



**TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Kone- ja tuotantotekniikka**

**Konetekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**BOORITERÄKSEN MAG- JA CMT- HITSAUS**

**Työn tekijä: Heikki Eskelinen**  
**Työn ohjaajat: Juha Kotamies**  
**Sakari Tihinen**

**Työ hyväksytty: \_\_. \_\_. 2010**

**Juha Kotamies**  
**lehtori**

## ALKULAUSE

Tämä insinöörityö tehtiin Ruukki Oyj:n toivomuksesta tutkia uuden suurlujuusteräksen hitsattavuutta ja hitsauksen vaikutusta teräkseen. Tutkimus tehtiin kahdella eri hitsausmenetelmällä, kahdella railo- sekä lankatyypillä selvittäen näiden erilaisten yhdistelmien vaikutusta tutkittavan teräksen ominaisuuksiin.

Tälle insinöörityölle on valmistumassa rinnakkaistutkimus, jossa Kalle Hämäläinen keskittyy koeteräksen veto- ja taivutusominaisuuksiin.

Haluan kiittää Ruukin tuotekehitys insinööriä Sakari Tihistä, hänen neuvonsa oli ensiarvoisen tärkeitä etenkin tutkittavan materiaalin osalta.

Kiitokset kuuluvat myös Metropolia AMK:n hitsaus- ja konelaboratorion henkilökunnalle, heiltä sain paljon apua tutkimuksen eri vaiheissa.

Eriyiset kiitokset osoittaisin työni ohjaajalle lehtori Juha Kotamiehelle, hänen asiantuntemuksensa, ammattitaitonsa ja kannustava opastuksensa vaikuttivat merkittävästi työn suorittamiseen.

Helsingissä 30.10.2010

Heikki Eskelinen

## TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä: Heikki Eskelinen</b>	
<b>Työn nimi: Booriteräksen MAG- ja CMT-hitsaus</b>	
<b>Päivämäärä: 30.10.2010</b>	<b>Sivumäärä: 48 s. + 8 liitettä</b>
<b>Koulutusohjelma:</b>	<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b>
<b>Kone- ja tuotantotekniikka</b>	<b>Konetekniikka</b>
<b>Työn ohjaaja: Lehtori Juha Kotamies</b>	
<b>Työn ohjaaja: Tuotekehitysinsinööri Sakari Tihinen</b>	
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin Ruukki Oyj:n uutta kehitysasteella olevaa kulutusta kestäväää suurlujuusterästä, ominaisuuksiltaan sitä voi verrata Raex- ja booriteräksiin.</p> <p>Tarkastelun alla oli teräksen hitsattavuus kahdella hitsausmenetelmällä, MAG (Metal Active Gas Welding) ja CMT ( Cold Metal Transfer).Näiden kahden hitsausmenetelmän suurin ero kokeemme kannalta oli lämmöntuonti.</p> <p>MAG on kuumakaari- ja CMT kylmäkaarihitsausmenetelmä. CMT-menetelmällä on saavutettu 20-30 % alhaisempi lämmöntuonti hitsauskohteeseen. Lämmöntuonnin vaikutus hitsattaviin kappaleisiin oli tutkimuksen keskeisin tarkastelun aihe.</p> <p>Hitsausmenetelmiä vertailtiin ja tutkittiin kahdella eri railotyypillä V ja I, sekä kahdella eri lankatyypillä Esab 12.51 ja Union X 96.Tasalaatuiseen ja keskenään vertailukelpoiseen lopputulokseen edesauttoi Esabin lineaarikuljettimen käyttö.</p> <p>Tutkimuksia tehtiin ainetta rikkomattomin menetelmin eli NDT-tutkimuksin, joita olivat silmäääräinen tarkastus, magneettijauh tarkastus ja tunkeumanestetarkastus. Standardin mukaisia rikkovia aineenkoetuksia suoritettiin useita, makro- ja mikrohetutkimukset, kovuusmittaukset Vickers menetelmällä, sekä veto- ja taivutuskokeet.</p> <p>Tutkimus oli suppea tutkittaviin kokonaisuuksiin nähden ja tuloksia voi pitää vain suuntaa antavina.Selkeää eroa ei havaittu hitsausmenetelmien välille. Parhaimman keskiarvon sai CMT-menetelmä, I-railo ja Union X 96 lisäaine. Voiton railovertailussa vei V-railo. Muutamissa testaussarjoissa oli I-railoissa molemmilla hitsausmenetelmillä ongelmia. Hitsattujen kappaleiden taivutuskokeessa löytyi ero näytteen alku- ja loppupään välillä. Alkupään kappaleet olivat heikompia. Tästä voi päätellä, että lämmöntuonnilla on vaikutusta hitsausauman lujuuteen. Tutkimuksissa olisi voitu päätyä muunkinlaiseen lopputulokseen riippuen siitä mitä ominaisuutta painotetaan.</p>	
<b>Avainsanat:</b> Mag-hitsaus, CMT-hitsaus, kylmäkaari, kuumakaari, Booriteräs, NDT-tutkimus	

**ABSTRACT**

<b>Name: Heikki Eskelinen</b>	
<b>Title:</b> <b>Boron steel welding by MAG- and CMT-methods</b>	
<b>Date: 30.10.2010</b>	<b>Number of pages: 48</b>
<b>Department:</b> <b>Tech- and Industrial Engineering</b>	<b>Study Programme:</b> <b>Tech Engineering</b>
<b>Instructor: Juha Kotamies Lic. Sc. (Tech) EWE</b>	
<b>Supervisor: Sakari Tihinen M.S.</b>	
<p>This graduation work studies the Ruukki Oyj:s new ultra high tensile strength steel (UHSS). It has the same kind of characteristics as Raex- and boronsteel.</p> <p>We investigated two different welding methods, the MAG (Metal Active Gas Welding) and CMT (Cold Metal Transfer).</p> <p>The biggest difference between these two welding methods in our experiment was that the heat-input CMT-methods gives 20-30% lower heat-input which was supposed to reduce the softening of base metal.</p> <p>The effect of heat-input in the welds were one of the main targets of our studies. Welding methods were compared by two different grooves, V and I, and with two different welding wires, Esab 12.51 and Union X 96.</p> <p>In accomplishing a comparable and homogenous result, the usage of linear welding robot was very helpful.</p> <p>The welds were examined by NDT-methods, as magnetic powder inspection, visual observing and penetrative testing.</p> <p>Several destructive tests according to standards were made. Such as macro- and micro-examination, hardness measurements by Vickers method, tensile and bend tests.</p> <p>The studies were brief and the results can only be considered directional.</p> <p>There was no clear difference between the two welding methods. The best average tensile strength was accomplished by CMT method, I-crack and Union X 96 wire.</p> <p>In the groove comparison the best was V-groove. Some of the welds showed problems in the I-groove with both methods. In the bend test of two objects were found a difference in the front-end and the end of the sample. The front-end objects were weaker. But we cannot draw the conclusion that heat-input has reasonably affected the hardness of the welds. The result could have been different depending on which characteristics we intensified.</p>	
<b>Keywords: MAG-welding, CMT-welding, boron steel, UHSS, NDT-research.</b>	

## **SISÄLLYS**

### **ALKULAUSE**

### **TIIVISTELMÄ**

### **ABSTRACT**

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>TERÄS - BOORITERÄS</b>	<b>4</b>
2.1	Erikoislujat teräkset	4
2.2	Booriteräksen hitsaus	5
2.3	Koeteräs	5
<b>3</b>	<b>MIG- JA MAG- HITSAUS</b>	<b>6</b>
3.1	Historia	7
3.2	MIG- ja MAG- hitsauksen yleiskuvaus	8
3.3	Hitsauslaitteisto	9
3.3.1	<i>Hitsausvirtalähde</i>	9
3.3.2	<i>Säätäminen</i>	11
3.3.3	<i>Langansyöttölaite ja monitoimijohdin</i>	12
3.3.4	<i>Hitsauspistooli</i>	14
3.3.5	<i>Suojakaasulaitteisto</i>	15
3.4	Lisäaineet ja suojakaasut	15
3.5	Edut ja haitat	16
3.6	Käyttökohteet	17
<b>4</b>	<b>CMT- HITSAUS</b>	<b>17</b>
	CMT-prosessi	18
<b>5</b>	<b>KOEVALMISTELUT JA HITSAUS</b>	<b>19</b>
5.1	Laskennalliset arvot	21
5.2	Koekappaleet	23
5.3	Koekappaleiden merkintä	24

	2
<b>6 TARKASTUMENETELMÄT JA STANDARDIT</b>	<b>25</b>
<b>6.1 Rikkomaton aineenkoestus NDT</b>	<b>25</b>
6.1.1 <i>Silmämääräinen tarkastus</i>	25
6.1.2 <i>Magneettijauhetarkastus</i>	26
6.1.3 <i>Tunkeumanestetarkastus</i>	26
<b>6.2 Rikkova aineenkoestus</b>	<b>27</b>
6.2.1 <i>Poikittainen vetokoe</i>	27
6.2.2 <i>Taivutuskoe</i>	28
6.2.3 <i>Kovuusmittaus</i>	29
6.2.4 <i>Makro- ja mikrohietutkimus</i>	30
<b>7 TUTKIMUKSET</b>	<b>31</b>
7.1 <b>NDT- Tutkimus</b>	<b>31</b>
<b>8 POIKITTAINEN VETOKOE</b>	<b>32</b>
<b>8.1 Vetokokeen tulokset</b>	<b>32</b>
8.1.1 <i>Venymän tarkastelu CMT</i>	33
8.1.2 <i>CMT-menetelmä kokonaisvoima Fm (N)</i>	34
8.1.3 <i>Venymän tarkastelu MAG</i>	34
8.1.4 <i>MAG-hitsaus kokonaisvoima Fm (N)</i>	35
8.1.5 <i>Perusaineen vetokoe</i>	36
<b>8.2 Taivutuskoe</b>	<b>37</b>
8.2.1 <i>Virheet, murtumat, sijainti ja kirjaaminen</i>	37
8.2.2 <i>Taivutuskoetulokset</i>	37
8.2.3 <i>OK ja murtuman sijainti koesauvoissa</i>	39
<b>8.3 Kovuuskokeet</b>	<b>41</b>
<b>8.4 Mittauspisteet</b>	<b>41</b>
<b>8.5 Kovuusmittausten tarkastelu</b>	<b>42</b>
<b>8.6 Makrohietutkimus</b>	<b>43</b>
<b>8.7 Mikrohietutkimus</b>	<b>44</b>
<b>8.8 Makro- ja mikrotutkimuksen arviointi</b>	<b>45</b>
<b>9 YHTEENVETO</b>	<b>45</b>
<b>10 LOPPUPÄÄTELMÄ</b>	<b>46</b>
<b>VIITELUETTELO</b>	<b>48</b>
<b>LIITTEET</b>	
<b>Liite 1. MAG-vetokoe</b>	
<b>Liite 2. CMT-vetokoe</b>	
<b>Liite 3. Perusaine vetokoe</b>	
<b>Liite 4. Kovuusmittaustulokset</b>	
<b>Liite 5. Makrohieet</b>	
<b>Liite 6. Mikrohieet</b>	
<b>Liite 7. Hitsauskoepöytäkirja MAG</b>	
<b>Liite 8. Hitsauskoepöytäkirja CMT</b>	

## 1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia Ruukki Oy:n uuden vielä kehitysvaiheessa olevan booriteräksiin lukeutuvan suurlujuus- ja kulutusteräksen soveltuvuutta hitsaamiseen. Tässä vielä kehitysvaiheessa olevaa koeterästä kutsutaan yleisnimellä booriteräs. Kokeessa pyritään selvittämään uudentyyppisen booriteräksen soveltumista hitsaukseen ja hitsauksen vaikutukset teräksen ja hitsausliitoksen ominaisuuksiin.

Laajemman vertailupohjan saamiseksi kokeessa vertailtiin kahta hitsausmenetelmää, MAG- ja CMT- hitsausta. ( Metal Active Gas Welding ja Cold Metal Transfer ). Kyseiset hitsausmenetelmät eroavat toisistaan lämmöntuonnin osalta, CMT- prosessi tuottaa lämpöä hitsauskappaleeseen keskimäärin 20 - 30 % vähemmän kuin MAG- hitsaus. Tämä merkittävä pienennys on aikaansaatu kehittämällä uudentyyppinen hitsaustapahtuma, jossa langan kulkusuunta muuttuu keskimäärin 70 kertaa sekunnissa ja yhtä usein hitsausvirta syttyy ja sammuu, taajuus on siis 70 Hertziä (Hz). Kokeessa käytettiin kahta erilaista eri valmistajan lisäainelankaa, Esab 12.51 ja Union X 96, jotta saatiin lisää vertailuarvoja. Lisäksi suoritettiin hitsaukset käyttäen kahta erilaista railoa , I- ja V- railoa, jotta saatiin edelleen enemmän lisätietoa ja vertailuarvoja.

Hitsaus suoritettiin tasalaatuisen lopputuloksen varmistamiseksi käyttäen Esabin lineaarikuljetinta, johon hitsauspistooli oli kiinnitetty. Koetta edeltävissä hitsauskokeissa etsittiin mahdollisimman optimaaliset hitsausparametrit, hitsausvirran, langansyötön, kuljetusnopeuden ja suojakaasuvirtauksen osalta sekä suutinetäisyyden ja -kulman kohdalla. Koekappaleiden hitsauksen pinta- ja pohjapalot mitoitettiin hiukan yli, eli pintapalko oli liian suuri ja korkea, samoin juuren puolelta tuli pohjapalko reilusti läpi standardin rajoihin verrattuna. Tämä oli tietoinen valinta, koska näin tehden pystyttiin valitsemaan sellaiset hitsausparametrit, että molemmat railopinnat sulivat ja railo täyttyi kunnolla. Tehtävää vaikeutti kaksi eri railomuotoa I ja V , kun langansyöttö ja kuljetusnopeus on sama molemmille railotyypeille, on selvää että I-railon pinta- ja pohjapalko muodostuvat suuremmiksi.

Hitsatuista koekappaleista irrotettiin standardin mukaiset koesauvat, joille suoritettiin NDT- tutkimukset, makro- ja mikrohietutkimukset, kovuusmittaus ja veto- sekä taivutuskokeet. Kokeiden tuloksia tarkastelemalla haluttiin selvittää hitsausmenetelmän, railomuodon sekä hitsausaineen keskinäisiä eroja.

Booriteräksen suuren kovuuden ja lujuuden ansiosta sitä käytetään yleensä kohteissa, joihin kohdistuu suuri pintapaine sekä hankaava kulutus. Booriterästä käytetään sekä kulutusteräksinä että erikoislujina rakenneteräksinä. Yleisimpiä käyttökohteita ovat työkoneiden kauhat, työstökoneiden terät, siirtoruuvit, liukupinnat sekä autojen B-tukipilarit. Booriteräs pidentää rakennosien elinikää sekä säästää kulumiskustannuksia.

## **2 TERÄS - BOORITERÄS**

Teräksestä puhuttaessa yleisellä tasolla tarkoitetaan rautaseosta, joka koostuu raudasta sekä hiilestä. Siitä käytetään nimitystä seostamaton teräs. Siihen voi kuulua myös pieniä määriä piitä sekä mangaania. Yleensä teräkseen sekoitetaan muita alkuaineita tehostamaan teräksen eri ominaisuuksia kuten lujuutta, sitkeyttä, muokattavuutta sekä sähkön- ja lämmönjohtavuutta. Käytetyimpiä seosaineita ovat hiili, kromi, nikkeli, pii, koboltti, volframi, vanadiini, molybdeeni ja alumiini. Seosaineiden vaikutukset ominaisuuksiin riippuvat siitä, miten ne sijoittuvat raudan kiderakenteisiin ja miten ne liukenevat rautaan. Seosaineet, jotka liukenevat hyvin ovat hiili, kromi, nikkeli, molybdeeni ja boori. Nämä seosaineet tehostavat hyvin voimakkaasti teräksen karkenevuutta jo pieninä määrinä, jolloin teräksestä saadaan lämpökäsittelyn avulla erittäin lujaa. Esimerkiksi booriterästä valmistettaessa booria lisätään yleensä vain noin 0.001 - 0.004 %. [5.]

### **2.1 Erikoislujat teräkset**

Tutkittava booriteräs lukeutuu erikoislujiin teräksiin (EHS-teräkset), joilla on suuri lujuus. Niitä pystytään valmistamaan rakennuskohteen vaatimien ehtojen mukaan sekä jättämään teräksen vähemmän tärkeät ominaisuudet kokonaan pienemmälle huomiolle. Suuren lujuuden ansiosta pystytään rakentamaan kevyempiä rakenteita, minkä johdosta kuljetus- sekä rakennuskustannukset pienenevät. Nykyaikaisilla erikoislujilla teräksillä hitsattavuus on



erittäin hyvä. Yleisiä käyttökohteita ovat rakennusten rungon pilarit, teollisuushallien kattotuolit, nosturit ja sillat, samoin myös rakenteet, jotka altistuvat maa-, kivi ja sora-ainesten tms. hankaavalle kulutukselle kuten kuormajien ja maansiirtokoneiden kauhat, huulilevyt, kuorma-autojen lavat, murskaimet ja vastaavat kohteet.

Booriteräkset luetaan sekä kulutusteräksiin että erikoisluihin rakenneteräksiin. Booriteräksen suuri lujuus sekä kovuus saadaan aikaan lämpökarkaisumenetelmällä. Karkaistuna booriteräs kestää parhaiten kovaa pintapainetta ja hankaavaa kulutusta. Karkaisumenetelmässä terästä hehkutetaan korkeassa lämpötilassa, jonka jälkeen se jäähdytetään nopeasti. Nopeaa jäähdytystä kutsutaan sammutukseksi ja sen tavoite on martensiittinen mikrorakenne. Karkaistun teräksen sitkeysominaisuuksia voi jälkeempään parantaa päästöhehkutuksella. [5.]

## 2.2 Booriteräksen hitsaus

Booriteräksiä valmistetaan sekä kuumavalssattuina että karkaistuina ja molemmat soveltuvat hitsattavaksi. Hitsausaineen valinnassa on tärkeä huomioida, että hitsaanko teräs ennen karkaisua vai karkaisun jälkeen. Lisäaineena suositellaan käytettävän niukkavetyistä, emäksistä lisäainetta, jotta hitsaustulokselle haitallisen vedyn määrä pysyisi mahdollisen pienenä. Hitsattavien pintojen tulee olla kuivat ja puhtaat. Karkaistuna hitsatun liitoksen reunoille syntyy kapea, perusainetta pehmeämpi vyöhyke. Vyöhykkeen leveys ja kovuus riippuvat lämmöntonin määrästä ja levyn paksuudesta. Kohtuullisilla energioilla hitsattaessa liitosten pehmennyt vyöhyke ei yleensä vaikuta liitoksen kestävyteen. Karkaisun jälkeen hitsattua rakennetta ei yleensä enää jälkilämpökäsitellä, koska karkaistujen teräsosien kulumiskestävyys voi heiketä. [5.]

