MAG-pulssihitsauksella hitsattu 6 mm a-mitta (Aki Riikonen).



Kuva 16. MAG-lyhytkaarihitsauksella hitsattu 4 mm a-mitta (Aki Riikonen).



Kuva 17. MAG-lyhytkaarihitsauksella hitsattu 6 mm a-mitta (Aki Riikonen).

3.3.3 Hitsauksen jälkeen

Hitsauksen jälkeen kappaleet nostettiin betonijalustalle jäähtymään vuorokaudeksi. Tämän jälkeen jokaisesta hitsistä leikattiin Meba 355 G -puoliautomaattisella vannesahalla (Kuva 18) yksi kappale makrohietutkimusta varten ja kolme kappaletta murtokoetta varten. Leikkaamisessa noudatettiin standardia SFS-EN 1320 murtokoekappaleiden osalta ja standardia SFS-EN 1321 makrohiekoekappaleille. Pienahitsatun kappaleen päästä poistettiin mitaltaan n. 25 mm oleva standardin vaatimusten mukainen pala. Tämän jälkeen leikattiin yksi 10 mm paksu makrohiekoepala ja kolme 40 mm murtokoepalaa jokaista koekappaletta kohden (I, II, III, IV) (SFS-EN 1320). Täysin selkeää mittaa murtokoepalojen leveydelle standardi ei kumminkaan antanut, vaan sen koko valittiin kokemuksen perusteella.



Kuva 18. Meba 355 G -puoliautomaattinen vannesaha. (Aki Riikonen).

4 TUTKIMUSTULOKSET

Hitsauskokeiden aikana seurattiin hitsausprosesseja ja havaintojen perusteella tehtiin kysymyslista hitsaajalle. Hitsauskokeiden jälkeen hitseille tehtiin silmämääräinen tarkastus. Jokaiselle koekappaleelle (I, II, III, IV) tehtiin kolme murtokoetta ja yksi makrohietutkimus. Viimeiseksi selvitettiin työssä käytetyt tärkeimmät hitsausparametrien arvot, hitsiaineentuotto ja lämmöntuonti.

4.1 Hitsaustapahtuman havainnointi

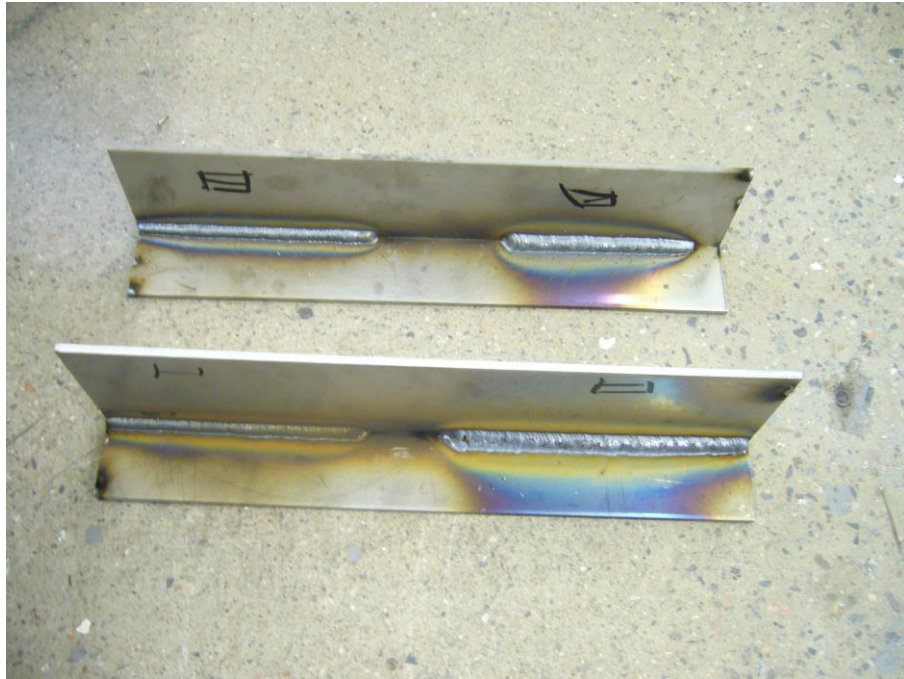
Osaksi hitsaustapahtuman havainnointia kuului kysymyslistan laatiminen ja kysymyksien esittäminen hitsaajalle, jonka kysymykset on esitetty liitteessä 3:

1. WiseFusionTM-toiminnon käyttäminen ei yleisesti ottaen helpottanut hitsausta verrattuna MAG-lyhytkaarihitsaukseen varsinkaan 4 mm a-mitan hitsaamisessa. Ongelmana oli hitsaustapahtumaan soveltuvien hitsausarvojen löytäminen. Lisäksi sula oli suurempi hitsauksen aikana.
2. Sula oli suurempi WiseFusionTM-toiminnolla varustetussa MAG-pulssihitsauksessa ja hitsaustapahtuma oli tämän vuoksi vaikeasti hallittavissa. Hitsisulan liikuttelu oli vaikeaa.
3. Optimaalisten hitsausparametrien etsimisessä WiseFusionTM-toiminto ei juuri auttanut. Vaati useamman hitsauskerran löytääkseen sopivat arvot koehitsauksiin. Dynamiikan, hienosäädön ja pulssivirran ollessa sidoksissa toisiinsa, oli vaikeaa ymmärtää niiden yhteisvaikutusta. Tämäkin vaatisi enemmän kokemusta toiminnon käytön helpottamiseksi.
4. WiseFusionTM-toiminto ei helpottanut valokaaren hallintaa hitsisulan ollessa suurempi, kuin vertailtavassa hitsausprosessissa. Välillä sula oli liian suuri, jolloin juuren särmän sulaminen häiriintyi ja hankaloitti samalla hitsaajan keskittymistä. Toisaalta tällöin valokaarta ei tarvinnut tarkasti kohdistaa hitsatessa.

5. WiseFusion™ ei ollut helpompi hitsausprosessi MAG-lyhytkaaren ollessa paljon tutumpi käyttää. Toisaalta on vaikeaa sanoa kumpiko hitsausprosessi helpottaisi pienahitsaamista enemmän. Tutkimus vaatisi enemmän hitsaamista ja hitsaajalla pitäisi olla enemmän kokemusta WiseFusionin™-toiminnon käyttämisestä, jotta voisi antaa paremman arvion.
6. Parametrien varsinaisessa etsimisessä (jännite/virta) ei juuri ollut hitsausprosessien välillä eroja, kun niitä etsitään samalla tavalla. Sulan hallinnan helpottuessa ja roiskeisuuden vähentyessä havaittiin kummassakin prosessissa säädettyjen arvojen vastaavan hitsaustapahtumaan soveltuvia arvoja.
7. WiseFusion™-toiminnon käyttämisessä ongelmana oli myös parametrien tallentaminen, mikä piti tehdä aina niiden muuttamisen jälkeen manuaalisesti. Useita kertoja tallentaminen unohtui, jolloin hitsattiinkin edellisessä hitsauksessa käytetyillä parametreilla. Tämäkin ongelma tosin poistuisi hitsausprosessin tullessa tutummaksi pidemmän käyttökokemuksen myötä. Lisäksi hitsauksen aikana syntyi kipinöitä hitsauksen siirtyessä kappaleen reunoja kohti. Yleensä tämä johtuu siirtymisestä materiaalin kylmälle alueelle, mutta häiriö oli sen verran satunnaista, että sitä ei voida päätellä johtuvan mistään tietystä yksittäisestä syystä.

