

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Kone- ja tuotantotekniikka

Laivajärjestelmät

INSINÖÖRITYÖ

**PIENIHALKAISIJAISTEN PUTKIEN ORBITAALI-TIG-HITSAUS
AKER YARDSILLA**

**Työn tekijä: Marko Karppinen
Työn valvoja: Juha Kotamies
Työn ohjaaja: Eero Nykänen**

Työ hyväksytty: __. __. 2008

**Juha Kotamies
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä insinööriyö tehtiin Aker Yardsin Helsingin Telakalle, Helsingin ammattikorkeakoulun Stadian Kone- ja tuotantotekniikan laivatekniikan opintolinjan päättötyönä keväällä 2008.

Päättötyöni ohjaajana on toiminut hitsausinsinööri Eero Nykänen, jolle haluan lausua kiitokseni.

Haluan erityisesti lausua kiitokseni päättötyöni valvojalle tekniikan lisensiaatti Juha Kotamiehelle arvokkaista, rakentavista sekä kannustavista kommentteista.

Suuren kiitokseni esitän laivalevyseppä Jarmo Hiekkavirrälle, joka entisenä orbitaali-hitsausoperaattorina on opastanut minua orbitaali-hitsauslaitteen käytössä ja mahdollisti työni käytännön puolen onnistumisen. Ilman häntä en olisi onnistunut työssäni.

Haluan kiittää myös hitsausmestari Jorma Romppasta, jonka pitkä ja vankka kokemus hitsausta kohtaan ilmeni keskusteluissamme ja joista ammensin ideoita työtäni kohtaan.

Kiitokseni osoitan myös Teknohaus Oy:n tekniselle myyjälle / orbitaalikouluttaja Timo Jämsenille, joka avuliaasti vastaili kysymyksiini niiden ilmaantuessa.

Kiittää haluan myös Aker Yardsin Helsingin telakan Rungonkoonnin päällikköä Veli-Matti Kontroa, mahdollisuudesta tehdä työtäni osittain työaikana, kaiken kiireen keskellä. Samalla kiitän koko rungonkoonnin henkilöstöä, erityisesti suuren laivanrakennuskokemuksen omaavia työnjohtajia Kalevi Selvistä ja Tuomo Kettusta sekä laatukoordinaattori Tapani Saarelaa saamastani tuesta ja kannustuksesta työni edetessä.

Kiitokset myös Polartest Oy:n NDT-tarkastajille Risto Savolaiselle ja Toivo Väisäselle opastuksesta ainetta rikkomattomiin tarkastuksiin sekä Helsingin ammattikorkeakoulu Stadian materiaalitekniikanlaboratorion assistentille Igor Pustsinille opastuksesta ainetta rikkoviin tarkastuksiin.

Haluan suuresti kiittää myös koko laivanrakennusopiskeluryhmäämme, joka on auttanut ja kannustanut koko opiskeluajan. Ilman hyvää ryhmähenkeä, ei opiskeluni työn ohessa olisi varmaankaan onnistunut.

Lopuksi haluan kiittää vielä kaikkia niitä henkilöitä, joita ei ole mainittu tässä yhteydessä nimeltä, mutta joihin olen ollut yhteydessä opinnäytetyöhöni liittyen.

Kiitoksia ilse kaikesta!!!

Ja matka jatkuu...