## 2.3 Koeteräs

Koeteräs on Ruukin uutta tuotantoa ja lukeutuu booriterästen ryhmään. Tuote on koe- ja testausvaiheessa eikä sillä ole virallista nimeä, joten sitä kutsutaan tässä tutkimuksessa booriteräkseksi. Taulukossa 1 on Ruukin antamat tiedot koeteräksestä.

Taulukko 1. Perusaine

<b>Koeteräs <math>R_{p0,2}</math> min 1400 MPa</b>				<b>Sulatusnumero 74583</b>			
<i>Koostumus</i>							
<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P + S</i>	<i>Al</i>	<i>Cr</i>	<i>Ti</i>	<i>B</i>
0,3	0,2	1,2	0,0015	0,04	0,3	0,04	0,0024
<i>Koemateriaalin perus- aineen vetokoetulok- set</i>						<b>CEV</b>	<b>0,56</b>
	<i>R<sub>p0,2</sub></i>	<i>R<sub>m</sub></i>	<i>A5</i>				
<i>Poikittainen koe</i>	1563	1732	7,6				
<i>Pitkittäinen koe</i>	1557	1695	8,7				

### 3 MIG- JA MAG- HITSAUS

Vaikka tutkimuksen kohteena on MAG- ja CMT-hitsausmenetelmät, on selkeämpi MAG-hitsauksen yhteydessä käsitellä myös MIG-hitsausta.

MIG (Metal Inert Gas) ja MAG (Metal Active Gas Welding) kuuluvat pääryhmään kaarihitsaus ja alaryhmään kaasukaarihitsaus.

Seuraavassa on standardin mukainen määrittely kirjaimin ja numeroin.

Numerotunnus ja nimi: (SFS-EN-ISO 4063)

Kirjaintunnus: (SFS-EN-ISO 759): G. [1.]

- Nro 13: Metallikaasukaarihitsaus
- Nro 131: MIG-hitsaus, metallikaasukaarihitsaus inertillä suojakaasulla
- Nro 135: MAG-hitsaus, metallikaasukaarihitsaus aktiivisella suojakaasulla

Käytettyjä nimityksiä kaasukaarihitsauksesta on useita ja ne usein sekoitetaan keskenään. Yleisnimenä arkikielessä on MIG ja MAG. Lyhenteet muodostuvat seuraavista sanoista:

- MIG ( Metal-Arc Inert Gas Welding)
- MAG (Metal-Arc Active Gas Welding)
- GMAW (Gas Metal-Arc Welding)

### 3.1 Historia

MIG/MAG-hitsaus sai alkunsa 1948 Yhdysvalloissa ja sen kehittäjänä oli Air Reduction Company, alun perin hitsausta nimitettiin S.I.G.M.A-hitsaukseksi (Shield Inert Gas Metal Arc). Siinä hyödynnettiin muutamaa vuotta aikaisemmin kehitettyä kaasukaarta eli suojakaasussa palavaa valokaarta. Suojakaasuna toimi aluksi Argon. Alkuvuosina menetelmää kehitettiin vain ei-rautametalleille, lähinnä alumiinin hitsaukseen. Myöhemmin kun suojakaasuun lisättiin happea, sitä voitiin käyttää myös teräksen hitsaukseen. Käyttöä rajoitti suojakaasun korkea hinta, alumiinin kohdalla hinnalla ei ollut merkitystä, koska menetelmä oli ylivoimainen teknillisesti ja laadullisesti puikko- ja kaasuhitsaukseen verrattuna.

Venäläiset Lyubavski ja Novoshilov keksivät 1953 käyttää suojakaasuna helposti saatavaa ja halpaa hiilidioksidia, mikä oli hitsausprosessin kehitykselle merkittävä edistysaskel. Vuosikymmeniä tehtiin voimakasta kehitystyötä myös virtalähteiden, lisäaineiden ja suojakaasun parissa. Seuraavat suuret edistysaskeleet oli lyhytkaarihitsaus ja 1960 pulssikaarihitsaus.

Lisää kehitystä tapahtui MIG/MAG-hitsauksessa 1980 ja 1990 luvuilla. Kehitettiin erilaiset kapearailo- ja suurteho-MIG/MAG-prosessit kuten T.I.M.E, Rapid Arc ja Rapid Meld sekä monilankaprosessit, tandem-MIG/MAG-hitsaus (kaksoislanka-MIG/MAG-hitsaus). [1.]

Vaihtovirta MIG/MAG-hitsaus (ns AC-MIG) ja MIG-kaarijuotto olivat 1990-luvulla kehitettyjä prosesseja. Aivan uusinta kehitystä 2000-luvun alussa edustivat kolmoislanka-MIG/MAG-hitsaus, jossa syötetään saman suuttimen läpi kolmea, samaan virtalähteeseen kytkettyä lankaa ja MIG/MAG-hitsaus litteällä langalla, jossa tavanomainen pyöreä hitsauslanka on korvattu litteällä langalla (n. 0,5x4 mm). Viime vuosina on kehitys ollut edelleen voimakasta ja erilaisia sovelluksia on kehitelty paljon lisää, kuten myöhemmin tutkimuksen kohteena oleva CMT-menetelmä. [1.]

### 3.2 MIG- ja MAG- hitsauksen yleiskuvaus

Kuten aikaisemmin todettiin, MIG ja MAG ovat kaasukaarihitsausprosesseja ja molempiin sopii sama hitsausprosessin kuvaus. Erona on suojakaasu, MIG:ssä inertti ja MAG:ssa aktiivinen suojakaasu. Tekstin selkeyttämiseksi käytetään prosesseista pääsääntöisesti nimitystä MAG-hitsaus.

MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välillä. Sula metalli siirtyy pääsääntöisesti pisaroina sulavasta langasta valokaaren sulattamaan perusaineen sulaan muodostaen näin yhdessä hitsisulan. Langansyöttölaite syöttää hitsauslankaa tasaisella nopeudella hitsauspistoolin kautta hitsauskohteeseen. Hitsausvirta tulee virtalähteestä monitoimijohdossa kulkevaa virtajohdinta myöten hitsauspistoolin päässä olevaan kosketussuuttimeen, josta se siirtyy hitsauslankaan. Suojakaasu suojaa kaaritilaa ympäröivän ilman vaikutuksilta. Suurimmassa osassa MAG-hitsaussovelluksia on positiivinen napa (+) on kytketty virtasuuttimeen ja negatiivinen (-) napa on kytketty työkappaleeseen.

Valokaari syttyy sillä hetkellä, kun langan pää koskettaa työkappaletta. Kosketushetkellä syntyy oikosulku, jolloin tehokas oikosulkuvirta sulattaa ja höyrystää hitsauslangan pään ja valokaari syntyy. Hitsausaineen sulaan siirtymiseen vaikuttaa monenlaisia voimia, joista tärkein on sähkömagneettinen pinch-voima, jonka vaikutuksesta pisara siirtyy hitsiin. MIG- ja MAG-hitsauksessa siis prosessien nimet määräytyvät suojakaasun perusteella ja suojakaasu määräytyy pääasiassa hitsattavan materiaalin mukaan. Prosessien nimet määräytyvät eurooppalaisten hitsausstandardien mukaan. Pääjako on, että terästen hitsaus on, myös ruostumattomat teräkset mukaan lukien, MAG-hitsausta eli hitsausta aktiivisella suojakaasulla ja MIG-hitsausta inertillä suojakaasulla.

Prosesseista käytetään usein yleisnimitystä MIG-hitsaus, joka on nykyisen terminologian mukaan kuitenkin virheellinen metallikaasukaarihitsauksella. Kun suojakaasuna käytetään hiilidioksidia, voi MAG-hitsauksesta käyttää nimitystä CO<sub>2</sub> –hitsaus. Aikaisemmin on ollut käytössä myös virheellinen nimitys kaasukaarihitsaus, joka on yleisnimitys MIG-, MAG-, TIG- ja plasma-hitsaukselle.

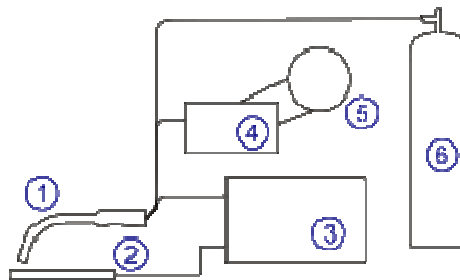
MIG- ja MAG-hitsaus on yleensä osittain mekanisoitua hitsausta eli hitsaajan käsin tehtyä hitsausta. Hitsauslanka syötetään koneellisesti hitsauspistooliin, mutta hitsauspistoolin kuljetus ja hitsausliike tehdään edelleen useimmiten käsin. Hitsaus on kuitenkin helppo automatisoida, mekanisoida tai suorittaa hitsausrobotilla. [1.]

### 3.3 Hitsauslaitteisto

MAG-hitsauslaitteistoja tai kansanomaisemmin hitsauskoneita on kokoonpanoltaan ja rakenteeltaan useita erilaisia.

Esimerkkinä voi mainita konepajateollisuuden suuret yksiköt joissa langansyöttölaite on usein erillinen yksikkö koneen päällä tai sivulla ja jotka ovat kooltaan sekä teholtan suuria verrattuna pieniin kompakteihin kotikäyttöön tarkoitettuihin laitteisiin, samoin vaikkapa hitsausautoon sijoitettavat, helposti siirrettävät mutta tehokkaat keveät koneet.

Kaikki MAG/MIG-hitsauslaitteistot muodostuvat seuraavista pääosista: hitsausvirtalähde, langansyöttölaite, säätöyksikkö, suojakaasumittaristo ja laitteisto, monitoimijohdin ja hitsauspistooli kosketussuuttimineen. ( Kuva 1.)



**Kuva 1. Kaaviokuva MIG-MAG- laitteistosta.** 1 Hitsauspistooli ja monitoimijohdin. 2. Maadoituskaapeli. 3. Virtalähde 4. Säätöyksikkö 5. Langansyöttölaite 6. Kaasupullo .

#### 3.3.1 Hitsausvirtalähde

MIG/MAG- hitsauksessa käytetään virtalähteenä nykyisin miltei yksinomaan invertteriä ja tasasuuntaajaa. Virtalähteet ovat vakiojännitelähteitä, joilla on lievästi laskeva ominaiskäyrä. Jännitteen alalukema on nykyisin maksimissaan 2 - 5 V/100 A. Näin saadaan aikaan itsesäätävä valokaari, joka pysyy

vakiopituisena hitsauksen aikana, vaikka hitsauspistoolin ja työkappaleen etäisyys muuttuu. Jännite säädetään yleensä laitteen etupaneelissa sijaitsevalla karkeasäätö- ja hienosäätökytkimellä, jolla valitaan virtalähteelle sopiva ominaiskäyrä.

Tyristori- ja transistoriohjatuissa laitteissa säätö on portaaton ja nykyisin uusimmissa laitteistoissa jännitesäätö on sijoitettu langansyöttölaitteen käyttöpaneeliin. Virtalähteessä on lyhytkaarihitsauksen rajoittamiseksi kuristin eli induktanssi, joka estää tai rajoittaa huippua ja kasvunopeutta oikosulkuvaiheessa, jos tätä ei tehtäisi pisarat ”räiskisivät” irtoamisvaiheessa ja seurauksena olisi paljon roiskeita. Käytännössä induktanssin säätö tapahtui aikaisemmin hitsauskaapelin paikan vaihdolla virtalähteissä joissa on yleensä useita ulostuloja. Nykyaikaisissa virtalähteissä säätö tapahtuu laitteessa olevasta säätönupista tai synergisissä koneissa automaattisesti. Suuri induktanssi pidentää kaarivaihetta, tällöin oikosulkujen määrä pienenee ja hitsaus tulee kuumemmaksi, vastaavasti pieni induktanssi lyhentää kaarivaihetta ja hitsaus kylmenee. Virtalähteestä tarvittava teho riippuu hitsattavasta materiaalista ja aineenvahvuudesta. Tehontarve ja langanhalkaisija voidaan arvioida taulukon 2 mukaan. Kuvassa 2 on tutkimuksessa käytetty MAG-hitsauskone.

**Taulukko 2. Virtalähteen valinta teräksen hitsauksessa. [1.]**

Aineenpaksuus (mm)	Langanhalkaisija (mm)	Hitsausvirta max (A)
0,7 – 4,7	0,8	200
2,0 – 7,0	1,0	150 - 300
3,0 – 15,0	1,0 ja 1,2	350
10,0 – 20,0	1,2 ja 1,4	400 - 500

Raskaaseen teollisuuskäyttöön tarkoitettujen virtalähteiden kuormitusai-  
kasuhde on yleensä 60 %. Kyseinen luku ilmoittaa kuinka monta prosenttia  
10 minuutin jaksosta konetta voidaan kuormittaa maksimiteholla.

Esimerkiksi 500 ampeerin virtalähteen kuormituslukemat voivat olla 500 A/60 % , 450 A/80 % ja 400 A/100 %. Laitevalmistajat ovat yleensä maininneet kone- ja virtalähdetunnuksissa tehon 60 %:n kuormitusaikasuhteella. [1.]

### 3.3.2 Säättäminen

Säättäminen tapahtuu säätö- tai käyttöpaneelista, jossa sijaitsevat tarvittavat langansyöttö- ja virtasäätimet. Nykyisin on yhdistetty samaan kokonaisuuteen langansyöttölaiteisto sekä langansäätö- ja hitsausvirransäätöyksiköt. MAG-hitsauksessa säädetään yleensä kahta hitsausarvoa eli langansyöttönopeutta/virtaa ja virtalähteen jännitettä. Lisäksi usein joudutaan säätämään induktassia.

Lähtökohtaisesti, kun lisätään langansyöttönopeutta/virtaa, on myös nostettava kaarijännitettä, että hyvät hitsausominaisuudet säilyisivät. Hitsausvirtaa säädetään muuttamalla laitteen langansyöttönopeutta. Säättö voidaan tehdä kahdella tavalla. Suoritetaan synerginen säätö eli yksinuppisäätö, jolloin jännite ja hitsausvirta/langansyöttönopeus muuttuvat kumpikin samanaikaisesti oikeassa suhteessa toisiinsa, tai säädetään langansyöttönopeus/hitsausvirta ja jännite kumpikin erikseen omasta säätönupista, tätä kutsutaan kaksinuppisäädöksi.



Kuva 2. Kokeessa käytetty Froniuxen MAG-hitsauskone

### 3.3.3 Langansyöttölaite ja monitoimijohdin

Langansyöttölaitteen tehtävänä on nimensä mukaisesti syöttää lankaa lankajohtimen kautta hitsauspistooliin ja edelleen hitsattavaan kappaleeseen. Langansyöttölaitteen toimivuus on tärkeää koko hitsauksen onnistumiselle. Langansyötön toiminta kytkeytyy päälle hitsauspistoolin liipaisinta painamalla. Hitsaustapahtuma alkaa, kun kyseinen informaatio käynnistää langansyöttölaitteen moottorin ja avaa kaasuvirtausta säätelevän magneettiventtiilin. Langansyöttölaitteisto saa käyttöpaneelista käskynsä ja tarvittavat asetustiedot, kuten langansyöttönopeuden.

Hitsauksen aikana automatiikka eli ohjainosa huolehtii moottorin nopeussäädöistä annettujen arvojen perusteella. On huomattava että myös hitsauksen aikana voi langansyöttönopeutta ja hitsausvirran suuruutta muuttaa.

Langansyöttölaitteita on pääasiassa kahta tyyppiä, vetävä ja työntävä. Näistä työntävä on yleisin. Siinä laite toimii seuraavasti. Yleensä kaksi vastakkaisista rissaa, joiden väliseen uraan puristetaan lanka säädettävällä voimalla, vetää lankaa kelalta ja syöttää monitoimikaapelissa sijaitsevaan lankajohtimeen. Langansyöttölaite sijaitsee useimmiten välittömästi lankakelan jälkeen, mikä on tärkeää toimivuuden kannalta. Työntävä laite vaatii puhtaamman lankajohtimen, langanpinnasta yleensä irtoaa kuparihilsettä, kupari on lankaan lisätty sähköjohtavuuden parantamiseksi. Johtimen etuna on keveys, mutta toisaalta se vaatii enemmän huoltoa.

Vetävä ratkaisu on yleensä toteutettu niin, että vetolaite sijaitsee hitsauspistoolin kahvaosassa. Ratkaisun etuna on tasainen langansyöttö hitsauskohteeseen, koska syöttölaitteen ja kohteen etäisyys on pieni. Haittana on kahvaosan suurempi paino ja koosta johtuva kömpelö käsiteltävyys.

Monitoimijohdin muodostaa johtimien, kaapelien ja kaasuletkun kanssa kompaktin paketin, joka on yhtenäinen kokonaisuus langansyöttölaitteen ja hitsauspistoolin kanssa. Sen kautta johdetaan hitsauslanka, suojakaasu, hitsausvirta, ohjausvirta ja mahdollinen jäähdytysneste hitsauspistooliin. Monitoimijohdimesta sijaitsee lankajohdin, jota myöten hitsauslanka kulkee langansyöttölaitteesta hitsauspistooliin. Lankajohtimien päätyypit ovat terässpiraali johdin, muovilankajohdin ja teflonjohdin. Lankajohtimen sisähalkaisija ei saisi olla suhteessa hitsauslangan halkaisijaan liian pieni tai suuri häiriöttömän langankulun varmistamiseksi. Liian suuri halkaisija voi aiheuttaa langan



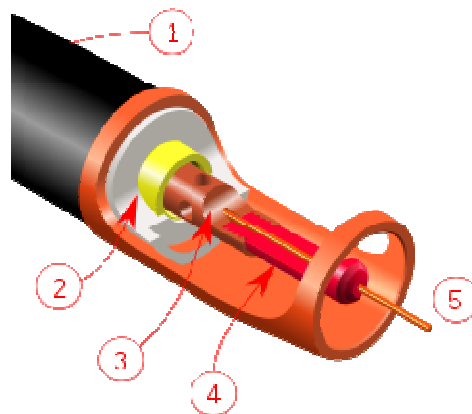
aaltoilua johtimessa ja sen seurauksena langan kulku suuttimesta ulos voi olla epätasaista, mikä puolestaan aiheuttaa hitsaukseen epätasaisuutta. Hitsauslangan johtimelle voi yleiskertoimena pitää 1,5x langanhalkaisija (mm), käytännössä ei jokaiselle langalle vaihdeta omaa johdinta, jos erot ovat pieniä. Esimerkiksi 1,0 mm ja 1,2 mm langoille voi hyvin käyttää yleisjohtimena 1,8 mm lankajohdinta. Lankajohtimen kokonaispituus ei saisi ylittää viittä metriä, häiriöalttius lisääntyy langansyötössä. Vakiopituudet johtimilla ovatkin 3 - 4,5 metriä. Poikkeuksen tähän muodostaa se, jos hitsauspaikka on kauempana, vaikka telakoilla ja asennustyömailla, silloin käytetään langansyötössä välisyöttölaitetta, jolla voidaan kasvattaa hitsausetäisyyttä 20 metrillä. Lankajohtimen täytyy muutenkin olla pituudeltaan sopiva, liian lyhyt aiheuttaa syöttöhäiriöitä, koska johdin ei mene sille tarkoitettuun koloon kosketussuuttimessa, ja liian pitkä menee helposti mutkille monitoimijohtimen sisällä eikä kohdistu oikein kosketussuuttimeen ja aiheuttaa näin häiriöitä. Hyvä ja häiriötön langansyöttö varmistetaan säännöllisellä huoltotoimilla, kovassa käytössä huollon tulee tapahtua päivittäin, vähintään kuitenkin kerran viikossa tai lankakelan vaihdon yhteydessä.