4.2 Hitsin silmämääräinen tarkastus

Hitsauksen aikana tehdyissä havainnoissa huomattiin MAG-lyhytkaarihitsauksen tuottavan paljon kipinöitä, kun WiseFusion™-toiminnolla varustettu MAG-pulssihitsauksessa puolestaan niitä syntyi satunnaisesti siirryttäessä kylmempää reunaa kohti. Kuvista 14, 15, 16, 17 ja 19 huomataan roiskeisuuden olevan suurempaa hitsien III ja IV yhteydessä, eli MAG-lyhytkaarihitsauksessa. Kappaleen II yhteydessä havaittiin tästä huolimatta suurimmat yksittäiset roiskeet. Hitsejä III ja IV hitsattaessa kipinöitä tuli reilusti enemmän johtuen suuremmasta hitsausvirrasta. Hitsien II, III ja IV pinnalla oli havaittavissa yksittäisiä huokosia, jotka ovat seurausta materiaalin pinnan epäpuhtauksista tai liian pitkistä valokaareista.



Kuva 19. Hitsit I, II, III ja IV silmämääräisessä tarkastuksessa (Aki Riikonen).

4.3 Makrohietutkimus

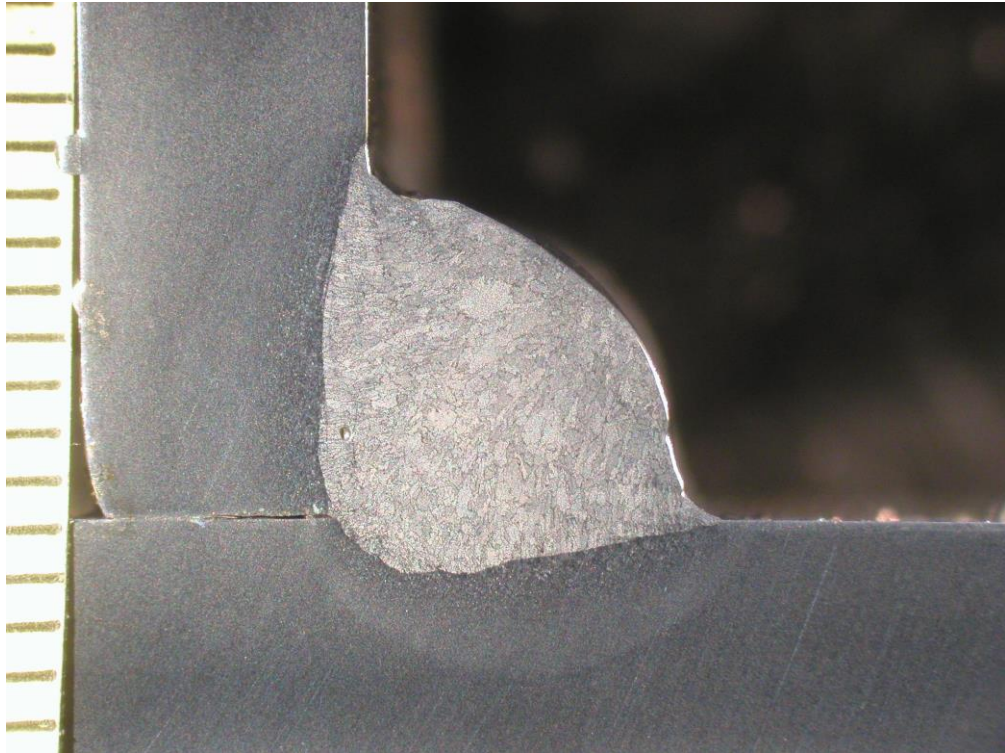
Makrohietutkimus tehtiin kaikille hitsatuille kapaleille. Kuva 20 on kappaleesta I, kuva 21 on kappaleesta III, kuva 22 on kappaleesta II ja kuva 23 on kappaleesta IV. Makrohieistä saatiin myös mitattua kappaleiden toteutuneet a-mitat, jotka ovat esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tavoitellut ja hitseistä mitatut a-mitat millimetreinä.

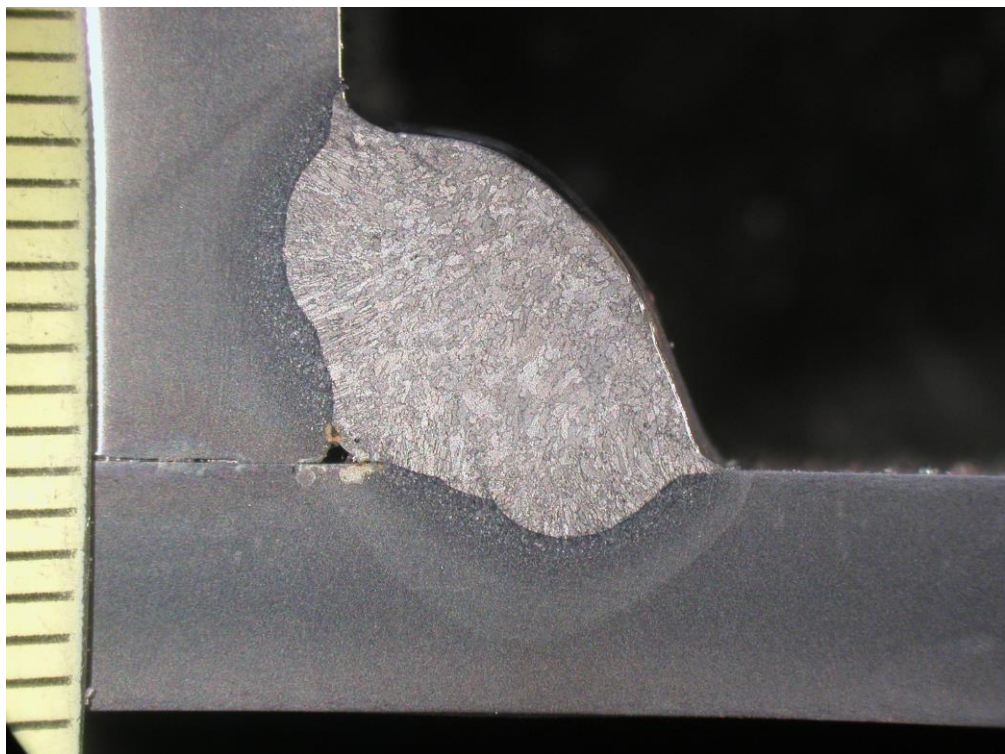
	I	II	III	IV
Nimellinen a-mitta (mm)	4,0	6,0	4,0	6,0
Toteutunut a-mitta (mm)	5,1	7,3	6,4	7,8

Vertailemalla kuvia 20 ja 21 huomataan kappaleessa I parempi ja tasaisempi tunkeuma. Kappaleessa II on puolestaan vajaa hitsautumissyvyys. Kummassakin hitsissä on korkea kupu ja lähellä juurta yksittäinen huokonen.