Helsingissä 12.05.2008

Marko Karppinen

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Marko Karppinen	
Työn nimi: Pienihalkaisijaisten putkien orbitaali-TIG-hitsaus Aker Yardsilla	
Päivämäärä: 09.05.2008	Sivumäärä: 127 s. + 8 liitettä
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Laivajärjestelmät
Työn valvoja: Tekniikan lisensiaatti Juha Kotamies	
Työn ohjaaja: Hitsausinsinööri Eero Nykänen	
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena on herätellä henkiin orbitaali-TIG-hitsauksen käyttömahdollisuuksia Aker Yardsin telakoilla.</p> <p>Työ on jaettu kolmeen eri osaan. Ensimmäisessä osassa kerrotaan teoretietoa lähtien aivan <i>ruohonjuuritasolta</i>, koskien TIG- ja orbitaali-TIG-hitsausta. Toisessa osassa tutustutaan käytännön läheisesti orbitaalilaitteiston toimintaan koehitsauksien avulla.</p> <p>Kolmannessa eli projektiosuudessa tavoitteena oli laatia orbitaali-TIG-hitsausohjelma saumattomalle ja seostamattomalle teräspankulle S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 (NS40). Tarkoituksena oli löytää koehitsien avulla oikeat hitsausparametrit tasalaatuisen sekä virheettömän hitsausliitoksen aikaansaamiseksi ja suorittaa virallisen menetelmäkoestandardin SFS-EN 288-3 (EN ISO 15614-1) sisältämät rikkova- ja rikkomaton aineenkoetus.</p> <p>Ainetta rikkomaton tarkastus (NDT) tehtiin Polartest Oy:n toimesta ja ainetta rikkova aineenkoetus Helsingin ammattikorkeakoulu Stadian materiaalitekniikan laboratoriossa.</p> <p>Työ onnistui hyvin ja projektin tuloksena saatiin yksiselitteiset hitsausohjeet, joita käyttämällä saadaan laadullisesti onnistunut hitsi saamaan ja tarvittaessa hyväksyä ja muuttaa se hitsausohjeeksi (WPS).</p>	
Avainsanat: TIG-hitsaus, mekanisoitu-TIG-hitsaus, orbitaali-TIG-hitsaus, alustava hitsausohje (pWPS), menetelmäkoe (WPT), hitsausohje (WPS)	

ABSTRACT

Name: Marko Karppinen	
Title: Orbital TIG Welding of Pipes with Small Diameter at Aker Yards	
Date: 09.05.2008	Number of pages: 127 + 8 appendices
Department: Mechanical Engineering	Study Programme: Ship System
Instructor: Juha Kotamies, Lic. Sc. (Techn)	
Supervisor: Eero Nykänen EWE	
<p>The purpose of the graduate project was to increase the application possibilities of orbital TIG welding on the ship yards of Aker Yards.</p> <p>The study is in three parts. The first part introduces the theory of the TIG and the orbital TIG welding. The second part concentrates on the function of the orbital equipment with the help of test weldings.</p> <p>The purpose of the third part was to get the orbital TIG welding program for the seamless and unalloyed steel pipe S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 (NS40). The aim was to find the parameters of the welding to achieve in test weldings a uniform and defect-free welded joint. Furthermore, the objective was to accomplish the task according to the official welding procedure approval standards for both the district and the non-district test.</p> <p>The non-district test was carried out by Polartest Oy and the district test was executed in the laboratory of the material technology at the Helsinki Polytechnic Stadia.</p> <p>The purpose of the graduate project was well achieved. The result was the defined welding instructions used to get the qualified welded joint. The instructions can be approved and can be revised to the Welding Procedure Specification if necessary.</p>	
Keywords: Tungsten Inert Gas Welding, Mechanized TIG Welding, Orbital TIG Welding, preliminary Welding Procedure Specification (pWPS), Welding Procedure Test (WPT), Welding Procedure Specification (WPS)	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