**Kuva 3. Hitsauspistooli kiinnitettynä robottiin.**

### 3.3.4 Hitsauspistooli

Standardi SFS 3040 määrittelee hitsauspistoolin käsihitsauksessa käytettäväksi laitteeksi, jossa on yhdistettynä elektrodipidin tai ohjain hitsausvirran johtamiseksi hitsauslankaan ja suojakaasun johtamiseksi kaareen ja hitsauskohtaan. (Kuva 3.)MAG-hitsauksessa hitsauspistooli on laite, jonka kautta syötetään hitsauslanka ja suojakaasu hitsauskohteeseen. MAG-hitsauksessa on osittain mekanisoituja, mekanisoituja ja automatisoituja hitsauspistooleja. Osittain mekanisoidussa hitsauksessa, jossa hitsaaja suorittaa hitsauksen, on tarvittava liipaisintoiminto ja joissakin malleissa myös virran- ja langansyöttösäädöt. Mekanisoiduissa hitsauspistooli on kytketty kuljettimeen ja päälle kytkettäessä hitsaustapahtuma ja kuljettimen liikkeelleläh- tö tapahtuu samanaikaisesti. Menetelmää käyttää paljon hitsaava telakka- ja konepajateollisuus. Automatisoitu on usein liitetty robottitekniikkaan, joka huolehtii kokonaisvaltaisesti hitsattavan kappaleen liikkeistä, kuljetuksesta ja hitsauksesta annettujen parametrien mukaan. Hitsauspistoolimalleja on käyt- tötarkoituksen mukaan runsas mallisto erilaisia. Virtamääriltään max 200 A, max 500 A, suorita, erilaisia kääntyviä malleja sekä vesi- ja kaasujäähdyttei- siä pistooleja. Edelleen on vetäviä, vetomoottori kahvassa, sähkö-, paineil- ma- ja imutoimisia hitsauspistooleja.Kosketussuuttimia on suuri valikoima erilaisia hitsausarvoista ja materiaalista riippuen, kuten myös kaasun virtaus- ta ohjaavia virtaussuuttimia, ne vaietaan aina hitsauslaitteen ja hitsattavan kohteen mukaan. Kuvassa 4 poikkileikkaus hitsauspolttimesta.



**Kuva 4. MIG/MAG- hitsauspolttimen leikkauskuva.** 1. Polttimen kaula 2. Eriste (valkoinen osa) ja kierreholkki (keltainen) 3. Kaasun virtausaukot 4. Kosketussuutin 5. Kaasuholkki tai virtaussuutin joka ohjaa kaasun virtausta kohteeseen.

### 3.3.5 Suojakaasulaitteisto

Suojakaasu johdetaan hitsauskohteeseen kaasupullosta tai konepajojen hitaamoissa suojakaasuverkosta. Suojakaasupulloissa paine on 200 baaria, verkostoissa noin 6 baaria. Hitsauskoneessa suojakaasu virtaa venttiin, virtaussäätimen, kaasuletkun, magneettiventtiin ja monitoimijohtimen kaasuletkun kautta hitsauspistooliin ja edelleen hitsattavaan kohteeseen. Kaasun virtausta säädetään ja tarkkaillaan yleensä pullon yhteyteen liitetyllä mittaristolla ja siinä sijaitsevalla virtaussäätimellä. Yleensä virtausmäärät ilmoitetaan muodossa litraa minuutissa (l/min). Magneettiventtiili säättää virtauksen alkamisen ja loppumisen, ohjaus tapahtuu painamalla ja päästämällä pistoolikahvassa olevaa liipaisinkytkintä. Todellinen kaasun virtausmäärä on hyvä tarkistaa ajoittain siihen tarkoitukseen kehitetyllä laitteella, tarkastusrotamerillä. Mittaus suoritetaan suuttimen päästä ja se kertoo todellisen virtaaman yleensä litraa minuutissa, l/min.

### 3.4 Lisäaineet ja suojakaasut

Lisäaineet ovat MAG-hitsauksessa ohuita, keskimäärin halkaisija 0,6 - 1,2 mm, langat ovat kelalla ja yleisesti puhutaankin MIG- ja MAG- hitsauslangoista. Langat ovat seostamattomia tai niukkaseosteisia ja pinnaltaan kuparoituja sähkönjohtavuuden parantamiseksi. Lankavalikoima on erittäin laaja ja valinta tapahtuu hitsattavan perusaineen mukaa. Lankaan ei ole lisätty hitsausta suojaavia lisäaineita, sen tehtävän hoitaa suojakaasu. Suojakaasun tärkein tehtävä on suojata hitsisulaa ja kaaritilaa lähinnä typen ja hapen haittavaikutuksilta. Suojakaasu vaikuttaa myös muihin asioihin kuten hitsin lujuuteen ja sitkeyteen, roiskeisiin, kaarityyppiin, valokaaren vakauteen, hitsiaineen kemialliseen koostumukseen, tunkeutumaan, palon muotoon ja hitsisulan juoksevuuteen. Standardi luokittelee suojakaasut näiden kemiallisten ominaisuuksien ja reagoitavan perusteella seuraaviin ryhmiin:

- inertit eli argon ja helium
- hapettavat eli hiilidioksidi ja happi
- pelkistävä eli vety
- reagoimaton eli typpi

Inertti kaasu on kaasu, joka ei reagoi hitsisulan kanssa kemiallisesti. Hapettavat tai pelkistävät reagoivat sulan kanssa. Vaikka typpi kuuluu reagoimattomien ryhmään, sillä on korkeimmissa lämpötiloissa selvä tyypettävä vaikutus. Se ei ole aktiivinen kaasu normaalilämpötiloissa n. 20 asteessa, se ei myöskään ole puhtaasti inertti kaasu. [1.]

### 3.5 Edut ja haitat

Aina kun suunnitellaan kappaleiden liittämistä hitsaamalla yhteen MAG-menetelmällä, joudutaan puntaroimaan hitsausmenetelmien etuja sekä haittoja. Seuraavassa joitakin valinnassa huomioitavia kohtia.

Edut:

- Helppo automatisoida ja mekanisoida
- Jatkuva lisäaineen tuotto ei puikonvaihtoja
- Ei kuonaa, kuonasulkeumien vaara vähäinen
- Hyvä luotettavuus ja tuottavuus
- Edullinen lisäaine
- Laaja hitsausarvojen säätömahdollisuus
- Pieni teho: lyhytkaari, ohutlevy- ja asentohitsaus
- Suuri teho: kuumakaari, tehokas jalkoasennossa
- Hitsattavissa kaikissa asennoissa
- Tuottavuus esim 1,2 mm langalla noin 2 –7 kg/h
- Tunkeutuma säädettävissä virran avulla

Haitat:

- Arka vedolle ja tuulelle
- Ulottuvaisuus rajoitetumpi kuin esimerkiksi puikkohitsauksessa
- Kallis laitteisto
- Hitsauslaitteisto vaatii paljon huoltoa ja kunnossapitoa
- Monimutkaisuuden tähden vaikeampi liikuteltava kuin muut
- Hitsauslaitteistossa enemmän häiriöitä kuin em. puikkolaitteistossa
- Hitsausarvojen säätö hankalampi, monimutkaisempaa.
- Lisäainevalikoima suppea. [1.]

### 3.6 Käyttökohteet

MIG- ja MAG- hitsaus on yleisimmin käytetty hitsausmenetelmä nykyisin, se on monipuolisuudellaan ohittanut perinteiset kaasu- ja puikkohitsausmenetelmät. Sitä käytetään kaikkialla hitsaavassa teollisuudessa, kuten maa- ja metsätalouskoneita, kuljetusvälineitä, laivoja, nostokoneita, putkistoja ja painestioita valmistavassa teollisuudessa. Se on tyypillinen myös ohutlevyteollisuudessa, erilaisissa rautarakennehitsauksissa esimerkiksi pienteollisuudessa ja maatiloilla. Entistä useammin se on myös kotitalouksissa harrastehitsauskoneena.

## 4 CMT- HITSAUS

Cold Metal Transferin eli CMT:n voisi suomentaa metallin kylmäsiirtymäksi. Joissakin yhteyksissä menetelmää kutsutaan kylmäkaariprosessiksi. Hitsauslaittevalmistaja Fronius kehitti menetelmän vuonna 2004. Hitsausprosessi kuuluu eri lähteiden mukaan omaan ryhmäänsä tai lyhytkaarihitsausprosessien joukkoon, joilla pyritään matalimpaan lämmöntuotiin. Tässä tutkimuksessa sen katsotaan kuuluvan lähtökohtaisesti lyhytkaarihitsaukseen. Muita samantyyppisiä matalaan lämmöntuotiin kehitettyjä on Cold Process (CP), Cold Arc, Surface Tension Transfer (STT) , FastROOT ja Regulated Metal Desposition (RMD). Alunperin kaikki mainitut menetelmät ovat kehitystyön tuloksia MIG- ja MAG- hitsauksesta.

Monilla teollisuuden aloilla, kuten autoteollisuus, oli tarvetta hitsausmenetelmään, jossa olisi matala lämmöntuonti ja mahdollisimman roiskeeton hitsaustulos, kun kohteena olivat ohuet ja lämmölle herkät materiaalit. Ensimmäiset sovellukset ja valtaosa laitteista edelleen ovat automatisoituja, näin saavutetaan suuri tarkkuus ja täsmälliset tarkat liikkeet hitsauskappaleeseen nähden.

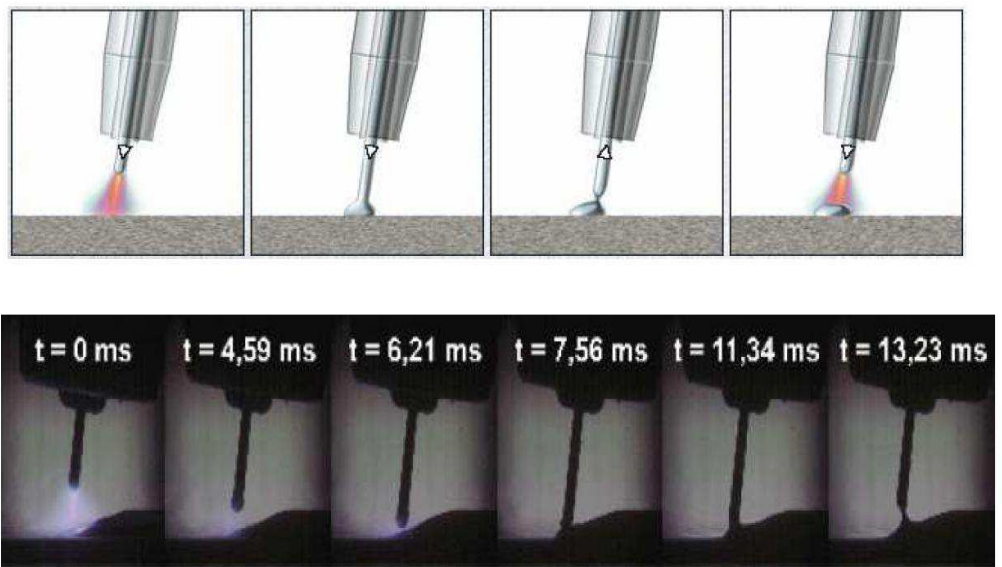
Ensimmäisenä CMT- menetelmän otti käyttöön VW-konserni 2006, Bentley Continentalin ja VW Phaetonin kokoonpanolinjalla C-pilarin hitsauksessa, jossa eri paksuisia metalleja liitettiin yhteen ja saavutettiin pienempiä muodonmuutoksia pienentyneen lämmöntuonnin johdosta. Koehitsaukset ovat osittaneet että hitsattaessa alumiinia CMT tuotti vähemmän ongelmia oksidikerroksen suhteen, eikä hitsiin syntynyt huokosia ja kaari syttyi varmemmin kuin vertailukohteena olleessa MIG-menetelmässä. [4.]

## CMT-prosessi

CMT katsotaan lyhytkaarimenetelmäksi vaikka siinä aineensiirtymä tapahtuu eri tavalla MAG-hitsaukseen verrattuna. MAG-hitsauksessa langansyöttö ja aineensiirtymä on jatkuvaa, lankaa syötetään koko ajan eteenpäin ja kun oikosulku syntyy langan ja työkappaleen välille, pisara irtoaa langasta ja kaari syttyy uudelleen valokaari, kun puolestaan CMT:ssä tapahtuma poikkeaa seuraavasti.

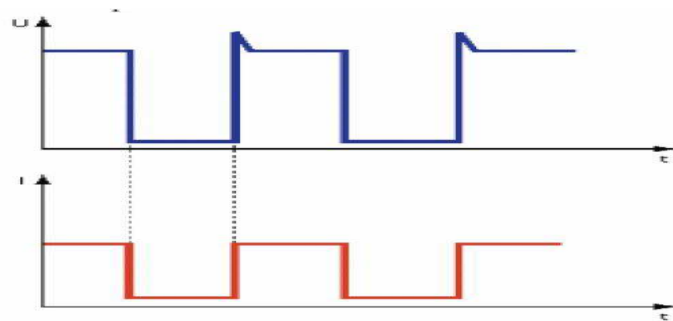
Kun CMT-hitsauksessa lisäainelanka osuu hitsattavaan kappaleeseen ja aiheuttaa oikosulun, langan syöttösuunta muuttuu, eli CMT-menetelmässä on langansyöttö yhdistetty reaaliaikaiseen hitsausprosessiin. Kuvassa 5 hit-saustapahtuma havainnollistettu on kahdella eri tavalla.

Lankaa syötetään kohti sulaa kunnes syntyy oikosulku, silloin langan kul-kusuuntaa muutetaan, virta katkaistaan ja lankaa vedetään pois päin hitsistä. Kun sulapisara irtoaa langan päästä, langan kulkusuunta muuttuu ja valo-kaari syttyy uudelleen kohti hitsiä ja prosessi alkaa uudelleen. On huomioita-va, ettei langan liikettä ole ohjelmoitu etukäteen, vaan kaikki tapahtuu reaali-aikaisesti hitsausprosessissa syntyvien oikosulkujen mukaan. Edellisestä johtuen ei ole voitu muuta kuin määritellä keskiarvo langan pulssitukselle, jo-ka on käytännössä noin 70 Hz. [4.]



**Kuva 5. CMT hitsauksen toimintaperiaate ja valokaaren eri vaiheet.** Yläkuvassa nuolet osoittavat langan kulkusuunnan. Ensimmäinen ruutu hitsaus tapahtuu, oikosulku syntyy ja hitsausvirta sammuu, langan suunta muuttuu vetäväksi, pisara irtoaa, kaari syttyy uudestaan ja hitsaussuunta muuttuu taas työntäväksi. [3.]

Prosessin toimintaperiaatteen huomioiden voidaan hitsiaineen siirtymän katsoa käytännössä olevan lähes virratonta, pisara irtoaa kun lankaa vedetään taaksepäin, eikä pisaran irtoamiseen tarvita korkean virran synnyttämiä voimia. Tästä johtuen voidaan hitsaustapahtumassa pitää virrat erittäin matalina ja lämmöntuonti on vähintäänkin 20 – 30 % alhaisempaa kuin MAG-hitsauksessa. Kuvassa 6 nähdään CMT- prosessin jännite- ja virtakuvaaja ajan suhteen. Kuvaajasta voi nähdä, ettei oikosulun aikana synny äkillistä virtapiikkiä. [4.]

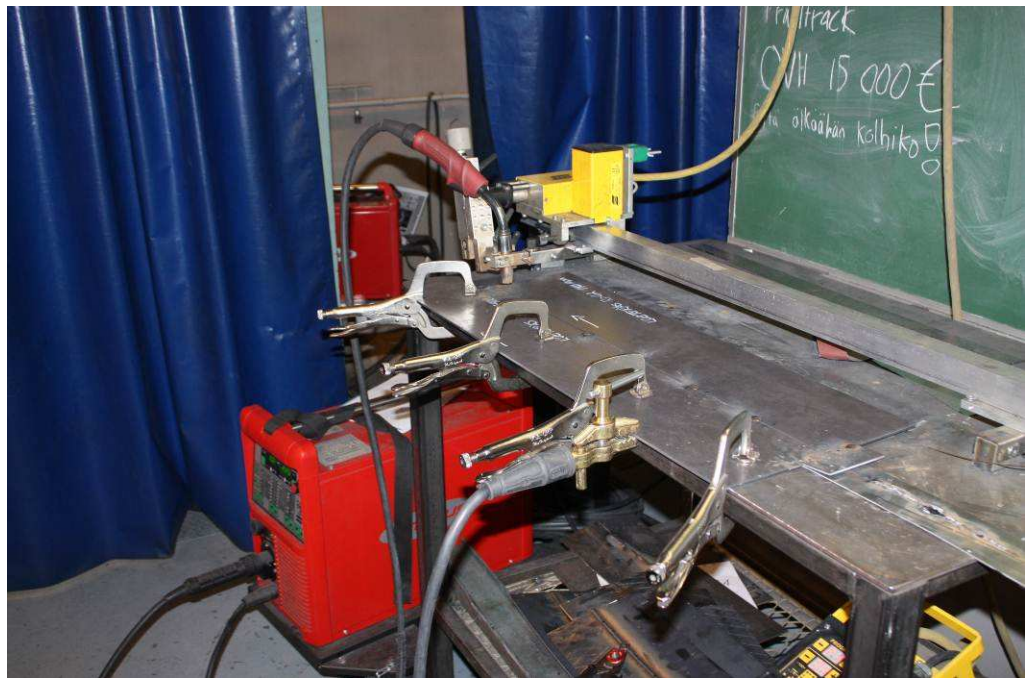


Kuva 6. CMT- prosessin virta ja jännitekuvaajat, sininen kuvaa jännitettä ja punainen virtaa. [4.]

## 5 KOEVALMISTELUT JA HITS AUS

Koehitsaukset suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun hitsauslaboratoriossa Froniuksen hitsauskoneilla. Hitsauspistooli kiinnitettiin Esabin valmistamaan Railtrac-lineaarikuljettimeen, jolla taattiin suora ja tasainen hitsausjälki. Lineaarikuljetinta ohjattiin kaukosäätimellä, josta pystyi määrittämään kuljettimen nopeuden. Koekappaleet silloitettiin neljästä kohtaa tasaisin välimatkoin. Kappaleen päihin hitsattiin pienet apupalat estämään magneettista puhallusta kappaleen alku- sekä loppupäässä. Hitsauksessa käytettiin molemmilla menetelmillä pulssikaarta. Hitsauslaite osasi määrittää tarvittavan virran ja jännitteen määrän kappaleen materiaalin ja paksuuden mukaan. Suutinetäisyys pyrittiin pitämään samana läpi hitsauksen. Suurin muutostekijä oli ilmaraon suuruus, jota säätämällä pystyimme vaikuttamaan hitsin läpäisykykyyn. Kuljetinnopeus pidettiin kaikissa hitsauksissa vakiona. CMT-hitsauksessa sopivat parametrit löydettiin nopeasti, eikä suurempia ongelmia ilmennyt.