Vertailemalla kuvia 22 ja 23 huomataan kummallakin hitsausprosessilla saatavan hitsin ilman kupua. Kummassakin on yhtä tasainen tunkeuma. Kappaleessa IV on yksittäinen huokonen lähellä juurta.



Kuva 20. WiseFusion™-toiminolla varustetulla Pulssi-MAG-hitsauksella hitsattu 4 mm a-mitta (Aki Riikonen).



Kuva 21. MAG-lyhytkaarella hitsattu 4 mm a-mitta (Aki Riikonen).



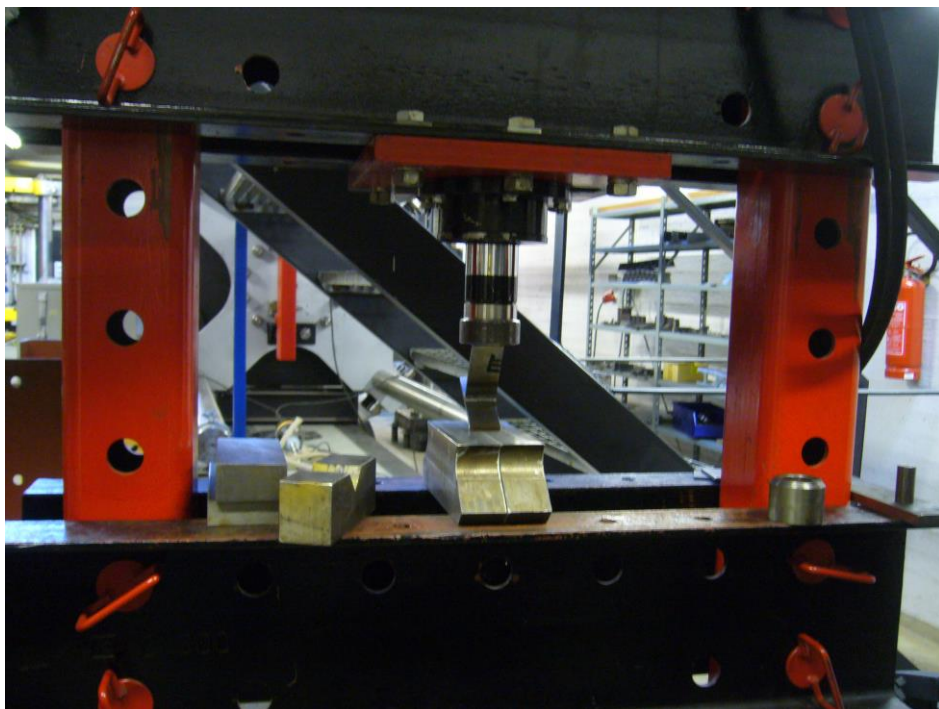
Kuva 22. WiseFusion™-toiminolla varustetulla Pulssi-MAG-hitsauksella hitsattu 6 mm a-mitta (Aki Riikonen),



Kuva 23. MAG-lyhytkaarella hitsattu 6 mm a-mitta (Aki Riikonen),

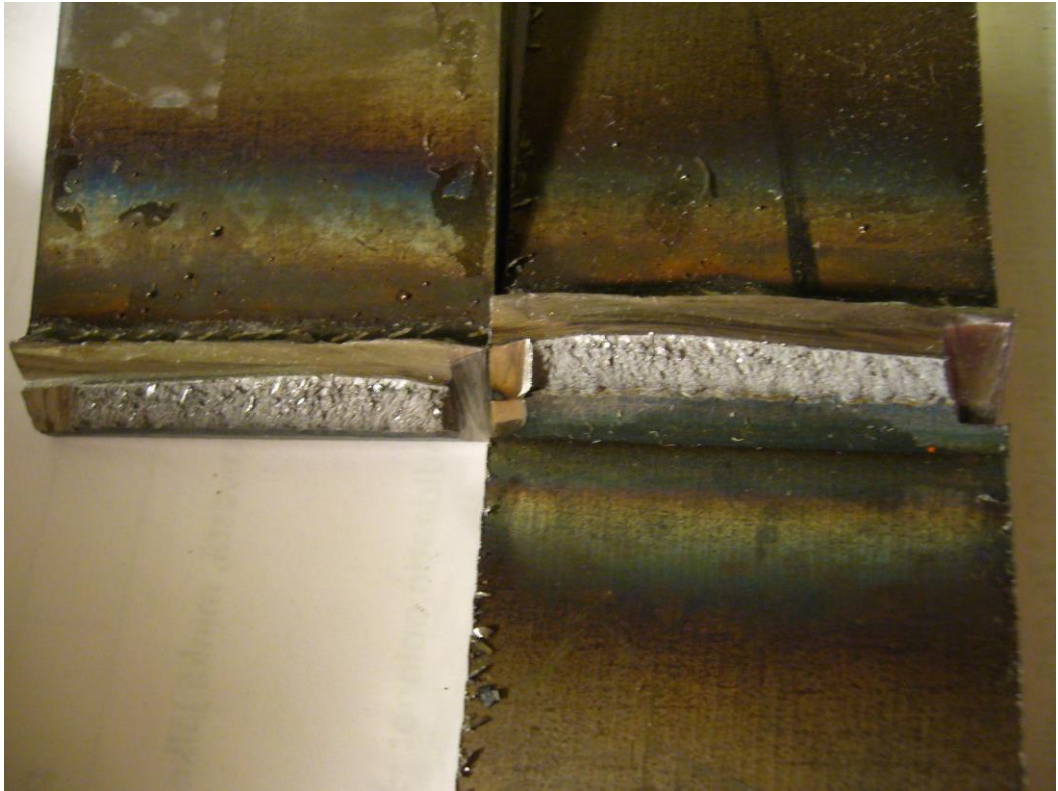
4.4 Murtokoe

Murtokoe suoritettiin käsin pumpattavalla hydraulitunkilla Lappeenrannan teknillisen yliopiston hitsauslaboratoriossa. Kappale asetettiin puristimen ja jalustan väliin kuvan 24 mukaisella tavalla. Pumppaamalla saatiin yläpainin laskeutumaan, puristuskuormituksen ansiosta koekappale taipumaan ja lopulta katkeamaan hitsin kohdalta. Kappaleille oli tehty kulmahiontakoneella n. 5 mm lovi kummallekin puolelle hitsiä murtumisen helpottamiseksi.