AMMATTITERMEJÄ

1	JOHDANTO	1
1.1	Yritysesittely	1
1.2	Aiheen valinta	2
1.3	Työn tavoitteet.....	2
2	TIG-HITSAUS (141)	4
2.1	TIG- hitsauksen käyttökelpoisuus.....	4
2.2	TIG-hitsauslaitteisto	7
2.3	TIG- hitsauksen suojakaasut.....	8
2.3.1	Juurensuojaus	10
2.3.2	Juurikaasun virtaus.....	12
2.3.3	Ruostumattomien teräsputkistojen juurensuojaus.....	13
2.3.4	Juuritahna.....	17
2.4	Elektrodit.....	18
2.4.1	Elektrodin kärjen muoto ja teroitus.....	19
2.4.2	Elektrodin merkitys mekanisoidussa TIG-hitsauksessa.....	22
2.5	Lisäaineet.....	23
2.5.1	Lisäaineen valinta.....	24
2.5.2	Lisäaineiden säilytys ja käsittely	25
3	PUTKIEN MEKANISOITU TIG-HITSAUS	26
3.1	Pyörivän putken hitsaus	26
3.2	Kiinteän putken hitsaus	27
4	ORBITAALI-TIG-HITSAUS	28
4.1	Historia.....	29
4.2	Edut ja hyödyt.....	29
4.3	Käyttöalat.....	33

5	TIG-HITSAUKSEN PROSESSIVARIAATIOT	34
5.1	Pulssihitsaus	34
5.2	Kylmä- ja kuumalanka-TIG-hitsaus	36
5.2.1	<i>Kylmä- ja kuumalanka-TIG-hitsaus</i>	36
5.2.2	<i>Kuumalanka-TIG-hitsaus</i>	37
5.3	TIG-kapearailohitsaus	37
5.4	A-TIG-hitsaus.....	41
5.5	Muita variaatioita	41
6	MEKANISOITU TIG-HITSAUS LAITTEISTO	42
6.1	Virtalähde.....	42
6.2	Ohjaus- ja ohjelmointiyksikkö	45
6.3	Hitsaustyökalut.....	46
6.3.1	<i>Pihittyypiset työkalut</i>	46
6.3.2	<i>Kelkkatyypiset työkalut</i>	50
6.3.3	<i>Hitsaustyökalun toiminta</i>	52
6.4	Langansyöttölaite.....	53
6.5	Muut varusteet.....	54
6.5.1	<i>Videomonitorointi ja railonseuranta</i>	54
6.5.2	<i>Hitsausarvojen seuranta ja dokumentointi</i>	55
6.5.3	<i>Weldoc WMS 4000</i>	57
7	MEKANISOIDUN TIG-HITSAUSLIITOKSEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS	58
7.1	Liitoksen suunnittelu	58
7.2	Putkiliitosten esivalmistelut	58
7.2.1	<i>Putkien mittatarkkuus</i>	59
7.2.2	<i>Putkien katkaisu ja railonvalmistus</i>	59
7.2.3	<i>Putkien kiinnitys hitsausta varten</i>	61
7.2.4	<i>Liitoksen esivalmistelu-aika</i>	62
7.3	Railomuodon valinta	63
8	ORBITAALI-TIG-HITSAUSPROSESSI	65
8.1	Ohutseinämäisten putkien orbitaali-TIG-hitsaus.....	65
8.2	Paksuseinämaisten putkien orbitaali-TIG-hitsaus	66
8.2.1	<i>AVC eli automaattinen kaaripituuden säätö</i>	66
8.2.2	<i>Levitysliike eli vaaputus (OCS)</i>	67
8.2.3	<i>Langansyöttö</i>	68
8.3	Orbitaalihitsauksen ohjelmointi	70
8.3.1	<i>Sektorit</i>	70
8.3.2	<i>Hitsausparametrit</i>	71
9	ORBITAALI HITSAUSOHJELMA	73
9.1	Hitsausohjelman sisältö	73
9.2	Hitsausohjelman laadinta	74