MAG:lla hitsatessa jouduttiin tekemään useita toistoja, jotta saavutettiin riittävän hyvä hitsin läpäisy. Erityisesti I-railo tuotti ongelmia oikean ilmaraon hakemisessa. Osassa kappaleista ilmeni hitsin laadun huononeminen loppupäätä lähestyttäessä, mikä johtui todennäköisesti kappaleen lämpenemisestä. CMT:llä hitsattaessa tätä ongelmaa ei ilmennyt, mikä selittynee CMT:n huomattavasti pienemmällä lämmöntuonnilla. Hitsauskoepöytäkirjat liitteinä 7 ja 8. Kuvassa 7 koekappale valmiina hitsaukseen.



**Kuva 7. Koekappale valmiina hitsattavaksi**

CMT:llä hitsattaessa käytettiin seoskaasuna Mison 18-kaasua, jossa on 18 % hiilidioksiidia ja loput argonia. MAG:lla hitsattaessa käytettiin Mison 25-seoskaasua. Seoskaasun valintakin on voinut vaikuttaa hitsijälkeen CMT:lle edullisemmaksi. Taulukoissa 3 ja 4 on esitettyä hitsausparametrit. CMT:n korkea virta-arvo kuvaa sen maksimi-arvoa, koska keskimääräisesti CMT:llä hitsattaessa virta on pienempi kuin MAG:lla hitsattaessa.



**Taulukko 3. CMT-hitsauksessa käytetyt arvot**

	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Hitsausmenetelmä	CMT	CMT	CMT	CMT
Lisäaine	Esab	Esab	Union X96	Union X96
Railo	I	V	V	I
Kaasu	Mison 18	Mison 18	Mison 18	Mison 18
Ilmarako mm	1	0	1	1
Kuljetinnopeus cm/min	35	35	35	35
Suutinetäisyys mm	10	10	10	10
Suutinkulma [aste °]	10°	10°	10°	10°
Jännite V	13,2	13,2	13,2	13,2
Virta A	207	207	207	207
Langansyöttönopeus m/min	6,7	6,7	6,7	6,7

**Taulukko 4. MAG-hitsauksessa käytetyt arvot**

	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>K</i>	<i>L</i>
Hitsausmenetelmä	MAG	MAG	MAG	MAG
Lisäaine	Esab	Esab	Union X96	Union X96
Railo	V	I	V	I
Kaasu	Mison 25	Mison 25	Mison 25	Mison 25
Ilmarako mm	1	1,5	1,1	1,7
Kuljetinnopeus cm/min	35	35	35	35
Suutinetäisyys mm	10	10	10	10
Suutinkulma [aste°]	10°	10°	10°	10°
Jännite V	22,2	22,2	23,4	23,4
Virta A	107	107	112	112
Langansyöttönopeus m/min	6,7	6,7	6,7	6,7

### 5.1 Laskennalliset arvot

Laskennallinen lämmöntuonti  $Q$  saadaan kaavasta (1). Sillä tarkoitetaan kaarihitsauksen yhteydessä käytettyä energiaa, joka ilmoitetaan yleensä hitsin pituusyksikköä kohden.

Siinä hitsausenergia  $E$  kerrotaan hitsausmenetelmän termisellä hyötysuhteella  $\eta$ , kaava (2). Laskennallinen jäähtymisaika  $t_{8/5}$  tarkoittaa aikaa, joka kuluu lämmön laskemiseen 800:sta celsius-asteesta 500:aan celsius-asteeseen. Se lasketaan kaksidimensionaalisessa tasossa. Kaikki kolme MAG-hitsille tarkoitettua laskukaavaa sisältyvät standardiin SFS-EN 1011-2. Taulukossa 5 on käytetyt arvot ja taulukossa 6 tulokset.

$$E = \frac{U * I * 60}{v * 1000} \quad (1)$$

$$Q = \frac{U * I * 60}{v * 1000} * \eta \quad (2)$$

*2-dimensionaalinen jäähtyminen*

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3 * T_0) * 10^5 * \frac{Q^2}{d^2} * \left[ \left( \frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left( \frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right] * F_2 \quad (3)$$

$U =$  kaarijännite [V]

$I =$  hitsausvirta [A]

$v =$  hitsausnopeus [mm/min]

$T_0 =$  työlämpötila [C°]

$d =$  materiaalin paksuus [mm]

$\eta =$  hitsausmenetelmän terminen hyötysuhde (MAG-hitsaus)

$F_2 =$  liitosmuotokerroin (päittäisliitos)

**Taulukko 5. Käytetyt arvot**

$U$ [V]	22,2
$I$ [A]	107
$T_0$ [C°]	23
$d$ [mm]	3
$v$ [mm/min]	350
$F_2$	0,9
$\eta$	0,85

**Taulukko 6. Tulokset**

$E$ [kJ]	0,41
$Q$ [kJ]	0,35
$t(2-dimen)$ [s]	13,8

## 5.2 Koekappaleet

Koekappaleita tehtiin kaikkiaan 8 kpl, näin pyrittiin saamaan laajempi ja vertailukelpoisempi otanta yhdistelemällä railo- lanka- ja hitsaumenetelmiä. Kokeessa käytettiin kahta hitsausmenetelmää, MAG- hitsausta pulssikaarella ja CMT-menetelmää myös pulssikaarella. Railomuotoina käytettiin V- ja I-railoa. Hitsaus tapahtui kahdella erilaisella langalla Union X96 ja ESAB 12.51.

Koekappaleiden koon määrittää standardi SFS-EN ISO 116-1, joka määrittää yksittäisen levyn koon olevan leveydeltään vähintään 150 mm ja pituudeltaan 350 mm. Koekappaleiden valmistuksessa ja irrotuksessa noudatettiin standardia SFS-EN ISO 15614-1 + A1, joka myös määrittää koesauvojen sijainnin. Sama standardi määrää myös, että ennen koesauvojen irroitus- ta on tehtävä ainetta rikkomattomat kokeet (NMT) hyväksytysti jolloin koesauvat voidaan irrottaa alueelta, jossa ei esiinny NDT- hyväksymisrajojen sisällä olevia virheitä. Koekappaleiden irrottamiseen täytyi valita sopivat menetelmät, ettei lämmöntuonti koekappaleiden irrotuksen yhteydessä muuta materiaalin ominaisuuksia.

Kokeessa pyrittiin noudattamaan hitsauksissa menetelmästandardia mahdollisimman tarkasti. CMT- hitsausta ei ole luokiteltu erikseen omaksi menetelmäksi, joten sen osalta noudatettiin MAG- hitsauksen normistoa. Koekappaleet tulivat valmiiksi leikattuina levyinä toimittajalta, 3x150x700 mm. Koska materiaali oli uutta, jouduttiin etsimään ja testaamaan hitsausparametrejä, ja etsimään optimaalista suutinkulmaa ja suuttimen etäisyyttä railosta, ilmaraon suuruutta, sekä materiaalin lämpökäyttäytymistä ja silloituksen sijoittelua.



Kuva 8. Koekappale on H. Hitsattu MAG-menetelmällä, I-railo ja Esabin 12.51 lisäaine.

### 5.3 Koekappaleiden merkintä

Koekappaleet nimettiin aakkosin suurin kirjaimin B, C etc. Seuraava pieni kirjain, a tai l, kertoo onko koepala alku- vai loppupäästä. CMT- menetelmällä hitsattavat kappaleet merkittiin kirjaimilla B, C, D ja E, MAG- menetelmällä G, H, K ja L. Esimerkiksi merkintä DI ilmaisee, että kohta sijaitsee D-kappaleen loppupäässä, merkintä on tärkeä siinä tilanteessa kun on useita testattavia ja pitää kohdentaa, mistä mikin kappale on. Seuraavaksi luettelo josta ilmenee hitsausmenetelmä, railomuoto ja hitsauslanka. Edellä mainitut pieni a tai l lisätään koekappaleisiin vasta testikappaleiden irrottamisen yhteydessä. Kuvassa 8 ilmenevät merkkien lyhenteet.

- **B**, CMT- hitsaus, I -railo ja ESAB 12.51
- **C**, CMT- hitsaus, V -railo , ESAB 12.51
- **D**, CMT- hitsaus, V-railo , Union X 96
- **E**, CMT- hitsaus, I -railo , Union X 96
- **G**, MAG- hitsaus, V -railo , ESAB 12.51
- **H**, MAG- hitsaus, I -railo, ESAB 12.51
- **K**, MAG- hitsau, V -railo, Union X 96
- **L**, MAG- hitsaus I -railo, Union X 96

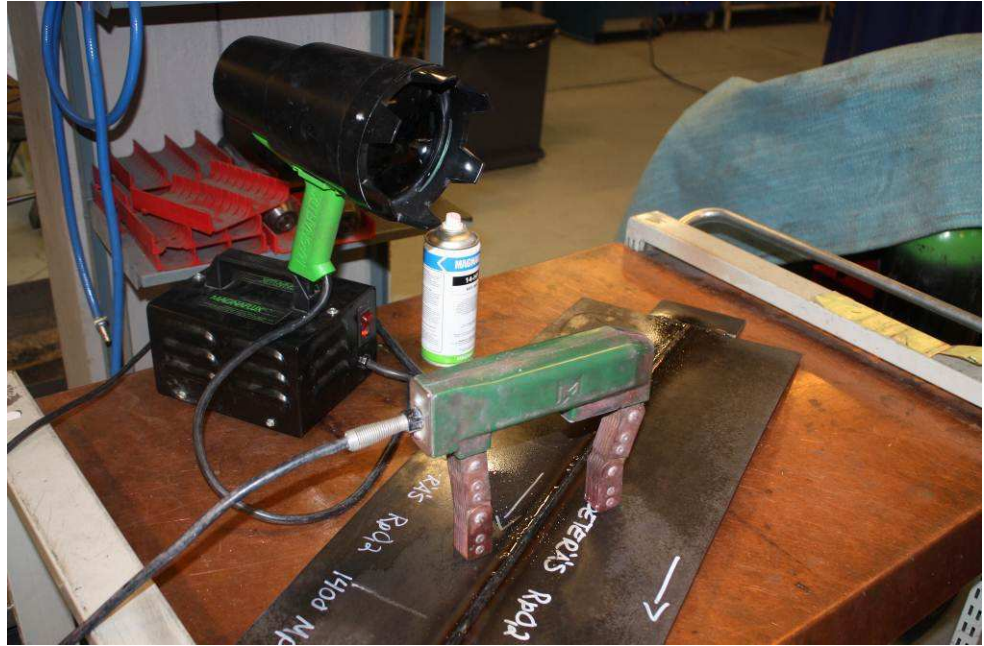
## 6 TARKASTUMENETELMÄT JA STANDARDIT

Hitsatuille koekappaleille suoritettiin standardienmukaisia tutkimuksia, SFS-käsikirjan 116-1 ja 116-2 mukaan. Selvittiin, onko koekappale säilyttänyt standardin asettamat vaatimukset. Mikäli lujuuden, kestävyuden tai muiden ominaisuuksien suhteen on tapahtunut muutoksia niin millaisia ja kuinka suuria. Koska tutkimuksen tarkoitus ei ole vain rajata tutkittavia hitsauskappaleita hyväksytyihin ja hylättyihin, pyrittiin tutkimaan miten vertailussa tulee esiin hitsausmenetelmän, railomuodon ja hitsauslisäaineen vaikutus. Ensin suoritetaan ainetta rikkomattomat tarkastukset, joihin lukeutuvat suoritettujen silmämääräinen tarkastus, tunkeumanestetarkastus ja magneettijauhetaarkastus.

### 6.1 Rikkomaton aineenkoestus NDT

#### 6.1.1 *Silmämääräinen tarkastus*

Standardi SFS-EN 970 määrittelee sulahitsausliitoksen silmämääräisen eli visuaalisen tarkastuksen kuuluvan ainetta rikkomattomiin tarkastusmenetelmiin. Silmämääräinen tarkastus on ensimmäinen tutkimus, joka kappaleelle tehdään. Tutkimuksessa paljastuvat heti mahdolliset näkyvät virheet kuten palon tai palkojen virheet, pintapalon korkeus ja muoto, sen liittyminen perusaineeseen, mahdolliset liitosvirheet, läpihitsautuminen, mahdolliset juurivirheet ja paljon muuta. Menetelmällä säästetään paljon aikaa ja turhia kuluja. Apuvälineinä tutkimuksessa käytetään suurennuslasia, erityyppisiä mittoja sekä erilaisia muotoa mittaavia apuvälineitä. (Kuva 9.)



**Kuva 9. Välineet ja koekappale valmiina magneetti- ja tunkeumanestetarkastukseen.**

### 6.1.2 *Magneettijauhetarkastus*

Standardi SFS-EN 1290, joka määrittää hitsien magneettijauhetarkastuksen, kuuluu myös ainetta rikkomattomiin tarkastusmenetelmiin. Tarkastus sopii ferromagneettisille hitseille niiden muutosvyöhykkeissä ilmenevien pintavirheiden havaitsemiseksi. Suositeltavat tekniikat ja liitosmuodot sopivat useimmille hitsausprosesseille ja liitosmuodoille. Tutkimuksessa levitetään tutkittavalle alueelle tarkastus ainetta, joka voi olla kuiva tai nestemäinen. Tutkimus suoritetaan käyttämällä vaihtovirralla toimivaa magnetointilaitetta, kuten sähkömagneettista iestä, kohtiolla varustettua virtamagnetointilaitetta tai apujohtimella tai kelalla varustettua virtamagnetointilaitetta. Käytettävien laitteiden on täytettävä asianmukaiset eurooppalaiset standardit. [2.]

### 6.1.3 *Tunkeumanestetarkastus*

Standardi SFS-EN 1289 on myös hitsiä rikkomaton menetelmä. Tarkastusmenetelmä määrittää hyväksymisrajat metallisten materiaalien hitseissä esiintyvälle pintaan saakka avoimille hitsausvirheiden näyttämille, kun hitsejä tarkastetaan tunkeumanestetarkastuksella. Tarkastettavaan alueeseen kuu-

luu hitsi ja 10 mm hitsin molemmin puolin. Tarkastusmenetelmää on tarkoitus käyttää valmistuksen yhteydessä, jotta virheet havaitaan aikaisessa vaiheessa, mutta se sopii myös määräraikaistarkastuksiin. Virhe määritellään standardiehdotuksissa prEn 1330 -1 , prEN 1330 -2 ja prEN 1330 –3 annettujen määritelmien perusteella. [2.]

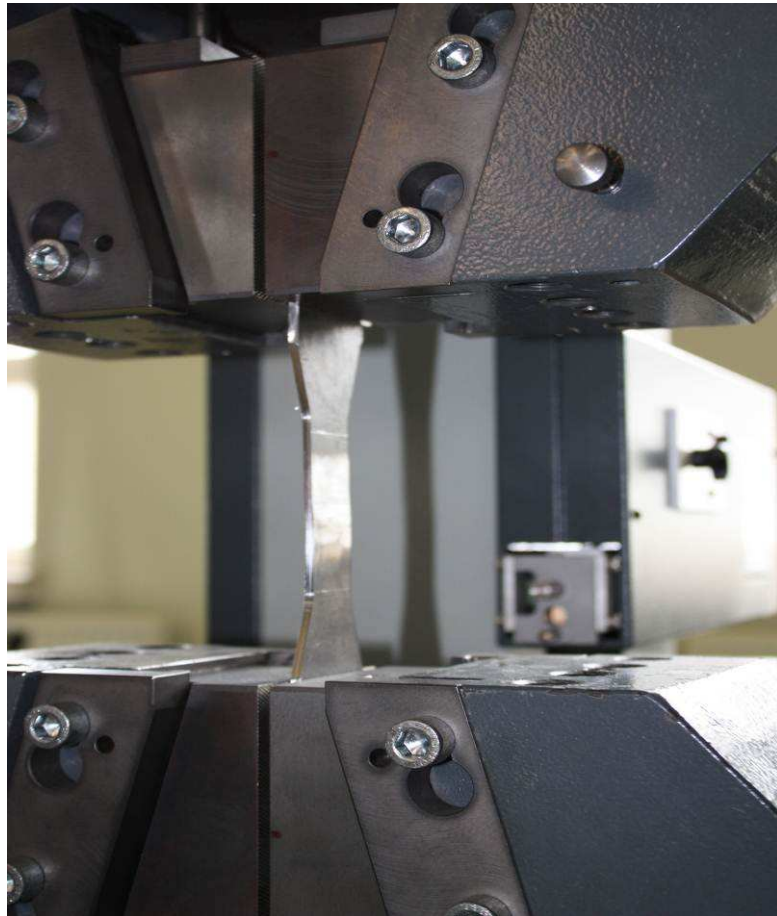
## 6.2 Rikkova aineenkoestus

Rikkova aineenkoetus on tarkastus- ja koetusmenetelmä, jonka suoritusta standardit määrittelevät. Se on sananmukaisesti rikkova aineenkoestus, jolla tutkitaan materiaalin tutkimusta erilaisin menetelmin ja joista valitaan aina kyseiseen tarkoitukseen sopivin tai sopivimmat menetelmät. Menetelmiä ovat iskukoe, pitkittäinen ja poikittainen vetokoe, taivutuskokeet, kovuuskokeet, murtokoe sekä hitsien makro- ja mikrohietutkimus , lisäksi on yksittäisiä vähemmän käytettyjä erityiskokeita. Tässä tutkimuksessa tehtiin poikittainen vetokoe, taivutuskoe, kovuuskokeet, mikro- ja makrohietutkimukset. [3.]

### 6.2.1 Poikittainen vetokoe

Poikittaisen vetokokeen määrittää standardi SFS-EN 895. Vetokokeen tarkoituksena on saada tietoa aineen staattisesta lujuudesta ja tuloksena saadaan tavallisesti aineen myötö- ja murtoraja, sekä murtovenymä. Hitsatuista kappaleista irrotetaan kaksi koekappaletta, eli koesauvaa, joko pitkittäin tai poikittain hitsaussaumaan nähden kulloinkin tutkimustarpeen mukaan.