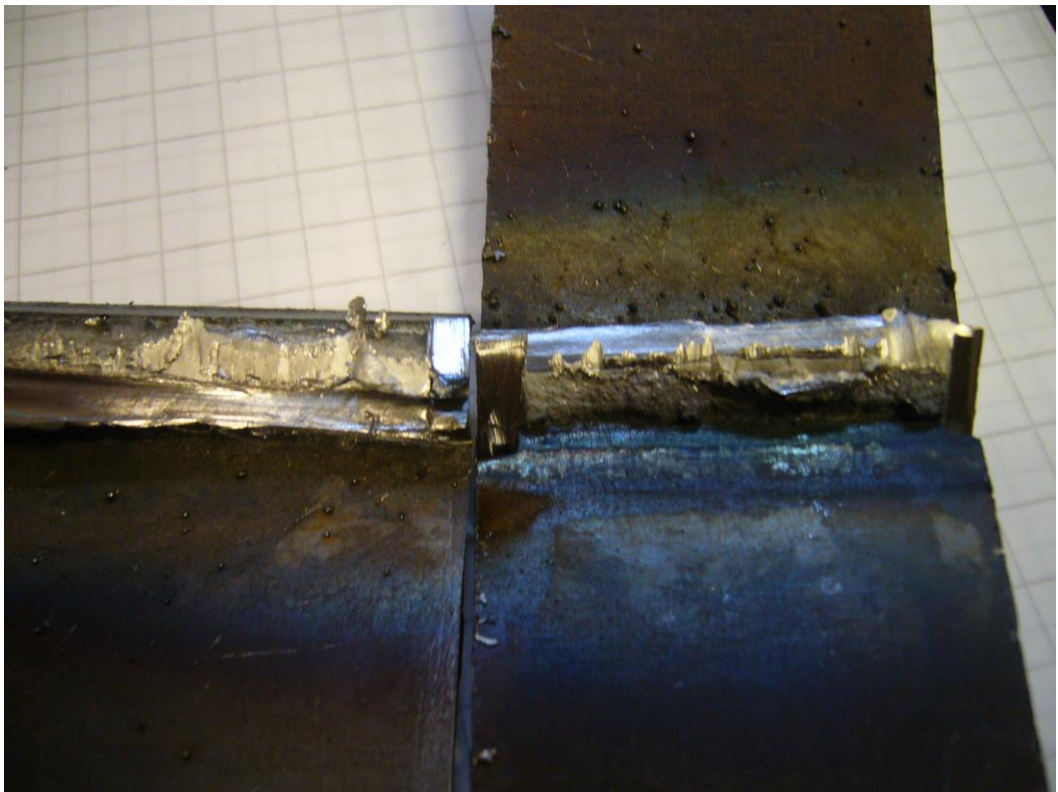


Kuva 24. Koekappale III murtokokeessa (Aki Riikonen).

Kaikista koekappaleista kaksi murtokoetta onnistui. Toinen oli kappaleesta I (4 mm a-mittainen WiseFusion™-toiminolla varustettu MAG-pulssihitsaus) ja toinen kappaleesta III (4 mm a-mittainen MAG-lyhytkaarihitsaus). Nimellisten a-mittojen ollessa kummassakin kappaleessa sama, saatiin näistä hyvät vertailukappaleet. Kuvassa 25 on kappaleelle I suoritettu murtokoe ja kuvassa 26 kappaleelle III suoritettu murtokoe.



Kuva 25. Murtokokeella murrettu kappale I, jonka reunat siistitty (Aki Riikonen).



Kuva 26. Murtokokeella murrettu kappale III (Aki Riikonen).

Murtuneita pintoja tutkittaessa huomattiin kappaleessa III olevan kolmen huokosen keskittymä ja kappaleessa I huokosia oli kaksi kappaletta kummallakin puolella hitsin reunaan. Murtopinta oli kappaleessa III paljon tummempi kuin kappaleessa I. Kappaleen III tunkeuma jäi vajaaksi perusaineen tullessa esiin murtopinnasta ja kappaleella I sen ollessa paljon syvämpi ja tasaisempi, kuten makrokuvat osoittavat.

Suuri osa murtokokeessa koetetuista kappaleista ei murtunut ja näin ollen epäonnistuivat. Murtokoe epäonnistui kaikille II ja IV kappaleille. Tähän viittaavat syyt olivat sitkeä hitsiliitos ja liian pienet lovet murtumisen helpottamiseksi. Kuvassa 27 on esitetty epäonnistuneita murtokokekappaleita, joissa osat eivät ole täysin murtuneet.



Kuva 27. Epäonnistuneita murtokokekappaleita (Aki Riikonen).

4.5 Tärkeimmät hitsausparametrit ja laskelmat

Tässä kappaleessa tarkastellaan testien kannalta tärkeimpiä hitsausparametreja ja esitetään niiden avulla tehdyt laskelmat taulukoissa.

Hitsauslaitteesta saatuja arvoja ennen ja jälkeen hitsaamisen

Ennen hitsaamista saatiin hitsauslaitteesta selvitettyä kunkin prosessin langansyöttönopeus, hienosäätö, dynamiikka ja WiseFusion™-toiminnolla lisäksi prosessin pulssivirta. Hitsauksen jälkeen kunkin prosessin keskimääräinen jännite, virta ja todellinen hitsausnopeus olivat tallentuneet hitsauslaitteen muistiin. Nämä arvot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Hitsauslaitteesta saatuja arvoja ennen ja jälkeen hitsaamisen.

	I	II	III	IV
Jännite (U)	21,6	21,3	16,6	17,0
Virta (I)	98,0	93,0	145,0	138,0
Langansyöttönopeus (m/min)	4,6	4,6	4,8	4,8
Todellinen langansyöttönopeus (m/min)	4,4	4,4	4,6	4,6
Hienosäätö	5	5	- 1,5	- 1,5
Dynamiikka	+3	+3	- 4	- 4
Pulssivirta (%)	- 5	- 5	-	-

Hitsausaika, hitsausmatka ja hitsausnopeus

Hitsauksen aikana mitattiin hitsaukseen kulunut aika ja hitsauksen jälkeen mitattiin hitsien pituudet. Näiden arvojen avulla voitiin laskea kaavasta 2 hitsausnopeudet, jotka näkyvät taulukossa 4.

Vapaalangan pituuden arvioitiin olevan 10 ± 1 mm. Kappaleet I, II ja III hitsattiin levityслиikkeellä, jossa hitsauspoltinta siirrettiin pienen sivulta sivulle ja hitsi IV kolmiolevityслиikkeellä, jossa tehtiin hitsauspolttimella kolmiomaista liikettä pienen ympärillä.

Taulukko 4. Hitsien hitsausmatka, hitsausaika ja hitsausnopeus.