10	ORBITAALIHITSAUKSEN KÄYTTÖ AKER YARDSILLA	76
10.1	Historia.....	76
10.2	Nykytilanne.....	77
11	PROJEKTIN TAVOITTEET	79
12	KOEHITSAUKSET	80
12.1	Koehitsauksissa käytetty orbitaali-TIG-hitsauslaitteisto.....	80
12.1.1	Virtalähde.....	80
12.1.2	Hitsauspihdit.....	81
12.2	Orbitaali-TIG-hitsauksen suoritus.....	84
12.2.1	Ensimmäinen vaihe.....	84
12.2.2	Toinen vaihe.....	84
12.2.3	kolmas vaihe.....	85
12.2.4	Neljäs vaihe eli hitsaus.....	88
12.3	Koehitsaus 1.....	89
12.3.1	EN 1.4432 / AISI 316 L / Ø 60,3 x 2,0.....	89
12.3.2	Muutokset.....	89
12.3.3	NDT-tarkastukset (SFS-EN 12062).....	92
12.4	Koehitsaus 2.....	94
12.4.1	S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5.....	94
12.4.2	Alkuvalmistelut.....	94
12.4.3	Railokulma.....	95
12.4.4	Ongelmat.....	97
12.4.5	Sektoreiden ja parametrien luonti, juuripalko.....	98
12.4.6	Sektoreiden ja parametrien luonti, väli- ja pintapalko.....	99
12.4.7	Havainnot.....	100
12.4.8	Käsin TIG-hitsaus vs. orbitaali-TIG-hitsaus.....	102
12.4.9	Pätevyysalue.....	104
12.5	Hitsauskoekiden analyysi.....	105
13	TESTAUKSET JA NIIDEN TULOKSET	106
13.1	Rikkomaton aineenkoetus.....	107
13.1.1	VT-tarkastus (SFS-EN 970).....	107
13.1.2	RT-tarkastus (SFS-EN 1435, SFS-EN 12517).....	108
13.1.3	MT-tarkastus, (SFS-EN 1290, SFS-EN 1291).....	110
13.2	Ainetta rikkova aineenkoetus.....	112
13.2.1	Makrohietutkimus (SFS-EN 1321).....	113
13.2.2	Kovuusmittaus (SFS-EN 1043-1).....	114
13.2.3	Poikittainen vetokoe (SFS-EN 895).....	117
13.2.4	Taivutuskoe (SFS-EN 910).....	119
13.3	Tulosten analyysi.....	120
14	YHTEENVETO	123
	VIITELUETTELO	125

LIITTEET

Liite 1: AISI 316 L:n RT-tarkastusraportti

Liite 2: AISI 316 L:n tunkeumanestetarkastuspöytäkirja

Liite 3: Orbitaali-TIG-hitsausohjelma (NS40)

Liite 4: Alustava hitsausohje (pWPS)

Liite 5: Röntgentarkastusraportti

Liite 6: Magneettijauhetarkastuspöytäkirja

Liite 7: Koesauvan 1. vetokoeraportti

Liite 8: Koesauvan 4. vetokoeraportti

AMMATTITERMEJÄ

Alustava hitsausohje (pWPS)	<i>preliminary welding procedure specification</i> , hitsausmenetelmälle vaadittavat muuttujat sisältävä asiakirja
AVC	<i>automatic voltage control</i> , automaattinen kaaripituuden säätö eli elektrodin korkeuden säätö
Esilämmitysaika	hitsausliikkeen viive työkappaleen esilämmittämiseksi
Hitsausohje (WPS)	<i>welding procedure specification</i> , asiakirja, joka on hyväksytty menetelmäkokein ja jossa esitetään vaadittavat hitsausmenetelmän muuttujat toistettavuuden varmistamiseksi tuotantohitsauksessa
Hitsausvirhe	epäjatkuvuus hitsissä tai poikkeama hitsin muodossa
Hitsausoperaattori	henkilö, joka suorittaa mekanisoitua tai automaattista hitsausta
Hitsin juuri	alue, joka on päinvastaisella puolella kuin, mistä hitsi tehdään
Huippuaika	aika, jona virta on päällä pulssijakson aikana
Huippulanka	langan syöttönopeus huippuvirtaa käytettäessä
Huippuvirta	suurempi virran arvo kahdesta tai virran arvo jatkuvaa virtaa käytettäessä
Juurikaasu	suojakaasu hitsausrailon alapuolella
Juuripalko	juuren puolelle hitsattu palko
Jännitysvenymäpiirros	vetokokeen kuvaaminen käyrällä, joka esittää koesauvan näennäisen jännityksen riippuvuutta suhteellisesta venymästä
Kaksoispohja	pohjalevyn ja laivan ensimmäisen kannen (tankin topin) välinen vesitiivis tila