Koesauvaa irrotettaessa on kiinnitettävä huomio irrotusmenetelmiin, koska koekappaleen ominaisuudet eivät saa muuttua esimerkiksi lämmön tuonnin takia. Koekappale tai tarkemmin ilmaistuna vetosauvan kulmat on pyöristettävä standardin ohjeen mukaisesti. Koesauva kiinnitetään vetokoneen leukoihin ja sitä kuormitetaan tasaisesti jatkuvasti kasvavalla kuormalla kunnes se murtuu. Aluksi se materiaalista riippuen venyy kimmoisasti myötörajaan saakka, myötörajaan asti tapahtunut venymä palautuu, metalli myötää. Kun myötöraja saavutetaan, on sen jälkeinen muodonmuutos pysyvää eikä palaudu takaisin täysin takaisin alkuperäiseen muotoon ja mitataan kuormituksen poistuttua. Voiman jatkaessa kasvua kääntyy kuvaajan käyrä lähelle vaakatasoa ja saavuttaa maksimiarvon, murtorajan  $R_m$ . Tässä tapahtuu myös kurouma eli koekappale kaventuu ja venyy kunnes katkeaa. [3.] Kuvassa 10 vetokoe alkamassa.



**Kuva 10. Vetokokeen koekappale kiinnitettynä leukoihin.**

### 6.2.2 Taivutuskoe

Standardi SFS-EN 910 määrittää taivutuskokeen. Taivutuskokeella tutkitaan hitsin, hitsiaineen ja muutosvyöhykkeen mahdollisia, hitsauksesta tai materiaaleista johtuvia hitsaus- ja materiaalivirheitä, mikrosäröjä ja muita mahdollisia virheitä, joita ei muilla tarkastusmenetelmin saada esiin. Taivutuskokeen voi suorittaa juuri-, pinta- tai sivutaivutuksena. Samoin kuin edellisessä koesauvat irrotetaan minimoimalla lämmöntuonti, yleisin irrotusmenetelmä on sahaaminen. Koesauvoista poistetaan juuri- ja pintapalkojen kuvat, eli aine on tasavahvuista testausilanteessa. Kappaleen lopullinen muoto saavutetaan hiomalla, ja silloin on huomioitava myös hiomasuunta, ettei tule poikittaisia naarmuja, jotka voisivat vaikuttaa taivutustulokseen. Työskentely vaatii tarkkuutta, koska poistettaessa hitsikupuja on varottava, ettei hiota tai muuten vahingoiteta tai poisteta perusainetta, joka vaikuttaisi koetulokseen.



Käytetyin taivutusmenetelmä on kolmipistetaivutus, kuva 11, jossa koesauva asetetaan kahden samansuuntaisen pyöreän tukitelan päälle ja liikkuva yläpainin tai ylätela liikkuu tasaisella nopeudella alaspäin kohti testattavaa kappaletta ja painaa taivuttaen koekappaleen alatelojen väliin. Kappaletta tarkkaillaan virheiden huomioimiseksi. Taivutus jatkuu kunnes standardin määräämä taivutuskulma on saavutettu tai kappale murtuu, jolloin kirjataan ylös murtumakulma. [3.]



**Kuva 11. Kolmipistetaivutus**

### 6.2.3 Kovuusmittaus

Standardi on SFS EN 1043-1, hitsien rikkova aineenkoetus metalleille ja osa 1: Kaarihitsausliitosten kovuuskoe. Kovuuskoe tehdään hitsistä irrotettujen kappaleiden poikkileikkauspinnolle, tavallisesti poikittain hitsausliitokseen nähden. Standardi kattaa standardin ISO 6507-1 mukaiset Vickers-kovuuskokeet, jotka suoritetaan tavallisesti 49 N tai 98 N (HV 5 tai HV 10) koekuormilla. Kuvassa 12 kovuusmittauksessa käytetty testilaite Indentec.



**Kuva 12. Kovuusmittauslaitteisto Indentec.**

Kyseisellä voimalla, joko HV 5 tai HV 10 painaa timanttipyramidi testattavan kappaleen pintaan kartiomaisen jäljen, jonka sivujen pituuden suhde kertoo painuman syvyyden. Mittaus tapahtuu mikroskoopilla. Koesauvat valmistettiin standardin ISO 6507-1 mukaisesti. Mittausteiden tulee siten kattaa koko hitsausalue perusaineesta perusaineeseen läpi eri vyöhykkeiden, että suurin ja pienin kovuus saataisi selville. Mittauksissa kiinnitetään erityisesti huomiota eri rajapintoihin, liittymäkohtiin kuten sularajalla jossa perusaine ja hitsiaine seostuvat, samoin eri lämpövyöhykkeillä. Mittausarvot kirjataan ylös ja mahdollisesti taulukoidaan. Testauksesta laaditaan lopuksi testausseleste standardin ohjeen mukaisesti. [3.]

#### 6.2.4 Makro- ja mikrohietutkimus

Standardissa SFS-EN 1321, hitsien rikkova aineenkoetus metalleille eli hitsien makro- ja mikrohietutkimus, määritellään makrohietutkimus syövytetyn tai syövyttämättömän koesauvan tutkiminen silmämääräisesti tai vähäistä suurennosta käyttäen. Makrohietutkimus on syövytetyn tai syövyttämättömän koesauvan tutkimista mikroskoopilla, jonka suurennus on tavallisesti 50....100 -kertainen. Kyseisiä makro- tai mikrohietutkimuksia käytetään hitsausliitosten makroskooppisten ja mikroskooppisten ominaisuuksien selvittämiseen. Se tehdään tavallisesti poikkileikkauspinoille. Yleensä tehdään hietutkimukset ja edellisessä kappaleessa mainittu kovuusmittaus samassa

koekappaleessa. Makro- ja mikrohietutkimisen tarkoitus on arvioida erilaisia ominaisuuksia, joita standardin SFS-EN 1321 taulukossa kuvataan. Samoin tutkitaan hitsausvirheitä standardin EN 26520 mukaan, esimerkiksi kuuma- ja kylmähalkeamat, ontelot, lamellirepeily ja sulkeumat. Koekappaletta valmistessa on huomioitava tarkkaan menetelmät, joilla koepala irrotetaan, ettei tuoda liikaa lämpöä kohteeseen ja aiheuteta tutkittavassa kappaleessa muutoksia. Kuvassa 13 hiontayksikkö ja hiomanesteannostelija. [3.]



Kuva 13. Vasemmalla hiontayksikkö ja oikealla hiontaneesteet.

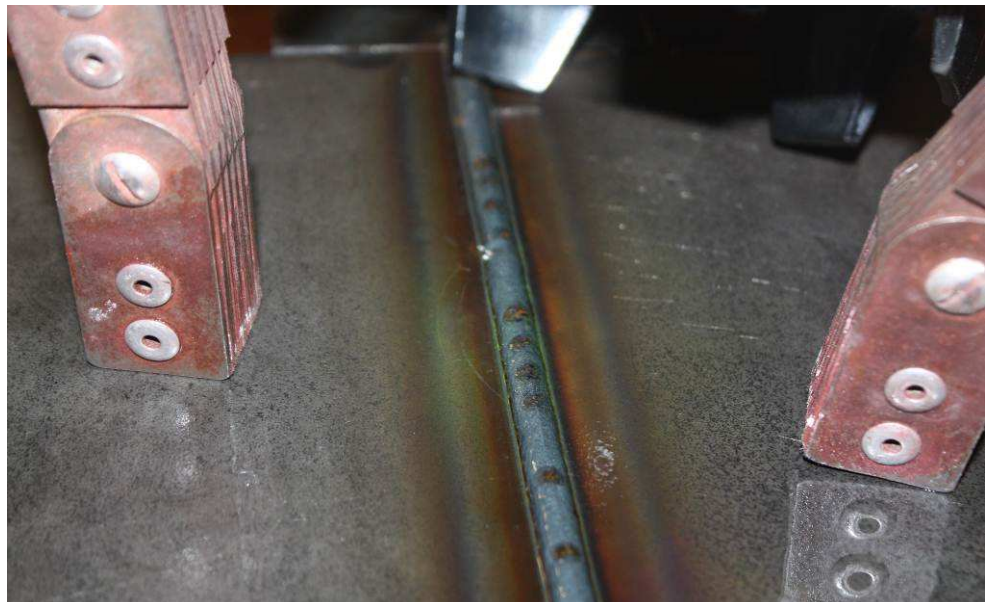
## 7 TUTKIMUKSET

Seuraavissa kappaleissa kerrotaan tarkemmin tutkimusmenetelmistä ja tarkastetaan saatuja tutkimustuloksia. Veto- ja taivutuskokeiden tuloksia käsitellään vain hiukan, koska niistä on tekeillä oma tutkimus Hämäläinen, Kalle 2010.

### 7.1 NDT- Tutkimus

NDT-tarkastusmenetelmiin eli ainetta rikkomattomiin tarkastusmenetelmiin lukeutuvat aikaisemmin käsitellyt tarkastukset, silmämääräinen, magneettijauhe- ja tunkeumanestetarkastus. Hitsatut koekappaleet tarkasteltiin silmämääräisen tutkimisen standardia SFS-EN 970 soveltaen. Tarkastuksessa

kiinnitettiin huomiota hitsaustuloksen tasalaatuisuuteen, että voimme käyttää samoja, tai lähes samoja hitsausarvoja molemmilla menetelmillä ja saada näin vertailukelpoisia tuloksia tutkimusta kokonaisuutena ajatellen. Tarkastuksessa jouduttiin hylkäämään useita koekappaleita lähinnä vajaan juuren tähden, ei ollut tapahtunut läpihitsautumista. Tilanne parani kun säädettiin suuttimen etäisyyttä ja kuljetusnopeutta muihin hitsausparametreihin sopiviksi. Magneettijauhetutkimus, standardi SFS-EN 1290, antoi viitteitä mahdollisista virheistä, mutta tarkemmat lisätutkimukset eivät tukeneet epäilyjä. Kuvassa 14 tutkimus meneillään. Lisätutkimus suoritettiin tunkeumanesteellä, standardin SFS-EN 1289 mukaisesti. Tutkimuksessa ei paljastunut virheitä. [3.]



**Kuva 14. Hitsaussauman magneettitutkimus**

## **8 POIKITTAINEN VETOKOE**

### **8.1 Vetokokeen tulokset**

Kuten on aikaisemmin mainittu, tehtiin samaan aikaan tämän tutkimuksen kanssa toista tutkimusta, joka keskittyy vain veto- ja taivutuskokeisiin ja niiden tulosten käsittelyyn. Tästä syystä aihetta käsitellään vain suppeasti.

Vetokokeita tehtiin kaikille kahdeksalle koekappaleelle. Koesauvat irrotettiin standardin SFS-EN 895 mukaisesti hitsauksen alku- ja loppupäästä ja ko-

neistettiin standardin määrittelemiin mittoihin. Kaikki koekappaleet mitattiin ja merkittiin viivat 40 mm:n etäisyydelle niin, että hitsaussauma jäi keskelle vetoaluetta. Kokeen jälkeen suoritettiin uusi mittaus, josta laskettiin venymä. Mittaustulokset ovat suuntaa-antavia. Kokeilla selvitettiin myös myötöraja  $R_p$  0.2 ja murtoraja  $R_m$ . Kuvassa 15 tutkimusten tekeminen ja kirjaaminen käynnissä. Liitteissä 1 ja 2 vetokokeen tulokset.



**Kuva 15. Vetosauvojen tutkimus meneillään**

### 8.1.1 Venymän tarkastelu CMT

Taulukoissa 7 on CMT-hitsauksen ja taulukossa 8 MAG-hitsauksen vetokokeen tulokset. Jos ensin tarkastelee venymän pituutta ennen aineen rikkoutumista CMT-menetelmän kohdalta taulukosta 7, saadaan CMT:n kohdalta kaikkien keskiarvoksi 2,45875 mm, jatkossa käytetään likiarvoa sadasosan tarkkuudella eli edellinen on 2,46 mm. Kun vertaa lankojen, Esab 12.51 ja Union X 96 vaikutusta keskenään, on venymä aika tasainen Esab 2,13 mm ja Union 2,82 mm. Railomuotojen vaikutusta vertaillen on ero selkeämpi: I-railo 1,82 mm ja V-railo 3,13 mm. Seuraavaksi samat railomuodot keskenään: I-railot, Esab 1,64 mm ja Union 1,99 mm ja V-railo Esabilla 2,62 mm ja Unionilla 3,64 mm. ( Liite 2.)

Taulukko 7. CMT- menetelmän vetokoetulokset

CMT	Rp 0.2 [N/mm <sup>2</sup> ]	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	Fm [N]	Menetelmä	Lanka	Railo	Venymä [mm]
Ba	833,07	835,37	60146,87	CMT	Esab	i	1,35
Bl	1001,82	1004,77	72343,3	CMT	Esab	i	1,92
Ca	754,15	787,73	56716,91	CMT	Esab	v	2,74
Cl	790,98	799,54	57567,17	CMT	Esab	v	2,5
Da	987,66	1006,97	72501,69	CMT	Union	v	3,84
DI	879,31	881,86	63494,23	CMT	Union	v	3,43
Ea	1051,61	1067,54	76862,79	CMT	Union	i	1,93
EI	1052,21	1056,21	76047,45	CMT	Union	i	2,06

### 8.1.2 CMT-menetelmä kokonaisvoima Fm (N)

Kun tarkastellaan vetoihin käytettyä voimaa, Fm (N), ottamalla kahden koekappaleen, alku- ja loppupään, vetoon käytetyn voiman keskiarvon, voidaan vertailla hitsausmenetelmän, railytyypin ja hitsauslangan vaikutuksia kokeisiin. CMT-menetelmällä hitsatuista kappaleista saatiin seuraavanlaisia tuloksia. Koekappaleiden Ba ja Bl, käytetään nimitystä B, keskiarvo on 66,25 kN, lanka Esab 12.51 ja I-railo. Kappale C 57,14 kN, Esab ja V-railo. Kappale D 68 kN, lanka Union X 96 ja V- railo. Kappale E 76,5 kN lanka Union ja I-railo.

### 8.1.3 Venymän tarkastelu MAG

MAG-hitsausmenetelmällä vastaava vertailu, taulukosta 8. MAG- hitsauksen venymien keskiarvo on 1,97625 mm, eli jälleen likiarvo sadasosien tarkkuudella 1,98 mm. Lankavertailu Esab 12.51, venymien keskiarvo 2,57 mm ja Union X 96 1,38 mm. Railojen keskeiset vertailut ovat lähellä toisiaan I-railo MAG-menetelmällä 1,99 mm ja V-railo 1,97 mm. I-railojen vertailussa Esabin venymä on 2,86 mm ja Unionin 1,11 mm. V-railojen kohdalla Esab 2,28 mm ja Union 1,66 mm. Union X 96 langalla hitsatuista koekappaleista Kl ja Ll alemman myötörajan arvoa, N/mm<sup>2</sup> ei saatu lainkaan. Kappaleen Kl loppulukema, Rm [N/mm<sup>2</sup> ] 1139,89 N, on linjassa muiden tulosten kanssa. Vastaava loppuarvo koekappaleen Ll osalta, Rm 709,36 N, kertoo hitsausvirheestä. (Liite 1.)

Taulukko 8. MAG-menetelmän vetokoetulokset

MAG	Rp 0.2 [N/mm <sup>2</sup> ]	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	Fm [N]	Menetelmä	Lanka	Railo	Venymä [mm]
Ga	895,68	907,37	68052,86	MAG	Esab	v	2,36
GI	773,87	801,82	60136,18	MAG	Esab	v	2,2
Ha	826,56	839,82	62986,83	MAG	Esab	i	3,43
HI	720,1	741,87	55640,28	MAG	Esab	i	2,29
Ka	1117,62	1117,66	83824,48	MAG	Union	v	2,13
KI		1139,89	85491,87	MAG	Union	v	1,18
La	1066,32	1070,49	80287,03	MAG	Union	i	1,82
LI		709,36	53201,79	MAG	Union	i	0,4

Tulokset myötörajan ja murtorajan suhteen olivat tutkittavalle suurlujuustekärselle odotettuja, kun kyseessä ovat hitsatut kappaleet, venymät vähäisiä ja myös käytetyt voimat lähellä toisiaan. Vastaavan vetokoe suoritettiin perusaineelle, joka oli mitoiltaan ja muodoltaan muita vetokoekappaleita vastaava. Sen keskiviivan molemmille puolille mitoitettiin 20 mm eli kokonaismita oli sama 40 mm kuin muillakin koekappaleilla. Koekappaleen loppupituus oli 43,4 mm, eli venymä 3,4 mm on selkeästi enemmän kuin muilla hitsatuilla kappaleilla. Päättynyt vetokoe kuva 16.

#### 8.1.4 MAG-hitsaus kokonaisvoima Fm (N)

Vastaava tarkastelu MAG-menetelmälle kuin kappaleessa 7.2.2 CMT:lle antoi tuloksia seuraavasti. Koekappaleen G voimien keskiarvo on 64,1 kN, lanka Esabin 12.51 ja V-railo. Koekappaleen H tarvittu voima 59,31 kN, lanka oli Esab ja V-railo. Kappaleen K 84,66 kN, lanka Union X 96. Kappale L on ongelmallisempi, koska tulokset eroavat paljon toisistaan. La on 80,287 kN ja LI 53,201 kN. Koekappaleessa LI on ilmeisesti ollut hitsausvirhe ja käytetään vain La:n arvoa. Tulokset siis L on 80,29 kN Union lanka ja I-railo.



**Kuva 16. Vetokoe suoritettu loppuun.**

#### 8.1.5 Perusaineen vetokoe

Perusaineen vertaileva vetokoe ilman hitsausaumaa antoi seuraavat tulokset.  $R_p 0.2$  1557,93,  $R_m$  N/mm 1658,87 N ja vetoon tarvittava kokonaisvoima 213,94 kN. Ruikin omassa laboratoriossa suoritettujen perusaineen veto-koetulokset ovat  $R_p 0.2$  osalta 1563 N ja  $R_m$  1732 N. (Katso taulukko 1.) Voimme siis todeta että mittaustulokset ovat vertailukelpoisia.  $F_{max}$  oli koekappaleiden kohdalla 2 - 3 % ja perusaineen keskimäärin 8 %. Liite 3.



## 8.2 Taivutuskoe

Taivutuskokeet määrittelee standardi SFS-EN 910. Standardin mukaiset koesauvat, kaksi kappaletta hitsauksen alku- ja kaksi loppupäästä irroitettiin. Koesauvaa kuormitettiin tasaisesti kasvavalla voimalla kunnes kappale murtui tai saavutettiin taivutuskulma, joka on standardin määrittämä 180 astetta. Kun koekappaleissa havaittiin edellä mainittu murtuma tai muu taivutus virhe, työ lopetettiin ja taivutuskulma mitattiin ja kirjattiin ylös. Kyseisestä kulmasta, joka on taulukossa merkitty beetana se mitattiin astemitalla ja sen perusteella laskettiin alfa kulma. Molemmat kulmat löytyvät taulukosta 9. Taulukossa käytetään seuraavia nimikkeitä: Ok eli kappale kesti kokeen. Murtuma tarkoittaa selkeää virhettä, jossa kappale usein rikkoutui kahteen osaan ja virhe, kun kyseisessä tilanteessa hitsausaumaan tai sen viereen alkoi syntyä näkyvä virhe, murtuman alku. Lisäksi taulukossa 9 on termi *koh-ta*, siinä termi *vieressä* tai *keskellä* ilmoittaa virheen tai murtuman paikan hitsausaumaan nähden.