	I	II	III	IV
Hitsausmatka (mm)	187	227	192	159
Hitsausaika (t)	114	226	127	162
Hitsausnopeus (mm/s)	1,64	1,00	1,51	0,98
Hitsausnopeus (cm/min)	9,84	6,03	9,01	5,89

Hitsausprosessien tuottavuus

Hitsiaineentuotto saadaan määritettyä kuvasta 8 käyttämällä saatuja virta-arvoja ja 1 mm umpilankaa. Tämän avulla hitsiainemäärä saadaan laskettua kaavasta 3. Taulukossa 5 on esitetty hitsausprosessien hitsiaineentuotto ja hitsiainemäärä.

Taulukko 5. Hitsausprosessien hitsiaineentuotto ja hitsiainemäärä.

	I	II	III	IV
Hitsiaineentuotto (kg/h)	1,20	1,20	1,90	1,75
Hitsiainemäärä (kg/m)	0,20	0,54	0,35	0,50

Hitsausenergian ja lämmöntuonnin laskeminen

Hitsausenergia laskettiin kaavan 4 avulla ja lämmöntuonti kaavan 5 avulla, hyötysuhteen k ollessa 0,8 MIG/MAG-hitsausprosesseille. Arvot näistä on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Hitsien hitsausenergia ja lämmöntuonti.

	I	II	III	IV
Hitsausenergia (kJ/cm)	12,90	19,72	16,03	23,90
Lämmöntuonti (kJ/cm)	10,32	15,78	12,83	19,12

5 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Koehitsausten aikana hitsaustapahtumaa havainnoitiin ja hitsauksen jälkeen hitsejä tutkittiin silmämääräisesti. Hitsauksen aikana havaittiin MAG-lyhytkaarihitsauksessa syntyvän paljon enemmän pienempirakeisia roiskeita verrattuna WiseFusionTM-toiminnolla varustettuun MAG-pulssihitsaukseen, jossa syntyi satunnaisia suurirakeisia roiskeita. Roiskeet syntyivät kummassakin tapauksessa hitsauksen siirtyessä kauemmaksi pienasta kohti kylmempiä reunoja. Tästä voidaan päätellä jälkimmäisen prosessin tuottavan paljon vähemmän roiskeita materiaalin pinnalle ja vähentävän näin jälkikäsitelyä. Toisaalta 4 mm a-mittaisen WiseFusionTM-toiminnolla varustetulla MAG-pulssihitsauksella hitsatun kappaleen yhteydessä havaittiin satunnaisia suurempirakeisia roiskeita. 6 mm a-mittaisella WiseFusionTM-toiminnolla varustetulla MAG-pulssihitsauksella sekä 4 mm ja 6 mm a-mittaisella MAG-lyhytkaarihitsauksella hitsattujen kappaleiden pinnalla havaittiin yksinäisiä huokoisia joiden syyksi pääteltiin liian pitkä valokaari tai pinnan epäpuhtaudet. WiseFusionTM-toiminnolla varustetulla MAG-pulssihitsauksella hitsatessa hitsausääni oli tasaista ”rätinää”, kun puolestaan MAG-lyhytkaarihitsauksella hitsatessa syntyi epätasaisia kovia ”tikityksiä”.

Hitsaajaa haastatteleamalla selvisi WiseFusionTM-toiminnolla varustetun MAG-pulssihitsauksen olevan vaikea prosessi hallita sitä satunnaisesti käyttävälle. Sopivien hitsausparametrien löytäminen oli haastavaa, sillä parametrien säätömahdollisuuksia oli enemmän kuin perinteisissä prosesseissa ja sen käytön opetteluun aikaa oli rajallisesti. WiseFusionTM-toiminto vaikeutti valokaaren hallintaa MAG-pulssihitsauksessa hitsisulan ollessa suurempi.

Makrohietutkimuksessa havaittiin WiseFusionTM-toiminnolla varustetun MAG-pulssihitsauksella hitsatessa saavutettavan syvä tunkeuma 4 mm a-mitalla, kun taas MAG-lyhytkaaarella hitsatessa hitsautumissyvyys jäi vajaaksi. 6 mm a-mittaa hitsatessa kummallakin hitsausprosessilla saatiin yhtä syvä tunkeuma, mutta WiseFusionTM-toiminnolla varustetulla MAG-pulssihitsauksella se oli tasaisempi. Nimellisiä a-mittoja verratessa toteutuneisiin a-mittoihin havaittiin ne olevan n. 1,30 mm lähempänä nimellistä 4 mm a-mittaa ja n. 0,52 mm lähempänä 6 mm nimellistä a-mittaa

WiseFusionTM-toiminnolla varustettua MAG-pulssihitsauksella. Tästä pääteltiin WiseFusionTM-toiminnon helpottavan halutun a-mitan saavuttamista.

Murtokoetta suorittaessa ongelmaksi muodostui liian sitkeä hitsi ja liian pienet lovet murtumisen helpottamiseksi, minkä takia suurin osa kappaleista taipui murtumatta. Murtokoe onnistui 4 mm a-mittaiselle WiseFusionTM-toiminnolla varustetulla MAG-pulssihitsauksella hitsatulle kappaleelle ja 4 mm a-mittaiselle MAG-lyhytkarihitsauksella hitsatulle kappaleelle. Kummassakin kappaleessa havaittiin huokosia ja 4 mm a-mittaisen MAG-lyhytkarihitsauksen tunkeuma ei ulottunut pienasta perusaineeseen asti, mikä havaittiin jo makrohiekuvista.

Hitsausparametreja ja laskelmia verratessa huomattiin WiseFusionTM-toiminnolla hitsausnopeuden olevan 4 mm a-mitalla 0,83 cm/min nopeampaa ja 6 mm a-mitalla 0,14 cm/min nopeampaa kuin MAG-lyhytkareilla hitsatessa. Erot hitsausnopeuksissa eivät ole suuria, mutta voidaan päätellä WiseFusionTM-toiminnon mahdollistavan hieman suuremman hitsausnopeuden. Prosessien tuottavuutta vertaillessa huomattiin hitsiaineentuoton olevan 4 mm a-mitalla 0,70 kg/h ja 6 mm a-mitalla 0,56 kg/h pienempi käytettäessä WiseFusionTM-toiminnolla varustettua MAG-lyhytkarihitsausta. Tässä on kumminkin huomioitava, että nämä tulokset on saatu kuvasta 8 sulatusnopeuden arvoja hyödyntäen. Todellisuudessa hitsiaineentuotto olisi n. 1–2 % pienempi. Hitsiainemäärä oli puolestaan 4 mm a-mitalla 0,15 kg/m pienempi ja 6 mm a-mitalla 0,07 suurempi WiseFusionTM-toimintoa käyttämällä. Palosuhteita ei tässä työssä huomioitu tuottavuutta lisäävänä tekijänä, sillä se vaatisi pidempiä aikaista tutkimista osana hitsausprosessia.