Koekappale	hitsaamalla tehty koekappale, jota käytetään hitsaustarkastuksiin
Koesauva	koekappaleesta otettu pala tiettyä rikkovaa aineen koetusta varten
Leikkauspiste	uuden sektorin alkukohta
Loppusektori	hitsausprosessin viimeinen hitsaussektori
Mekanisoitu hitsaus	hitsaus, jossa kaikki pääasialliset suoritukset (lukuun ottamatta työkappaleen käsittelyä) tapahtuvat automatisoidusti
Menetelmäkoe (WPT)	<i>welding procedure test</i> , standardisoidun koekappaleen valmistaminen alustavan hitsausohjeen (pWPS) mukaisesti ja testaaminen hitsausmenetelmän hyväksymistä varten
MT-tarkastus	<i>magnetic particle examination</i> , magneettijauh tarkastus
Murtolujuus	vetokokeessa todettu suurin voima jaettuna vetokoesauvan alkuperäisellä poikkipinnalla
Muutosvyöhyke (HAZ)	<i>heat affected zone</i> , se osa perusainetta, johon hitsaus on aiheuttanut mikrorakenne muutoksia
Myötölujuus	vetokokeessa todettava jännitys, jolla myötäminen alkaa
NDT-tarkastus	<i>non destructive testing</i> , ainetta rikkomaton testaus, tutkimus, jossa tutkittavan kappaleen muoto ja koko eivät oleellisesti muutu
OCS	poltinpään sivuttaissuuntainen etäisyyden säätö eli levitysliikemekanismi
Orbitaalihitsaus	automaattinen hitsausmenetelmä, jossa hitsauspoltin kiertää kiinteän hitsattavan kappaleen, yleensä putken ympäri
Perusaika	perusvirran aika, joka yhdessä huippuvirran ajan kanssa tuottaa pulssijakson

Peruslanka	langan syöttönopeus ilmoitetulla perusajalla
Perusvirta	pienempi virran arvo kahdesta pulssitettua virtaa käytettäessä
Pintapalko	palko, joka jää hitsin pintaan
PT-tarkastus	<i>liquid penetrant examination</i> , tunkeumanestetarkastus, tunkeutuu kappaleen pintaan avautuviin epäjakkuvuuksiin, joista se imeytyy kappaleen pinnalle levitettävään kehitteeseen
Pyörimisnopeus	elektrodin pyörimisnopeus työkappaleen ympäri
Pätevyysalue	oleellisen muuttujan hyväksymisalue
Railo	hitsausta varten valmistettujen osien välinen tila
Railokulma	railon kylkien välinen kulma
RT-tarkastus	<i>radiographic examination</i> , röntgentarkastus, perustuu eri aineiden läpäisemän säteily määrän muutokseen aineenpaksuuden muuttuessa
Sektor	putken tietty osa
Suojakaasu	suojakaasu hitsausrailon yläpuolella
TIG-hitsaus	<i>tungsten inert gas arc welding</i> , kaasuokaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin ja työkappaleen välissä suojakaasun ympäröimänä
Vetokoe	aineenkoetuskoe, jossa koesauvaa kuormitetaan aksiaalisella vetokuormituksella yleensä katkeamiseen asti ja todetaan voima ja tavallisesti myös koesauvan pitenemä kokeen kuluessa
Viistekulma	railon kyljenviistetyn osan ja kappaleen pinnan normaalin välinen kulma
VT-tarkastus	<i>visual testing</i> , hitsausliitoksen silmämääräinen tarkastus

1 JOHDANTO

1.1 Yritysesittely

Kansainvälisellä Aker Yards -konsernilla on kahdeksassa maassa yhteensä 18 telakkaa. Suuri osa maailman risteilyaluksista on rakennettu Aker Yardsin telakoilla. Asiakkaina ovat olleet maailman johtavat risteilyalusvarustamot.