### 8.2.1 Virheet, murtumat, sijainti ja kirjaaminen

Taulukosta 9 näemme mistä kappaleesta on kysymys. Ensimmäinen sarake, tai kappale, kertoo mistä kappale on irrotettu ja kummasta päästä koekappaletta, alku- vai loppupäästä hitsauksen aloituspisteeseen nähden. Lisäksi maininta pinta tai juuri, kertoo kummalta puolelta on taivutus tehty. Kun kappaleessa on merkintä pinta tarkoittaa se sitä, että painin painaa ja taivuttaa koekappaletta pinnan puolelta. Esimerkiksi Ba pinta tarkoittaa että kyseessä on koekappale B. Kappale on irrotettu alkupäästä a, ja sitä taivutetaan pinnan puolelta.

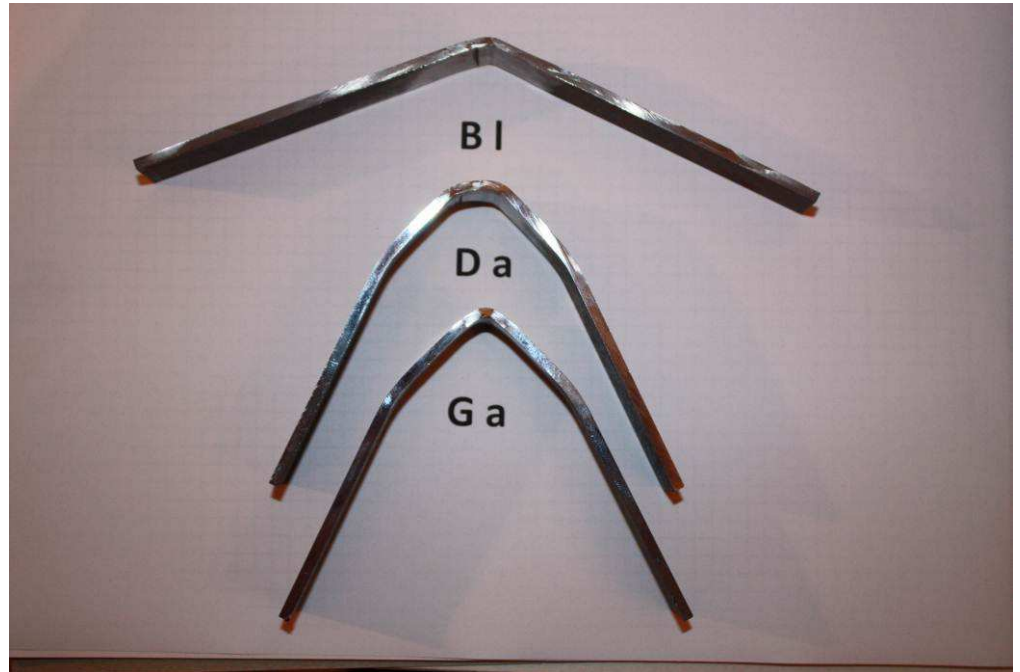
### 8.2.2 Taivutuskoetulokset

Seuraavassa tarkastellaan eri muuttujien vaikutusta taivutuskoetuloksiin. Mitä tuloksia saadaan kun verrataan I- ja V- railoja keskenään, hitsausmenetelmien vaikutusta, CMT ja MAG ja hitsauslangan vaikutuksia kokeisiin, eli vertailussa käytetyt lankatyypit Esab 12.52 ja Union X 96. Luettavuuden helpottamiseksi tulokset ilmoitetaan prosentteina.

CMT-hitsausmenetelmän 16 kappaleesta 7 ei läpäissyt koetta eli 43,75 %.  
MAG-hitsausmenetelmällä 16 kappaleesta 8 ei läpäissyt, eli 50 %.

Lankavertailussa verrattiin Esabin ja Unionin lankoja keskenään ja molemmissa ja löytyi vikoja 50 %.

Railojen vertailussa I-railoista löytyi vikoja 62,5 % ja V-railoista 31,25 %.



**Kuva 16. Koekappale BI on hylätty, Da ja Ga hyväksytyjä.**

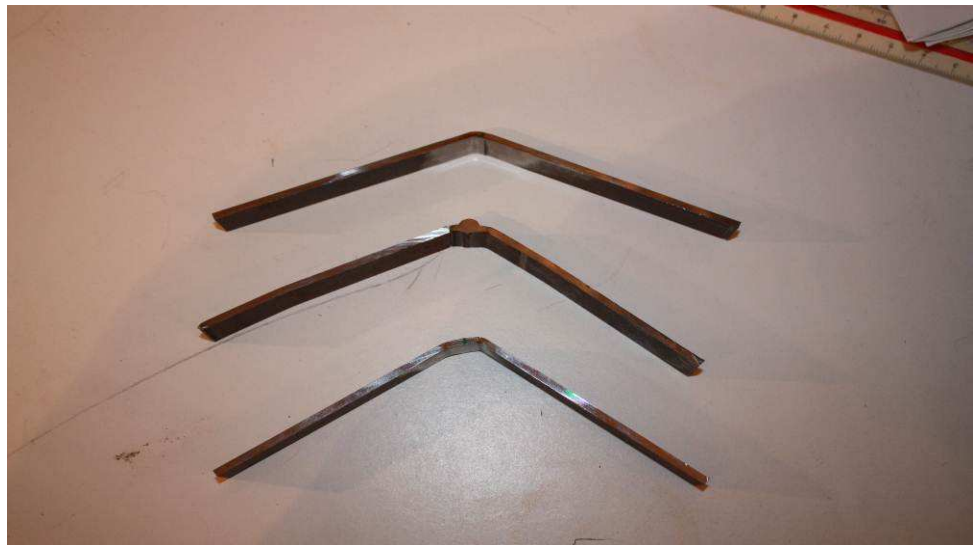
CMT-hitsausmenetelmä, I-railo, vikoja 62,5 %. CMT, V-railo vikoja 25 %.  
MAG-hitsausmenetelmä, I- railo, vikoja 62,5 %.MAG, V-railo vikoja 37,5 %.

Vertaillessa CMT-menetelmää ja Union X 96-lankaa, löytyi I-railoissa vikoja 25 % samoin V-railoista 25 %.CMT ja Unionin lanka virheitä samoin 25 %.  
CMT-hitsausmenetelmä ja Esabin lanka , I-railot vikoja 100 % ja V- railoissa 25 %. CMT ja Esabin langalla I- ja V- railojen viallisten lukumäärä on 62,5 %.

MAG-menetelmän vastaava vertailu Unionin X 96 langalla I-railoissa vikoja 100 % ja V-railoissa vikoja 50 %. Unionin X 96 viallisten yhteisprosentti 75 %.  
MAG-hitsausmenetelmä ja Esabin lanka I- ja V -railo viallisten määrä yhteensä 25 %. Tulokset oli hyvin odotuksenmukaisia. Kuvassa 16 on erilaisia, hyväksytyjä ja hylättyjä taivutuskoekappaleita. Kuvista näkee selkeästi koemateriaalien erilaisen keston, vähän taivutusta kestävä BI, sekä hyväksytyt koekappaleet Da ja Ga.

### 8.2.3 OK ja murtuman sijainti koesauvoissa

Kaikista koekappaleista löytyi virheitä ja murtumia 32 testipalasta yhteensä 15, joka on tutkitusta määrästä 46,88 %. Tarkasteltaessa missä kohtaa hitsattavaa kappaletta virhe tai murtuma sijaitsee hitsausseaman keskikohtaan nähden, saatiin tulokset vierestä 31,25 % ja keskeltä 15,63 %. Murtumien jakautumaa tarkastellessa kiinnittyy huomio I-railojen virheiden suureen määrään. I-railot CMT-menetelmällä ja Esabin langalla ja tulos oli 100 % hylättyjä koekappaleita ja 50 % taivutetuista murtui heti taivutuksen alussa. Samanlaisia tuloksia tuli MAG- hitsauksen I-railolla ja Unionin langalla, 100 % hylätty ja 50 % heti taivutuksen alussa. Kuvassa 17 erilaisia taivutusmurtumia, ylin keskeltä hitsausseamaa, keskimäinen taipunut hitsausseaman molemmin puolin ja alimmainen murtuma muutosvyöhykkeen ja perusaineen rajalta. Kokeessa käytetyn painintelan halkaisija ei ollut standardin mukainen.



Kuva 17. Taivutuskoesauvojen taipumat.

Taulukko 9. Taivutuskokeiden tulokset

Kappale	Ok/ Virhe/Murtuma	Kohta	Menetelmä	Lanka	Railo	Taivutuskulma $\alpha$	Kulma $\beta$
Ba Pinta	Murtuma	Vierestä	CMT	Esab	i	112	68
Ba Juuri	Virhe	Vierestä	CMT	Esab	i	105	75
Bl Pinta	Virhe	Keskellä	CMT	Esab	i	45	135
Bl Juuri	Virhe	Keskellä	CMT	Esab	i	26	154
Ca Pinta	Virhe	Keskellä	CMT	Esab	v	122	58
Ca Juuri	Ok		CMT	Esab	v	124	56
Cl Pinta	Ok		CMT	Esab	v	125	55
Cl Juuri	Ok		CMT	Esab	v	127	53
Da Pinta	Ok		CMT	Union	v	129	51
Da Pinta	Ok		CMT	Union	v	100	80
DI Juuri	Murtuma	Vieressä	CMT	Union	v	96	84
DI Juuri	Ok		CMT	Union	v	124	56
Ea Pinta	Ok		CMT	Union	i	116	64
Ea Juuri	Ok		CMT	Union	i	116	64
El Pinta	Virhe	Vieressä	CMT	Union	i	138	42
El Juuri	Ok		CMT	Union	i	139	41
Ga Pinta	Ok		MAG	Esab	v	128	52
Ga Juuri	Ok		MAG	Esab	v	124	56
GI Pinta	Murtuma	Keskellä	MAG	Esab	v	124	56
GIJ uuri	Ok		MAG	Esab	v	121	59
Ha Pinta	Ok		MAG	Esab	i	121	59
Ha Juuri	Ok		MAG	Esab	i	119	61
HI Pinta	Murtuma	Vieressä	MAG	Esab	i	135	45
HI Juuri	Ok		MAG	Esab	i	131	49
Ka Pinta	Ok		MAG	Union	v	123	57
Ka Juuri	Ok		MAG	Union	v	119	61
KI Pinta	Murtuma	Vieressä	MAG	Union	v	120	60
KI Juuri	Murtuma	Vieressä	MAG	Union	v	86	94
La Pinta	Virhe	Keskellä	MAG	Union	i	117	63
La Juuri	Murtuma	Vieressä	MAG	Union	i	145	35
LI Pinta	Murtuma	Vieressä	MAG	Union	i	83	97
LI Juuri	Murtuma	Vieressä	MAG	Union	i	61	119

### 8.3 Kovuuskokeet

Standardi SFS-EN 1043-1 määrittelee kovuusmittauksen. Kaikista hitsatuista kappaleista valmistettiin standardinmukainen näyte kovuusmittausta sekä makro- ja mikrohietutukimusta varten. Kappaleen koko oli 25 - 30 mm leveä ja irrotettu poikittain hitsiin nähden, korkeus noin 10 mm ja paksuus eli ai-neenvahvuus 3 mm ja hitsaussauma. Kappaleen valmistuksessa täytyi huomioida työtavat ettei kappaleeseen tuotu lämpöä niin paljon, että se olisi vaikuttanut koetuloksiin. Koekappaleet puristettiin korkeassa painessa muovimassan sisään, niin että vain tutkittava pinta jäi näkyviin. Kappaleelle suoritettiin useita eri hiontoja. Ensin pyörivällä alustalla kierroksia 330 r/min, vesihionta, hiontapaperin karkeus 220. Seuraavaksi vesipohjaisella timanttijauheella Largo 9 ja sitten Diapro Dac 3. Pesu vedellä ja kuivaus sekä loppuhuuhtelu alkoholilla ja kuivaus puhaltimella. Tämän jälkeen kappale oli valmis tutkimuksiin. (Kuva 18.) [1.]

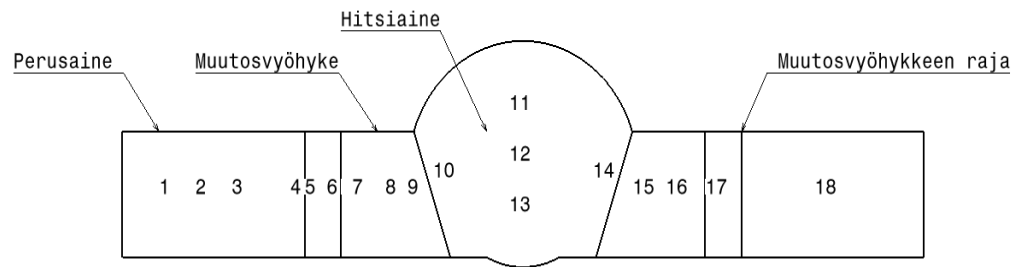


Kuva 18. Kappaleet valmiina tutkimuksiin.

### 8.4 Mittauspisteet

Kovuusmittaus suoritettiin mittauspisterivinä perusaineesta alkaen läpi muutosvyöhykkeiden ja hitsin päätyen perusaineeseen. (Kuva 19.) Menetelmä oli Vickersin HV 5. Kaikkien hitsattavien kappaleiden mittauspisteiden kovuusarvot löytyvät liitteestä Taulukoista 10 ilmenee CMT- ja MAG- hitsaus-ten HV 5 mittauksen keskiarvot, sekä minimi ja maksimi. Mittauksessa tutkitaan hitsausmenetelmien ja lankojen aiheuttamia eroja kovuudessa.

4.



Kuva 19. Kovuusmittauspisteet numeroituina. (Taulukko liite 3.)

### 8.5 Kovuusmittausten tarkastelu

Kovuusmittaustuloksia tarkastellessa tulee huomioida tutkittava teräs, koska se on uusi tuote ja standardi ei määrittele vielä sille kovuuden arvoja. Tästä syystä käytetään lähinnä tutkittavaa tuotetta lähinnä olevaa standardia johon vertaamalla lausutaan seuraavaa. Kovuutta mitatessa olivat hitsausseamasta mitattuna sekä CMT- ja MAG-menetelmillä hitsattuna Union X 96 langan keskiarvot selkeästi kovempia kuin Esabin 12.51. Unionin lanka HV 5 kovuus 335 ja Esabin 205,75. Muutosvyöhykkeillä suurin kovuus tuli MAG-menetelmällä selkeästi esiin molemmilla lankatyypeillä. Suurin arvo HV:llä Unionilla 398 ja Esabilla 373. Vastaavat arvot CMT-menetelmällä oli Esab 306 ja Unionilla 249.

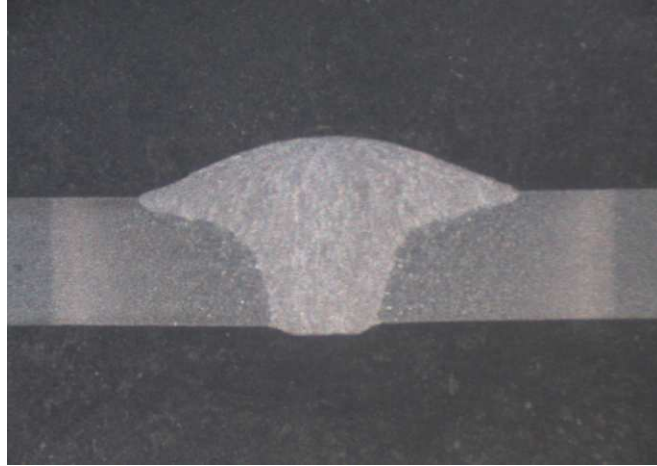
Kovuusmittausten perusteella hitsin kovuus täyttää standardin vaatimuksen, se on pääsääntöisesti alle 380 HV. CMT-menetelmällä kovuudet ovat samat perusaineessa ja muutosvyöhykkeessä, hitsin kohdalla Unionin langalla hitsattu on kovempaa. MAG menetelmällä Union on kovempaa muutosvyöhykkeellä sekä hitsissä.

Taulukko 10. Hitsauslankojen ja vyöhykkeiden kovuusvertailu.

KPL	MUUTOSVYÖHYKE				K-arvo	HITSAINE			Mene- telmä
	Lisäaine	Railo	Min	Max		Min	Max	K-arvo	
B	Esab 12.51	I	215	293	256	189	262	204	CMT
C	Esab 12.51	V	212	319	241	185	221	200	CMT
D	Union X 96	V	211	270	248	311	346	328	CMT
E	Union X 96	I	206	272	250	307	325	311	CMT
G	Esab 12.51	V	246	357	305	203	270	218	MAG
H	Esab 12.51	I	236	390	323	198	207	201	MAG
K	Union X 96	V	266	398	348	338	390	362	MAG
L	Union X 96	I	257	364	325	303	357	339	MAG

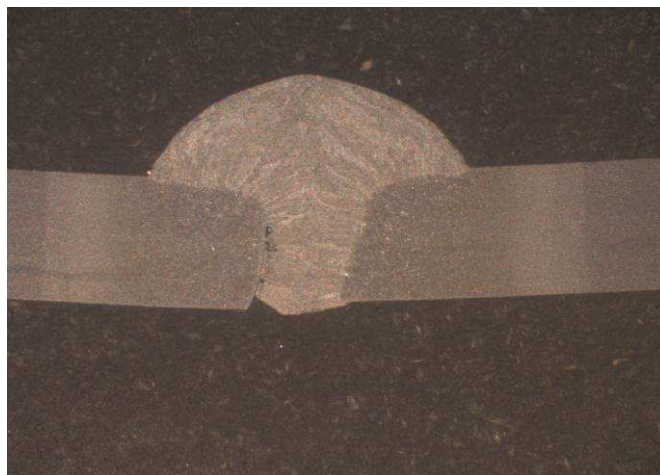
## 8.6 Makrohietutkimus

Standardi SFS-EN 1321 säätelee hitsien makro- ja mikrohietutkimusta. Makrohietutkimus tehdään ennen kovuusmittausta ja esivalmistelu on esitetty kovuusmittauksen yhteydessä. Makrohietutkimuksessa perusaine, HAZ-vyöhyke ja hitsiaine erottuvat selvästi happokäsittelyn ansiosta. ( Kuva 20.)



**Kuva 20. MAG-hitsaus V-railo. HAZ-vyöhykkeet ja hitsi erottuvat selkeästi.**

Makrohietutkimus paljasti hitseissä virheitä jotka eivät johtuneet perus- tai hitsausaineesta vaan esivalmistelun ja hitsauksen aikana tapahtuneista suoritusteknisistä virheistä. Esimerkkinä kuva 21, jossa kappaleet on kohdistettu virheellisesti ja hitsaussuuttimen asento ei ole ollut optimaalinen ja tuloksena on sulamaton särmä ja vajaa juuri.