Lämmöntuonnin havaittiin olevan 2,50 kJ/cm pienempi 4 mm a-mitalla ja 3,34 kJ/cm 6 mm a-mitalla WiseFusionTM-toimintoa käyttäessä. Tätä voidaan pitää merkittävänä etuna kyseiselle prosessille varsinkin hitsattaessa vaativia hitsattavia kohteita, joissa mahdollisimman pieni lämmöntuonti on tärkeää epätoivottujen muodonmuutosten syntymisen estämiseksi rakenteessa.

Verrattaessa näitä kahta prosessia huomataan WiseFusionTM-toiminnolla varustetun MAG-pulssihitsauksen tuovan monia etuja verrattuna MAG-lyhytkaarihitsaukseen. Taulukossa 7 on esitetty yhteenveto WiseFusionTM-toiminnolla varustetun MAG-pulssihitsauksen hitsauskokeissa havaituista eduista ja heikkouksista verrattuna MAG-lyhytkaarihitsaukseen.

Taulukko 7. WiseFusionTM-toiminnolla varustetun MAG-pulssihitsauksen hitsauskokeissa havaittuja etuja ja heikkouksia verrattuna MAG-lyhytkaarihitsaukseen.

<u>Etuja</u>	<u>Heikkouksia</u>
Suurempi hitsausnopeus	Pienempi hitsiaineentuotto
Pienempi lämmöntuonti	Hitsaustapahtumaa paikoittain vaikeampi hallita johtuen WiseFusion TM -toiminnon käyttämisen vähäisestä kokemuksesta
Pienempi hitsiainemäärä 4 mm a-mitalla	Suurempi hitsiainemäärä 6 mm a-mitalla
Toteutunut a-mitta lähempänä nimellistä arvoa	Hitsaajalla kestää pidempään totutellussa prosessiin ja säätöominaisuuksiin
Syvempi ja tasaisempi tunkeuma	Suurempi hitsisula
Vähemmän hitsausvirheitä	
Helpompi valokaaren hallinta	
Vähemmän roiskeita	

Etuja ja heikkouksia tarkastellessa voidaan todeta WiseFusionTM-toiminnolla varustetun MAG-pulssihitsauksen soveltuvan hyvin pystypienen hitsaamiseen hitsaussuuntana alhaalta ylöspäin perinteisesti käytetyn MAG-lyhytkaarihitsauksen sijaan. Erityisesti kyseisessä hitsauskohteessa lämmöntuontia saadaan pienennettyä sekä tunkeumaa ja hitsausnopeutta kasvatettua. Etenkin useasti työssään WiseFusionTM-toimintoa käyttävälle olisi siitä suuri apu paremman laadun, pienempien kustannuksien ja suuremman tuottavuuden saavuttamiseksi hitsaamisessa.

6 YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli vertailla WiseFusionTM-toiminnolla varustettua MAG-pulssihitsausta MAG-lyhytkaarihitsaukseen hitsattavan kohteen ollessa pystypienä ja hitsaussuunta alhaalta ylöspäin. Kummallakin hitsausprosessilla tehtiin yksi hitsi 4 mm ja yksi 6 mm nimelliselle a-mitalle hitsaten yhdellä palolla ilman hitsausprosessin mekanisointia. Tärkeitä kokeissa tutkittavia asioita olivat hitsauksen tuottavuuden, lämmöntuonnin ja hitsausnopeus mittaaminen. Näiden lisäksi makrohieiden ja murtokokeen avulla tarkasteltiin hitsin laatua sekä selvitettiin hitsin tunkeuma. Hitsauskokeet suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston hitsauslaboratoriossa.

WiseFusionTM on Kemppi Oy:n kehittämä mukautettu toiminto synergiseen MIG/MAG-pulssi ja -kuumakaarihitsaukseen. WiseFusionTM-toiminto pitää valokaaren pituuden tasaisena ja estää valokaaren koon muuttumista vapaalangan pituuden muuttuessa hitsauksen aikana. Valokaari pysyy lyhyempänä ja kohdistuu pienemmälle alueelle. Sen avulla saavutetaan parempi hitsisulan ja valokaaren hallinta hitsauksen aikana. Tämän lisäksi hitsin tunkeumasta saadaan syvempi. Yleisesti ottaen koko hitsausprosessista saadaan tuottavampi ja kustannustehokkaampi.

Koetulosten perusteella voidaan todeta WiseFusionTM-toiminnolla varustetun MAG-pulssihitsauksen soveltuvan hyvin korvaamaan MAG-lyhytkaarihitsauksen pienahitsaamisessa hitsaussuuntana alhaalta ylöspäin. Sillä saavutettiin monia etuja, joita olivat erityisesti lämmöntuonnin pienentyminen, hitsausnopeuden ja tunkeuman kasvaminen. Lisäksi sillä pääsi helpommin lähemmäksi tavoiteltua nimellistä a-mittaa. Suurimmaksi ongelmaksi muodostui optimaalisten parametrien löytyminen johtuen WiseFusionTM-toiminnon käytön vähäisestä kokemuksesta. Tästä pääteltiin useasti WiseFusionTM-toimintoa käyttävän saavuttavan paremman tuloksen ja näin ollen laadukkaamman hitsin ja paremman tuottavuuden.

LÄHTEET

American Welding Society. 2004. Welding Handbook: Ninth Edition, Vol. 2: Welding processes, part 1. American Welding Society, USA. 720 s. ISBN: 0-87171-729-8.

Esab. 2013. MIG/MAG-hitsaus. [Esab Oy:n www-sivuilta]. Viimeksi päivitetty 14.6.2013. [viitattu 2.7.2013].

Saatavissa: <http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes-mig-gmaw.cfm>

Inspecta. 2013a. Rikkomaton aineenkoetus (NDT, Non-Destructive Testing). [verkkodokumentti]. [Viitattu 5.7.2013]. Saatavissa:

<http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Testaus/Rikkomaton-aineenkoetus-NDT-Non-Destructive-Testing/#.UdZldKzQd4I>

Inspecta. 2013b. Rikkova aineenkoetus (DT). [verkkodokumentti]. [Viitattu 5.7.2013].

Saatavissa: http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Testaus/Rikkova-aineenkoetus-DT/?snsrc=aws_9df0980b2307ae635570d98c09b48d0b14548630268&snkw=rikkova%20aineenkoetus

Keinänen, J. & Kärkkäinen, J. 2011. Konetekniikan perusteet. 9. painos. Helsinki: WSOYpro Oy. 364 s. ISBN 978-951-0-32900-9.