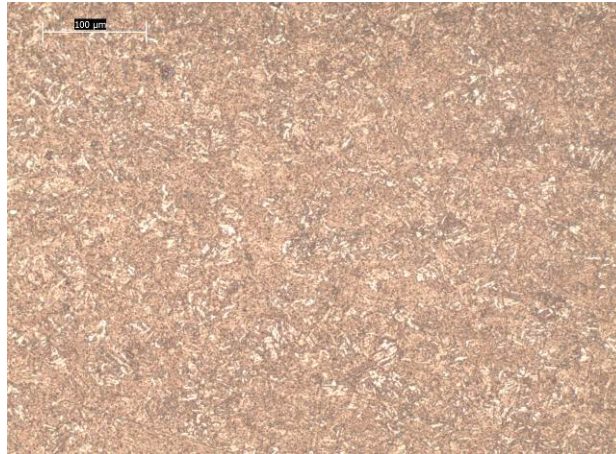
**Kuva 21. Hitsissä näkyvät virheet johtuvat virheellisestä kohdistuksesta.**

Kuten silmämääräinen tarkastelu aikaisemmin paljasti ja myös makrohietutkimus vahvistaa, on muutamien hitsien sekä pinnan että juuren puolella

poikkeamia joita standardi ei hyväksyisi. Liitteessä 6 on lisää makrokuvia. Standardin SFS-EN 26520 mukainen ominaisuuksien tarkastelu tehdään yhteisesti mikrohieosion jälkeen.

### 8.7 Mikrohetutkimus

Mikrohetutkimus suoritettiin samanaikaisesti makrotutkimuksen kanssa. Tutkimuksessa tutkittiin mahdollisia standardin SFS-EN 26520 määrittelemiä hitsausvirheitä. Mikrohetutkimuksessa kappaletta tarkastellaan mikroskooppilla. Kuvassa 22 on perusaine. Kuvassa 23 näkyy muutosvyöhyke ja kuva 24 on hitsiaineesta otettu. Liitetiedostossa on mikrohekuvia koekappaleista B CMT- ja koekappale G, MAG- menetelmillä hitsattuna 20 ja 50x suurennoksina. (Liite 3.)

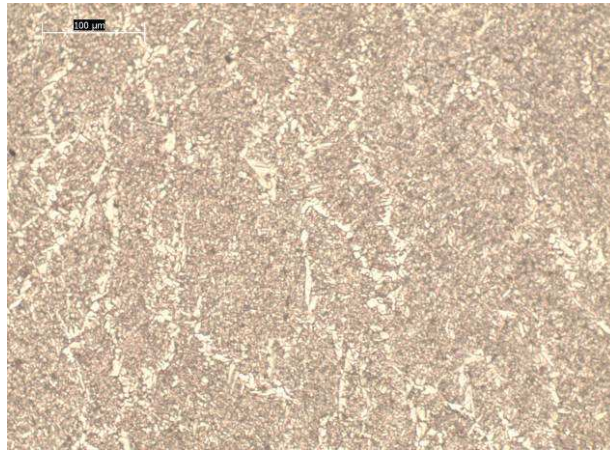


**Kuva 22. Mikrokuva koekappale B:n perusaine. Mittaviiva 100 μm.**



**Kuva 23. Mikrokuva koekappale B:n muutosvyöhyke. Mittaviiva 100 μm.**





Kuva 24. Mikrokuva koekappale B:n hitsiaine. Mittaviiva 100 µm.

### 8.8 Makro- ja mikrotutkimuksen arviointi

Standardin SFS-EN 26520 mukaisia hitsausvirheitä löytyi makrohiekappaleista BI, CI, EI, KI ja LI, sekä liitosvirheitä että muotovirheitä. Lisäksi liian korkea juuri- tai pintapalko oli hitseissä BI, CI, DI ja EI. Poikkeavan näköisiä hitsejä olivat EI pintapalon ja perusaineen liittymän osalta sekä KI ja LI juuren osalta. Kuvissa näyttäisi olevan huokosia mutta kovuusmittaustuloksien perusteella näin ei ollut. Juuren puolella oli virheitä. (Liite 5.)

## 9 YHTEENVETO

Arvioidessa tuloksia täytyy huomioida useita eri asioita, koska tutkimuksessa vertailtiin keskenään kahta railotyyppeä, I- ja V- railoa, kahta hitsausmenetelmää CMT ja MAG sekä kahta hitsauslankaa, Esab 12.51 ja Union X 96. Tarkka vertailu on vaikeaa, koska muuttujia on useita. Edelleen täytyy huomioida, että tutkittava teräs on Ruukin uutta testattavaa tuotantoa, jolla ei ole vielä kaupallista nimeä, kutsuttiinkin sitä tutkimuksessa ”Booriteräkseksi”, koska se lukeutui samantyyppisiin lujiin kulutusteräksiin kuten Raex tai karkeistavat booriteräksiset. Haluttiin saada keskenään vertailukelpoisia tuloksia hitsauksista, joten hitsattiin samoilla hitsausparametreillä, kuljetusnopeudella, kaasun virtausnopeudella, suutinkulmalla ja -etäisyydellä. Myös MAG- ja CMT- menetelmien arvot ovat keskenään vertailukelpoisia. Tarkastellessa makrokuvia asia tulee konkreettisesti esiin, koska yhdet ja samat hitsausparametrit eivät mitenkään sovellu jokaiselle. Makrokuvat on tarkoituksella valittu mahdollisimman erikoisista tai ”mielenkiintoisista” kohdista hitsausta. Koekappaleet veto- ja taivutuskokeisiin valittiin standardin määrittelemistä paikoista, joissa myös hitsausauma oli virheetön.

## 10 LOPPUPÄÄTELMÄ

Kuten edellä on mainittu yhteisten hitsausarvojen käyttö oli oikea ratkaisu, kun ajattelee kokeiden vertailukelpoisuutta. Käytännön olosuhteissa tulee etsiä kaikille railoille ja langoille omat sopivat säädöt. Hitsattavien kappaleiden esivalmistelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota hitsattavien kappaleiden kohdistamiseen, makrokuvissa esimerkiksi kuvassa 21 huomaa kohdistuksen tärkeyden. Samoin hitsauspistoolin asentoon ja siten myös langan kohdistumiseen raiioon nähden on samasta syystä kiinnitettävä erityistä huomiota. Samasta kuvasta voi huomata, että juuri on osittain jäänyt sulamatta mahdollisesti väärästä kohdistamisesta johtuen. Sama asia tuli esiin, kun etsittiin koetilanteessa oikeaa suutinkulmaa ja asentoa. Juurituen käyttö parantaisi hitsattavuutta ja nopeuttaisi prosessia, ennen kaikkea lopputulos paranisi.

Kovuusmittausten perusteella hitsin kovuus täyttää standardin vaatimuksen, se on pääsääntöisesti alle 380 HV. CMT-menetelmällä kovuudet ovat samat perusaineessa ja muutosvyöhykkeessä, hitsin kohdalla Unionin langalla hitsattu on kovempaa. MAG-menetelmällä Union on kovempaa muutosvyöhykkeellä sekä hitsissä. Koekappaleiden arvioinnissa etsittiin parasta keskiarvoa ja käyttökelpoisinta ja toimivinta yhdistelmää.

Hitsaamattoman koeteräksen vetolujuus on selkeästi korkeampi. Ero myötö- ja murtorajoissa ei ole suuri, noin 100 N, mutta erottuva. Tulos selviää liitteenä olevasta vetokokeesta, liite 3, jossa testattiin pelkkää perusainetta. Rp 0.2 N/mm<sup>2</sup> oli 1557,93 N ja Rm 1658,87 N. Suurimmat vastaavat arvot hitsatuilla koekappaleilla olivat lähes samat. Rp 0.2 1117,62 N ja Rm 1117,66 N. Liitteet 1, 2 ja 3.

Vetokokeiden tulokset myötörajan suhteen, eli Rp 0.2 eli N/mm<sup>2</sup>, puhuvat CMT-hitsauksen ja Unionin langan puolesta. Paras keskiarvotulos oli 1052 MPa, seuraava edelleen Union-lanka ja CMT-menetelmä, tulos 992,8 MPa. Esabin langat olivat molemmilla menetelmillä lähes tasan, CMT oli 845 MPa ja MAG 804 MPa.

Kun edellisiä tuloksia vertaa yhdessä taivutuskokeen tuloksiin, se johtaa erilaiseen arvosteluun. Kaksi ensimmäistä olivat CMT- menetelmällä hitsattuja, koekappaleet E ja D ja kolmantena MAG:lla hitsattu G.

Parhaan tuloksen siis saavutti kappale E. CMT-menetelmää, Union X 96 lankaa ja I-railoa käyttäen. Virheitä taivutuskokeissa 25 % ja vetokokeen myötöraja, Rp 0.2 (N/mm<sup>2</sup>) keskiarvo oli 1052 N.

Toiseksi vertailussa tuli koekappale D. CMT- menetelmä, V-railo, Unionin lanka ja virheitä 25 %. Rp 0,2 oli 933,5 N.

Kolmanneksi G, V-railo, MAG-menetelmä ja Esabin lanka. Virheitä taivutuskokeessa 25 % ja vetokokeen Rp 0.2 keskiarvo on G:llä 834,8 N.

Kolmanneksi tulivat melkein samalla tuloksella koekappaleet H ja C. Virheitä taivutuskokeissa molemmilla oli 25 %. H:lla menetelmä MAG, Esabin lanka ja I-railo ja C:llä CMT, Esab ja V-railo. Rp 0.2 tulokset H 773,3 N ja C 772,6 N.

Koekappale K saavutti suurimman lujuuden vedossa 1117,6 N, mutta taivutuskokeessa vai 50 % läpäisi. Menetelmä MAG, lanka Union ja V-railo.

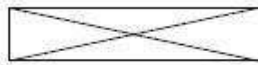
Viimeisen sijan jakavat koekappaleet L ja B. Vetolujuudet olivat hyviä L 1066,3 N ja B hyvä sekin 917,5 N, mutta taivutuskokeissa molemmat hylätty. L:n tiedot, MAG, Union X 96 ja I-railo. B puolestaan CMT, Esab ja I-railo.

Teräs osoittautui hyvin hitsattavaksi. Käytännön hitsaustyön osalta se ei vaadi näiden tutkimusten mukaan erityistoimenpiteitä. Suunnittelijan tulee huomioida hitsauksen aiheuttama taivutuskestävyyden aleneminen. Tutkituilla lisäaineilla hitsin lujuus jää teräksen lujuutta pienemmäksi.

**VIITELUETTELO**

- [1] Hitsaustekniikka Perusteet ja kaarihitsaus Lukkari Juha Helsinki.Opetushallitus 2002
- [2] SFS-Käsikirja 116-2 Hitsien tarkastus osa 2: Rikkova aineenkoetus 2006
- [3] SFS-Käsikirja 116-1 Hitsien tarkastus osa 1: Rikkomaton aineenkoetus 2006
- [4] Sinkityn levyn hitsaus kylmäkaarimenetelmällä. Kandidaattityö.Lehti Kalle. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Lappeenranta 2010.
- [5] Kulumista ja pintapainetta kestävä teräksinen Karkaistavat booriteräkset.2009 Ruukki Oyj.[Verkkodokumentti julkaistu saman vuonna allaolevasta osoitteesta.]  
[http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/AFDE61F1FD71C3F1C225758A0047CB5F/\\$File/Karkaistavat%20booriter%C3%A4kset%20HR\\_04%202009\\_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/AFDE61F1FD71C3F1C225758A0047CB5F/$File/Karkaistavat%20booriter%C3%A4kset%20HR_04%202009_FI.pdf?openElement)

## VETOKOE MAG



Rakennetekniikan laboratorio

19.10.10

## Parameter table:

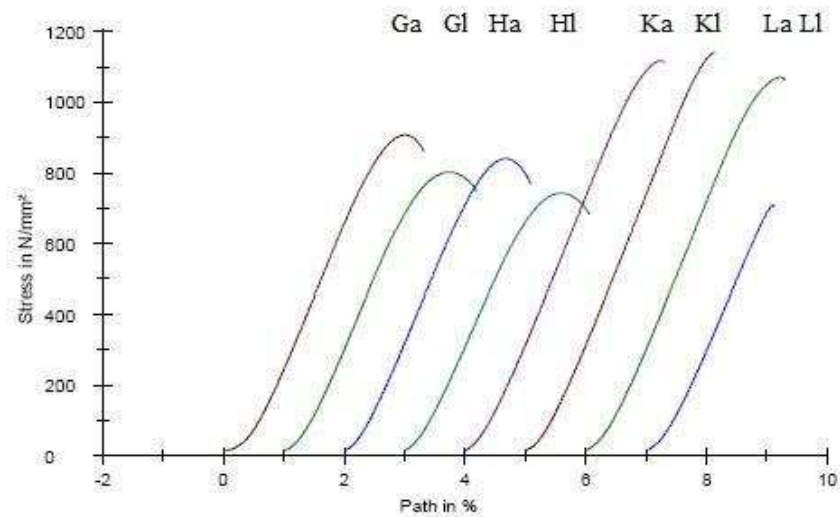
Customer :  
 Tester :  
 Material :  
 Test standard: EN10002

Load cell :  
 Extensometer: Crosshead  
 Pre-load : 1 kN

## Results:

Nr	E-Modulus N/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Fp0.2 N	Rm N/mm <sup>2</sup>	Fm N	ε Fmax. %	S0 mm <sup>2</sup>	Lc mm
1	39665,40	895,68	67176	907,37	68052,86	2,63	75	140
2	39542,11	773,87	58041	801,82	60136,18	2,51	75	140
3	39472,29	826,56	61992	839,82	62986,83	2,49	75	140
4	37639,10	720,10	54007	741,87	55640,28	2,42	75	140
5	39280,15	1117,62	83821	1117,66	83824,48	3,05	75	140
6	39928,11	-	-	1139,89	85491,87	2,93	75	140
7	39410,56	1066,32	79974	1070,49	80287,03	2,99	75	140
8	38561,13	-	-	709,36	53201,79	1,88	75	140

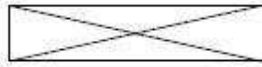
## Series graphics:



## Statistics:

Series n = 8	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	ε Fmax. %	Fm N	Fp0.2 N
x	900,03	916,04	2,61	68702,66	67502
s	160,44	171,80	0,38	12884,79	12033
v	17,83	18,75	14,71	18,75	17,83

## VETOKOE CMT



Rakennetekniikan laboratorio

19.10.10

## Parameter table:

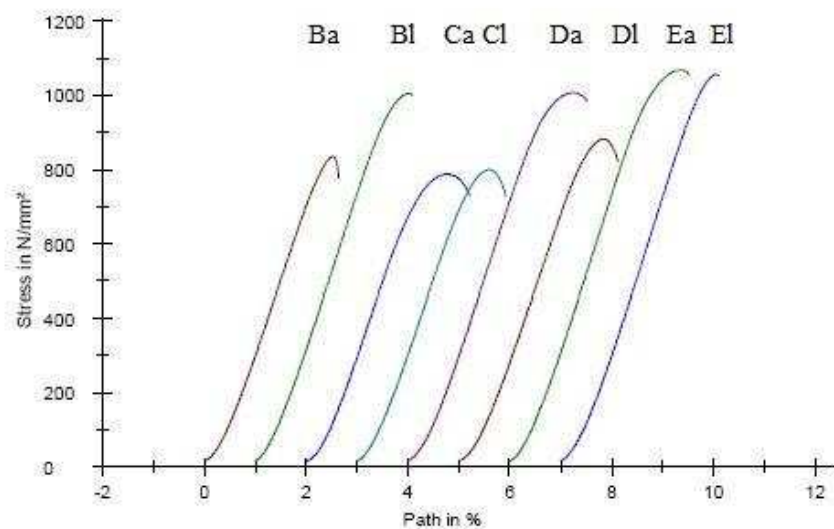
Customer :  
 Tester :  
 Material :  
 Test standard: EN10002

Load cell :  
 Extensometer: Crosshead  
 Pre-load : 1 kN

## Results:

Nr	E-Modulus N/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Fp0.2 N	Rm N/mm <sup>2</sup>	Fm N	ε Fmax %	S0 mm <sup>2</sup>	Lc mm
1	39001,12	833,07	-	835,37	60146,87	2,30	72	140
2	39365,63	1001,82	-	1004,77	72343,30	2,82	72	140
3	39180,53	754,15	-	787,73	56716,91	2,54	72	140
4	38672,39	790,98	-	799,54	57567,17	2,39	72	140
5	39448,07	987,66	-	1006,97	72501,69	3,01	72	140
6	37914,56	879,31	-	881,86	63494,23	2,60	72	140
7	39372,83	1051,61	-	1067,54	76862,79	3,16	72	140
8	39462,15	1052,21	-	1056,21	76047,45	2,82	72	140

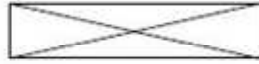
## Series graphics:



## Statistics:

Series n = 8	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	ε Fmax %	Fm N	Fp0.2 N
x	918,85	930,00	2,70	66960,05	-
s	119,18	116,43	0,30	8382,92	-
v	12,97	12,52	11,06	12,52	-

VETOKOE PERUSAINE



Rakennetekniikan laboratorio

19.10.10

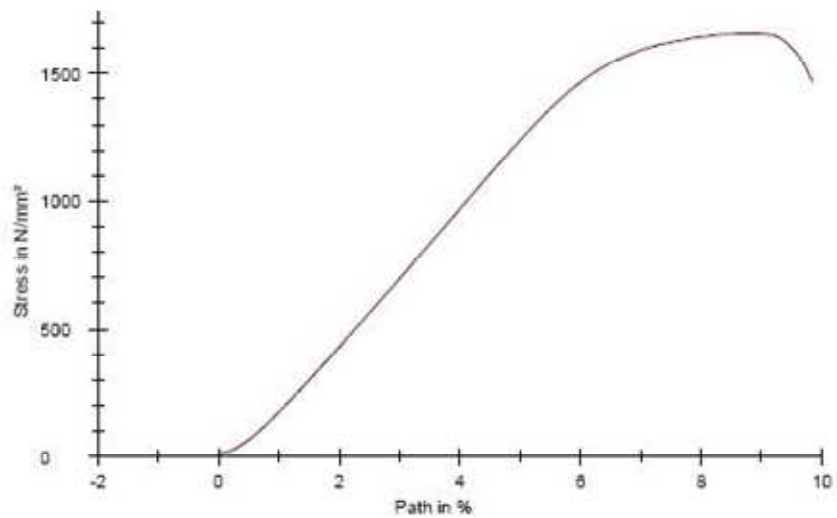
Parameter table:

Customer	:	Load cell	:
Tester	:	Extensometer	: Crosshead
Material	:	Pre-load	: 1 kN
Test standard	: EN10002		

Results:

Nr	E-Modulus N/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Fp0.2 N	Rm N/mm <sup>2</sup>	Fm N	ε Fmax. %	S0 mm <sup>2</sup>	Lc mm
1	25408,52	1557,93	-	1658,87	213993,69	8,45	129	140

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	ε Fmax. %	Fm N	Fp0.2 N
x	1557,93	1658,87	8,45	213993,69	-
s	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-

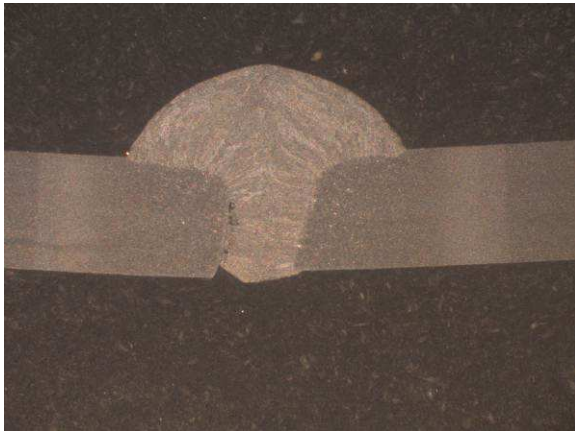
## KOVUUSMITTAUS

KPL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Me- net	Lanka
BI	361	344	309	253	253	240	250	293	283	262	190	189	190	193	271	254	215	362	CMT	Esab
CI	329	351	343	319	221	212	244	232	240	208	195	185	193	221	238	248	215	334	CMT	Esab
DI	373	360	344	248	260	211	255	240	250	320	332	333	346	311	235	265	270	325	CMT	Union
EI	349	336	329	260	206	244	268	265	255	325	291	307	313	321	260	272	222	331	CMT	Union
GI	374	367	350	263	246	273	357	340	303	205	206	203	205	270	343	346	281	392	MAG	Esab
HI	398	386	377	236	275	348	390	381	315	207	200	198	202	198	331	341	291	347	MAG	Esab
KI	344	352	377	266	257	387	398	377	351	352	372	356	338	390	362	374	362	388	MAG	Union
LI	375	373	355	277	257	334	339	364	330	303	332	347	357	355	330	334	360	362	MAG	Union

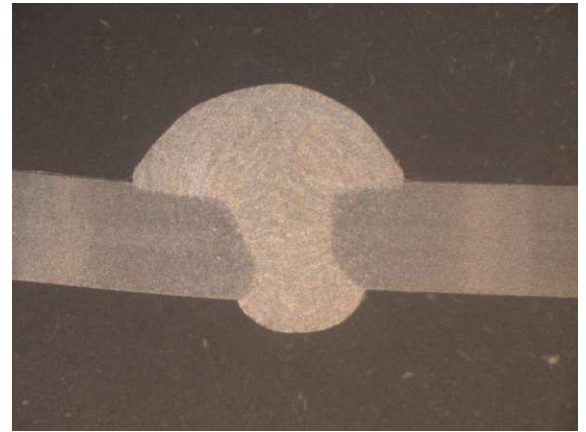
Kaikki kovuusmittaustulokset HV 5.