Kemppi Oy. 2012. WiseRoot/Penetration/Fusion/Thin-Wise-ratkaisuilla tuottavampaan lopputulokseen. [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.7.2013]. Saatavissa PDF-tiedostona:

http://www.kemppiweldingproducts.com/flash/fi/datasheets/datasheet_wise_fi.pdf

Kemppi Oy. 2013a. Mitä hitsaus on. [Kemppi Oy:n www-sivuilta]. [viitattu 2.7.2013]. Saatavissa:

http://www.kemppi.com/inet/kemppi/fi/akp.nsf/frameset/frameset?OpenDocument&left=/inet/kemppi/fi/akp.nsf/WEB_Nav?OpenView&navcat=Welding%20ABC&main=/inet/kemppi/contman.nsf/0/5EA64CEDFF42FC30C225718D003E66A7?opendocument&top=/inet/kemppi/fi/akp.nsf/Top?ReadForm&topcat=Welding%20ABC

Kemppi Oy. 2013b. Wise-tuottavampaan tulokseen. [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.7.2013]. Saatavissa PDF-tiedostona:

http://www.ferob.fi/doc/kemppi/BR_Wise_AD235_0940_FI.pdf

Kemppi Oy. 2013c. Kemppi tänään. [Kemppi Oy:n www-sivuilta]. Viimeksi päivitetty 14.6.2013. [viitattu 3.7.2013]. Saatavissa:

<http://www.kemppi.com/inet/kemppi/contman.nsf/Print/95C80EAA5FCDB5A2C22571950036CC4D?OpenDocument>

Kemppi Oy. 2013d. MIG/MAG-menetelmät. [Kemppi Oy:n www-sivuilta]. Viimeksi päivitetty 14.6.2013. [viitattu 2.7.2013]. Saatavissa:

<http://www.kemppi.com/inet/kemppi/contman.nsf/Print/A93D96DDEE9A053DC225718D0046561E?OpenDocument>

Kemppi Oy. 2013e. Wise and Mach Software- Operating Manual. [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.8.2013]. Saatavissa PDF-tiedostona:

<http://www.rapidwelding.com/files/Kemppi%20Wise,Match%20Software%20Manual.pdf>

Kemppinen, P. 2011. Neljä apuvälinettä jokaisen hitsaajan tarpeisiin. Kemppi ProNews 2011. 40 s.

Kumpulainen, J. 2009. WiseFusionTM-toiminto vaativiin hitsauksiin. Hitsaustekniikka-lehti. 5/2009. 34 s.

Lukkari, J. 2001. Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Hitsausuutiset. Esab. 2/2001. 35 s.

Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka: perusteet ja kaarihitsaus. 4. painos. Helsinki: Edita Prima Oy. 292 s. ISBN 952-13-1409-5.

Lukkari, J. 2007. Työkaluja hitsaus-koordinoijalle hitsauksen suunnittelua varten. Hitsaustekniikka-lehti. 2/2007. 54 s.

Lukkari, J. 2008. Hitsiaineentuotto ja sen käyttö. Hitsausuutiset. Esab. 1/2008. 28 s.

Lukkari, J. 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Hitsaustekniikka-lehti. 3/2011. 60 s.

Martikainen, J. 2012a. Hitsaustekniikan jatkokurssi. [verkkodokumentti]. [Viitattu 9.7.2013]. 72 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk20a0301/materiaali>

Martikainen, J. 2012b. Hitsaustekniikan jatkokurssi. Luennot, osa 3: Rikkomaton (NTD) ja rikkova aineenkoetus. [verkkodokumentti]. [Viitattu 9.7.2013]. 79 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk20a0301/materiaali>

Matilainen, J. & Parviainen M. & Havas T. & Hiitelä, E. Hultin S. 2011. Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja. Teknologiateollisuus ry. Tampere: Tammerprint Oy. 387 s. ISBN 978-952-238-068-5

Ovako Oy. 2012. Ovakon terästen hitsaus. [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.7.2013]. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.ovako.com/PageFiles/320/Ovakon_terasten_hitsaus_15724.pdf

SFS-EN 1320: 1997. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Murtokoe. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 21 s. Vahvistettu 5.5.1997.

SFS 2373: 1980. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. Helsinki: suomen Standardisoimisliitto SFS. 30 s. Vahvistettu 31.12.1980.

SFS 3052: 1995. Hitsaussanasto yleistermit. Helsinki: suomen Standardisoimisliitto SFS. 122 s. Vahvistettu 25.9.1995.

SFS 3054: 1983. Hitsaussanasto. Kaarihitsaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 26 s. Vahvistettu 2.9.1983.

SFS-EN ISO 4063: 2011. Hitsaus ja niiden lähiprosessit. Prosessien nimikkeet ja numerotunnukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 26 s. Vahvistettu 24.1.2011.

Stenbacka, N. 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys. 159 s. ISBN 978-951-98212-3-8

Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys. 2006. Hitsauksen materiaalioppi. 2. painos. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys. 300 s. ISBN 951-98212-2-8.

Suoranta, R. 2007. MIG/MAG-hitsaus. Hitsaustekniikka-lehti. 2/2007. 54 s.

Uusitalo, J. 2012. Hitsausvalokaaren hallinnan huippulaatu. Kemppi ProNews 2012. 52 s.

Valtanen, E. 2008. Tekniikan taulukkokirja. 16. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 1152 s. ISBN 978-952-9867-33-2

Woikoski Oy. 2013. [Woikoski Oy:n www-sivuilta]. [Viitattu 31.8.2013]. Saatavissa: <http://www.woikoski.fi/kaasuseos>



VASTAANTOTODISTUS INSPECTION CERTIFICATE

EN 10 204-3.1 (2004)

1/3
87454U-001
28.05.2012

Final Purchaser:
RUUKKI METALS OY
00810 HELSINKI FINLAND
Trade Order No.:
4500470024
Total Deliveries:
31

Destination: Consignee:
RUUKKI STAINLESS STEEL & 04400 JÄRVENPÄÄ FINLAND
Tilauksen/Order Confirmation:
Austriacan merkki: Shipping mark

Inspected Date:
29.06.2012
Inspected by:
Mark of the Manufacturer



Trade Product:
COILS

Labeling: Quality Stamping

Inspected Item:
Stamp of Inspector
Stamp of Surveyor
Mark of Manufacturer

Trade Product:
LASER 355 MC

Labeling: Quality Stamping

Inspected Item:
Stamp of Inspector
Stamp of Surveyor
Mark of Manufacturer

Trade Product:
HOT ROLLED STEEL MILL EDGE COILS PICKLED

Labeling: Quality Stamping

Inspected Item:
Stamp of Inspector
Stamp of Surveyor
Mark of Manufacturer

Trade Product:
MEETS REQUIREMENTS OF EN10149-2 S355MC

Labeling: Quality Stamping

Inspected Item:
Stamp of Inspector
Stamp of Surveyor
Mark of Manufacturer

Trade Product:
010 6.00 X 1250 X 186000 4500470024 A001.A02260 STD

Labeling: Quality Stamping

Inspected Item:
Stamp of Inspector
Stamp of Surveyor
Mark of Manufacturer

Pos	Material	Mark	QTY	Weight	Surface Area	SP No	UT	MT
010	HOT ROLLED STEEL MILL EDGE COILS PICKLED	A001.A02260 STD	2	22540	52862	021	021	
			***	2	22540			



Raaste Steel Works
Testing and Inspection

These testpieces will be tested at Raaste Steel Works.
We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of the order confirmation.

Jaakko Juuso
JAAKKO JUUSO

Authorized inspection representative
Yhteinen nimi Company Name: **RUUKKI METALS OY**
Korkeimman Tähteyden Oikeus: **HELSINKI**

Office Address: **PL 93, P.O. Box 93
FIN-02101 ROOHE, FINLAND**

Phone Telephone: **020 5911
+358 50 5911**

Telex: **020 592 2736
+358 50 592 2736**

Yhteinen Business ID: **2389445-7**



AINESTODISTUS TEST REPORT

EN 10 204-3.1 (2004)

2/3
87454U-001
28.06.2012

Product Purchase:
RUUKKI METALS OY

Vaasateollisuus - Contipipe
RUUKKI STAINLESS STEEL &
ALUMINIUM OY

Printimäärä: 20
Vastatulle: 29.06.2012
Merkki: VJS

Order No.:
4500470024

Alustava lisäys: Additional requirements

Jatkuvasti sovellettiin
Oxygen steel, continuous casting
Fully killed, Fine grain practice

Grade:
LASER 355 MC
Lasareihin. Quality Specifications
RUUKKI LASER, HSF FINE GRAIN STEEL FOR LASER/PLASMA CUTTING

Item	Symbol	Kind	no	Temp	Velocity	Tensile test	Impact test	Chemical	Special tests	Micro	Hardness	Plastic	Plastic
Code	Label	Temp	Kind	Temp	Temp	Temp	Temp	Temp	Temp	Temp	Temp	Temp	Temp
010	52862	021	TM	52									
K2: 52-BOTTOM, LONGITUDINAL K3: 52+120 MM WIDE BEND TEST													
TILAN THERMOMECH. TREATED													
010	52862	021	157	-020	154	160	158	157					
K3: 157+CH-VISO-VÄLITX10,BOTTOM, LONGIT. KY900													

Tested by: J. Sankari
Testing and inspection

Tämän todistuksen, että toiminta on täyskattava ja täysin mukainen.
We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of the order confirmation.

JAAKKO JUUSO

Authorized inspection representative
Yhtiön nimi / Company Name: RUUKKI METALS OY
Kotipaikka / Registered Office: HELSINKI
Osoite / Address: P.O. Box 93, FIN-02101 RAAHJE, FINLAND
Puhelin / Telephone: 020 59111
Telekopio / Telex: 020 592 2736
Y-tunnus / Business ID: 2365445-7

(Liite 1 jatkoa)

(jatkuu)



ANALYYSITODISTUS ANALYSIS CERTIFICATE
ANALYSEBESCHENIGUNG COMPOSITIO CHIMIQUE CERTIFICAT
СЕРТИФИКАТ АНАЛИЗА

3 / 3
 87454U-001
 28.06.2012
 Päivämäärä / Date
 29.06.2012
 VJS

Sulake nro Cast No	Koe nro Test No	Proso Form No	Osav. Cm	Analyysi % Chemical composition %	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	
No on koodin Mittaus	Esäe No Mittaus	Esäe No Mittaus	Esäe No Mittaus	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	Osav. Cm	
52852	010	.19	.054	.01	0.70	.008	.004	.030	.029	.007									

CE0-C+Mn/6+ (CR+MO+V) / 5+ (NI+CD) / 1S

Raabe Steel Works

Tietoa ja yhteystiedot
 Raabe Steel Works
 Raabe Steel Works

Steel manufactured and supplied by Raabe Steel Works
 Работы изготовлены и поставлены компанией Раабэ-Стeel

Jukka Juuso

JAAKKO JUUSO

Yhteystiedot
 Raabe Steel Works
 Raabe Steel Works

Yhteystiedot
 Raabe Steel Works
 Raabe Steel Works

Yhteystiedot
 Raabe Steel Works
 Raabe Steel Works

LIITE 2 OK Autrod 12.51- hitsauslangan tuotekuvaus

OK Autrod 12.51 GMAW ER70S-6

Tuotekuvaus

OK Autrod 12.51 on kuparoitu, seostamaton yleislanka seostamattomien rakenneterästen ja hienoraeterästen MAG-hitsaukseen. Lanka soveltuu mm. seostamattomille yleisille rakennusteräksille ja paineastiateräksille, laivanrakennusteräksille ja hienoraeteräksille, kun myötölujuusvaatimus on enintään 420 N/mm². Lanka on saatavissa myös Marathon Pac™-suurpakkauksessa mekanisoituun ja robotisoituun hitsaukseen.

Suojakaasu: seoskaasu M21/M20 tai CO₂.

Hitsausvirta

DC+

Vastaavia muita lisäaineita

TIG: OK Tigrod 12.64
MMA: OK 48.00, 53.05
FCAW: OK Tubrod 14.12, 14.13, 15.14

Luokitukset

SFA/AWS A5.18 ER70S-6
EN ISO 14341-A G3Si1

A

Tyypillinen langan analyysi

C	Si	Mn
0,1	0,9	1,5

Tyyp. mek. ominaisuudet, puhdas hitsiaine

Myötöraja, MPa 470
Murtolujuus, MPa 560
Venymä, A5 % 26

Iskusitkeys

Lämpötila, °C Iskusitkeys, J
+20 130
-20 90
-30 70

Hyväksymiset

ABS 3SA, 3YSA
BV SA3YM
CE 13479
DB 42.039.06
DNV III YMS
GL 3YS
LR 3 3YS
PRS 3YS
RS 3YMS
Sepros UNA 485178
VdTUV 00899

Hitsausvirtatiedot

Halkaisija mm	Langansyöttö m/min	Hitsausvirta A	Kaarijännite V	Tuotto kg/h
0,6	5,5-13	30-100	15-20	0,7-1,7
0,8	3,2-13	60-200	18-24	0,8-3,0
0,9	3,0-12	70-250	18-26	0,9-3,6
1,0	2,7-15	80-300	18-32	1,0-5,6
1,2	2,5-15	120-380	18-34	1,3-8,0
1,4	2,3-12	150-420	22-36	1,6-8,7
1,6	2,3-12	225-550	28-38	2,1-11,4

LIITE 3 Kysymyslista hitsaajalle

1. Helpottiko WiseFusion™-toiminto hitsaamista? Jos helpotti, niin millä tavoin?
2. Helpottiko WiseFusion™-toiminto sulan hallintaa?
3. Helpottiko WiseFusion™-toiminnon käyttö optimaalisten hitsausparametrien etsimisessä?
4. Helpottiko WiseFusion™-toiminto valokaaren hallintaa?
5. Oliko hitsausprosessi helpompi toteuttaa MAG-lyhytkaarihitsauksella vai WiseFusion™-toiminnolla varustetulla MAG-pulssihitsauksella?
6. Oliko parametrien etsimisessä eroja hitsausprosessien välillä?
7. Yleisiä kommentteja WiseFusion™-prosessista