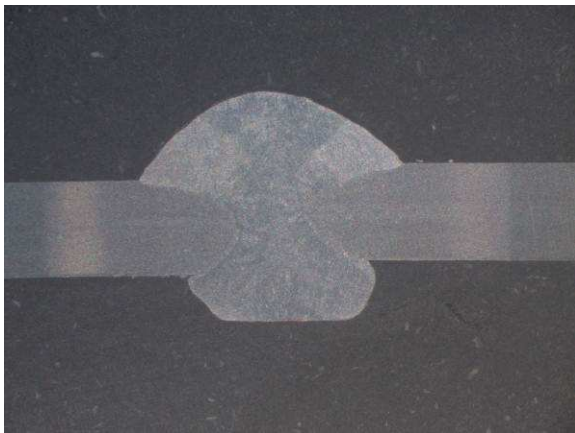
LIITE 5 1(2)



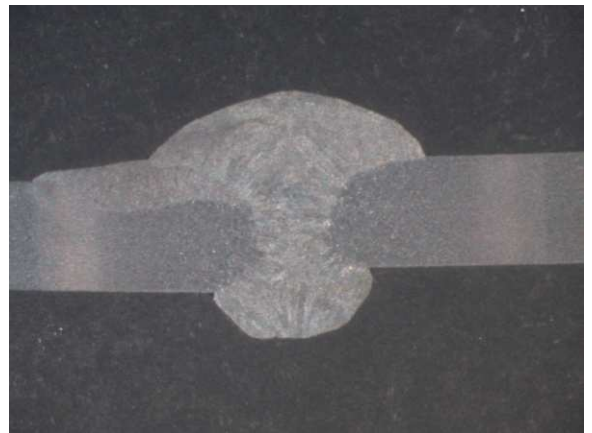
BI



CI



DI

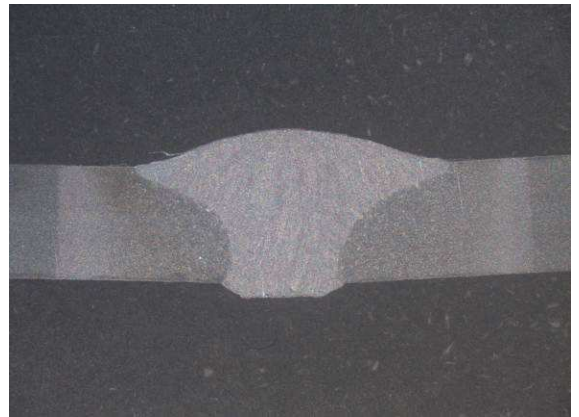


EI

Makrokuvat BI, CI, DI ja EI ovat CMT -menetelmällä hitsattu.



GI



HI



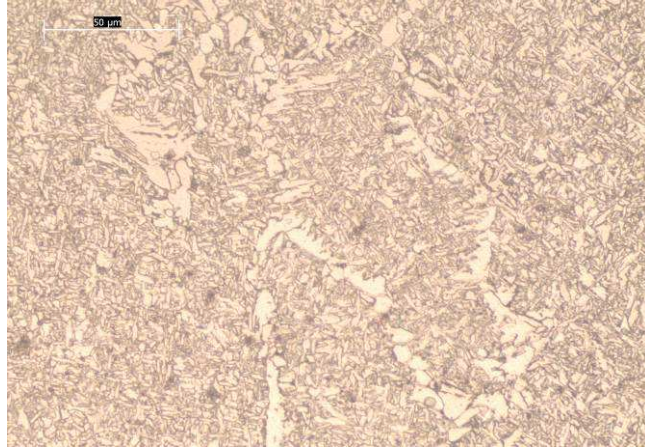
KI



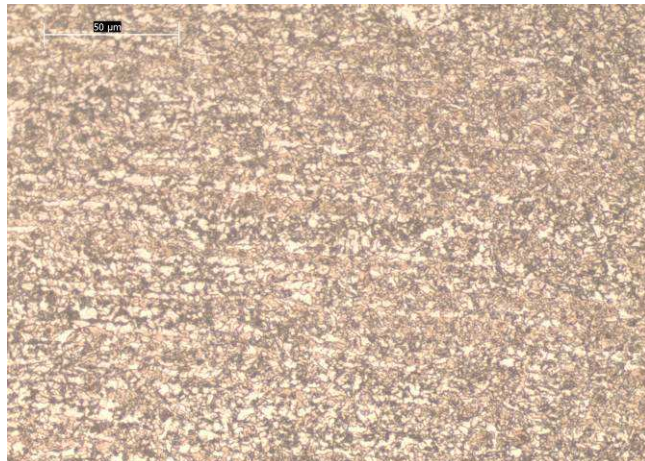
LI

Makrokuvat GI, HI, KI ja LI on hitsattu MAG- menetelmällä

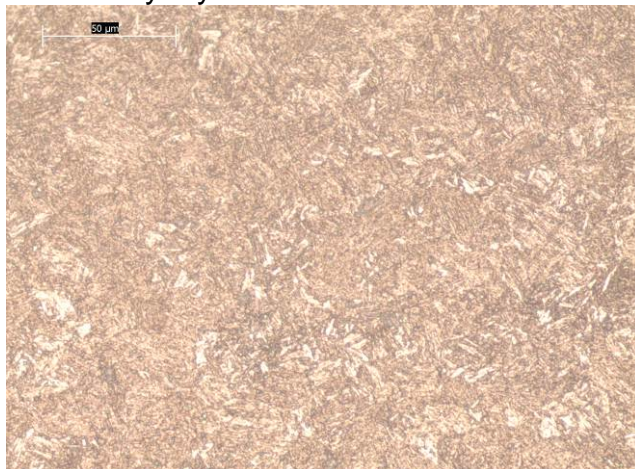
Mikrohieet 50x CMT- hitsausmenetelmä koekappale B.



Hitsi



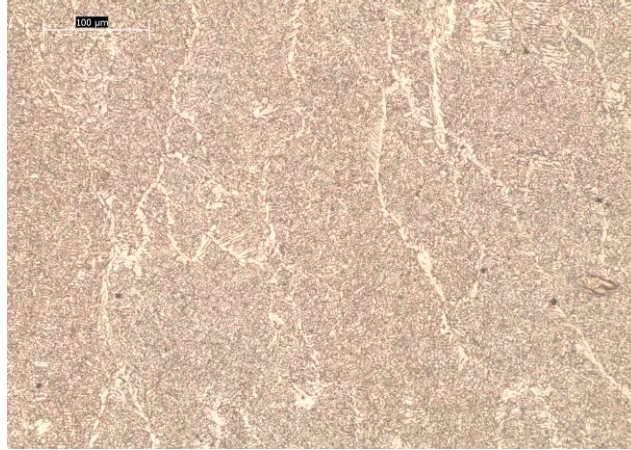
Muutosvyöhyke



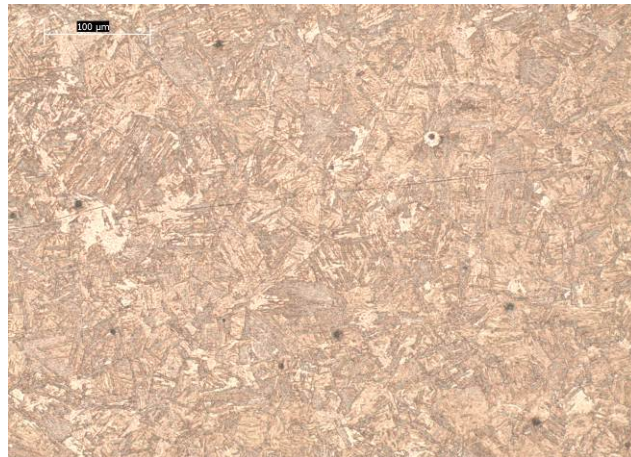
*Perusaine*

**LIITE 6 2(3)**

Mikrohieet 20x MAG- hitsausmenetelmä koekappale G.



**Hitsi**

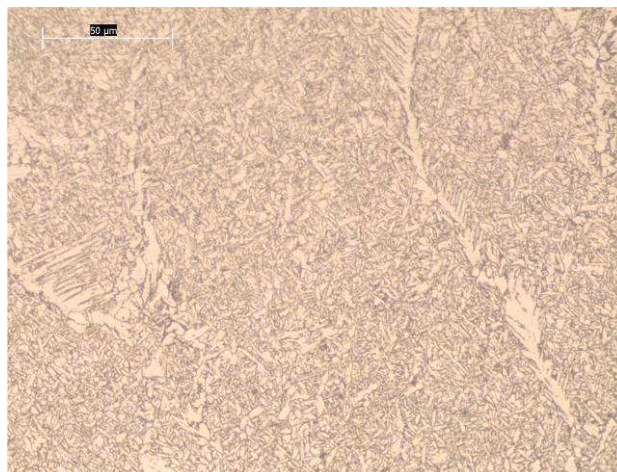


**Muutosvuöhyke**



**Perusaine**

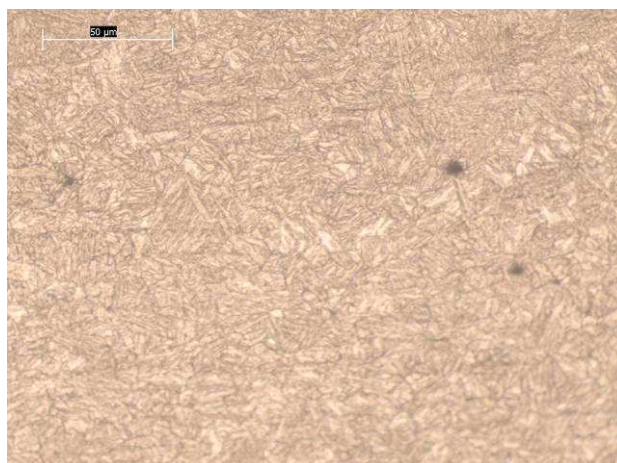
Mikrohieet 50x MAG- hitsausmenetelmä koekappale G.



**Hitsi**



**Muutosvyöhyke**



**Perusaine**

# HITSAUSKOE PÖYTÄKIRJA MAG DETAILS OF WELD TEST

LIITE 7

Pöytäkirjan nro Report no	001	Työ nro no	001	Tilaaaja Customer	Ruukki Oyj / Metropolia	
Paikka Location	Metropolia Hitsausla-		Hitsausohje no	01	Menetelmäkoepöytäkirjan nro	
Valmistaja Manufacturer				Perusaine Parent material		
Hitsaaja Welder	H Eskelinen			Koeteräs		
Hitsausprosessi	135 MAG			Ainepaksuus Material thickness	3 mm	
Liitosmuoto Joint type	I- ja V-railo			Ulkohalkaisija Outside diameter	-	
Hitsausasento Welding posi-	PA jalkoasento			Liitoksen kuva Joint design	Hitsausjärjestys Welding sequence  1 palko	
Railon valmistus	Koneistettu Jyrsintä					
Railon puhdistus	Hionta ja paineilma					
Silloitus Tacking	Noin 10-15 cm välein					
Juurituki Backing	Ei					
Juuren avaus Back gouging	Ei					
Jälkikäsitteily Post-weld	Ei					

## Hitsauksen suoritusarvot / Welding details

Pal-ko Run	Pro- sessi Pro- cess	Lisäaineen mitat Size of filler metal mm	Hitsaus- virta Current A	Kaarijän- nite Voltage V	Virtala- ji/napaisuus Type of cur- rent/ polarity	Langan- syöttö Wire feed m/min	Kuljetus- nopeus Travel speed cm/min	Kaariener- gia Arc energy kJ/mm
1	135	1	107-	22,5	-maa	6,7	35	0,31
Esikuumennus Preheat			Ei esikuumennusta		Palkojen välinen lämpötila		1 palko	
TIG-elektrodi, tyyppi/koko					Huom. Notes			
					Samat arvot molemmille railoil-			

## Hitsausaineet / Welding Consumables

Kauppanimi ja lisäaineen luokitus		Esab 12.51 Union X 96 samat arvot molemmilla					
Suojakaasu/jauhe	Mison 25	Juurikaasu Backing gas	ei			Kaasun virtausnopeus	7-8 l/min
Käsittely, kuivaus yms.		Vapaa jäähtyminen					

## Jälkilämpökäsittely / PWHT

## Lisätiedot / Other information

Menetelmä/ohje				Suutinetäisyys Stand off distance	10 mm	
Lämpötila Temperature	°C	Pitoaika Heating				
Lisätiedot: esim. kuumennus- ja jäähtymisnopeudet Other information: heating and cooling rates etc.				Värähtely (amplitudi, taajuus, pysäytysaika)	---	
°C/min				Plasmahitsausarvot Plasma welding details	---	
°C/min				Sykehitsausarvot Pulse welding details	---	
Pv m	15.10.20	Laati- ja	H.Eskelinen		Poltinkulma / Torch angle	10°

## Hyväksyntä / Approval

Valmistaja Manufac-	Tilaaaja Custo-		Valvoja tai testauksen suorittaja
			Heikki Eskelinen
Päiväys ja allekirjoitus	Päiväys ja allekirjoitus		Päiväys ja allekirjoitus

# HITSAUSKOE PÖYTÄKIRJA CMT DETAILS OF WELD TEST

LIITE 8

Pöytäkirjan nro Report no	002	Työ nro no	002	Tilaaaja Customer	Ruukki Oyj / Metropolia	
Paikka Location	Hitsauslabra		Hitsausohje no	02	Menetelmäkoepöytäkirjan nro	
Valmistaja Manufacturer				Perusaine Parent material		
Hitsaaja Welder	H Eskelinen			Koeteräs		
Hitsausprosessi	135 CMT			Ainepaksuus Material thickness	3 mm	
Liitosmuoto Joint type	I- ja V- railo			Ulkohalkaisija Outside diameter	-	
Hitsausasento Welding position	PA jalkoasento			Liitoksen kuva Joint design	Hitsausjärjestys Welding sequence  1 palko	
Railon valmistus	Koneistettu Jyrsintä					
Railon puhdistus	Hionta ja paineilma					
Silloitus Tacking	Noin 10-15 cm välein					
Juurituki Backing	Ei					
Juuren avaus Back gouging	Ei					
Jälkikäsitteily Post-weld	Ei					

## Hitsauksen suoritusarvot / Welding details

Pal-ko Run	Pro- sessi Process	Lisäaineen mitat Size of filler metal mm	Hitsaus- virta Current A	Kaarijän- nite Voltage V	Virtala- ji/napaisuus Type of current/ polarity	Langansy- öttö Wire feed m/min	Kulje- tusnopeus Travel speed cm/min	Kaariener- gia Arc energy kJ/mm		
1	135	1	207	13,2	-maa	6,7	35	0,31		
Esikuumennus Preheat				Ei esikuumennusta					Palkojen välinen lämpötila	1 palko
TIG-elektrodi, tyyppi/koko				Huom. Notes					Samat arvot molemmille railoil-	

## Hitsausaineet / Welding Consumables

Kauppanimi ja lisäaineen luokittelu	Esab 12.51 Union X 96 samat arvot molemmilla		
Su-ojakaasu/jau	Mison 18	Juurikaasu Backing gas	ei
Käsittely, kuivaus yms.	Vapaa jäähtyminen		
Kaasun virtausnopeus		7-8 l/min	

## Jälkilämpökäsittely / PWHT

## Lisätiedot / Other information

Menetelmä/ohje	Suutinetäisyys Stand off distance			10 mm
Lämpötila Temperature	°C	Pitoaika Heating	Sivuttaisliike (palon max. leveys) Weaving (max. width of run)	
Lisätiedot: esim. kuumennus- ja jäähtymisnopeudet Other information: heating and cooling rates etc.			Värähtely (amplitudi, taajuus, pysäytysaika)	
°C/min			Plasmahitsausarvot Plasma welding details	
°C/min			Sykehitsausarvot Pulse welding details	
Pv m	15.10.20	Laati- ja	H.Eskelinen	
			Poltinkulma / Torch angle	
			10°	

## Hyväksyntä / Approval

Valmistaja Manufac-	Tilaaaja Custo-	Valvoja tai testauksen suorittaja
		Heikki Eskelinen
Päiväys ja allekirjoitus	Päiväys ja allekirjoitus	Päiväys ja allekirjoitus