Turussa, Helsingissä ja Raumalla sijaitsevat Aker Yardsin Suomen telakat kuuluvat risteilijä- ja autolautta eli *Cruise & Ferries* -toimialueeseen. Tämä koostuu Suomen kolmesta telakasta ja kahdesta hyttitehtaasta, Ranskan kahdesta telakasta, yhdestä hyttitehtaasta ja yhdestä suunnittelu-yhtiöstä sekä elinkaari palvelutoiminnasta, jolla on toimistot Suomen ja Ranskan lisäksi USA:ssa. [1.]

Aker Yardsin Suomen telakat alkoivat noudattaa kokoonpanotelakkastrategiaa vuonna 2004, jonka tavoitteena on kustannustehokas ja kilpailukykyinen laivojen rakentaminen entistä lyhyemmässä ajassa. Turussa ja Raumalla lohkokotehdas toimittaa kokoonpanotelakalle laivan rungoissa tarvittavat lohkot. Lohkokotehdas ostaa myös lohkoja kokoonpanotelakoiden nopeasta rakennusaikataulusta ja lohkokotehtaan hetkittäisistä ylikuormista johtuen muun muassa Venäjältä, Puolasta, Porin Mäntyluodolta sekä uivia kokonaisuuksia Saksasta ja Ranskasta.

Suomalaisista telakoista Turku on suurin ja erikoistunut suuriin risteilyaluksiin. Turun kokoonpanotelakalta valmistui 24.4.2006 maailman suurin risteilylaiva *Freedom of the Seas*, Royal Caribbean International-varustamolle, joka oli ensimmäinen kolmen laivan sarjasta. Sisarlaiva *Liberty of the Seas* luovutettiin niin ikään 18.4.2007 ja kolmas sisarlaivoista *Independence of the Seas*, valmistuu vuonna 2008 keväällä. Syksyllä vuonna 2009 manttelin perii vielä suurempi Genesis-luokan risteilijä, jonka pituus on 360 metriä, leveys 47 metriä ja korkeus vesilinjasta 65 metriä. Syksyllä 2010 sille luovutetaan sisaralus. [1.]

Rauman kokoonpanotelakalla rakennetaan autolauttoja, pienempiä risteilyaluksia ja erikoisaluksia kuten jäänmurtajia ja merivoimien aluksia. Helsingin kokoonpanotelakka on erikoistunut matkustaja-autolauttoihin ja jäissä kulkeviin erikoisaluksiin. [1.]

1.2 Aiheen valinta

Työn aiheen valintaan vaikutti luonnollisesti vahva käytännön osaamiseni TIG-hitsausta kohtaan, jonka hankin toimiessani vuosina 2001 - 2007 välisen ajan Aker Yardsin Helsingin telakalla konevarustelun Putkihitsaajana.

Aloittaessani vuoden 2004 alussa insinööriopinnot iltaopiskeluna työn ohessa, minulla heräili vahva kiinnostus mekanisoitua-TIG-hitsausta kohtaan. Näin päätinkin vuoden 2007 syksyllä aloittamaan tekemään insinööriyöni koskien orbitaali-TIG-hitsausta.

Työssäni on inspiroinut Ilkka Pölläsen Diplomityö vuodelta 1983, joka koski pienten putkien päittäisliitoksen koneellista TIG-hitsausta.

Orbitaali-TIG-hitsausprorosesia käytettiin Helsingin telakalla vuosina 2002 – 2004 menestyksellisesti laivan tankkien lämmitysputkistojen hitsaukseen, joiden putkimateriaalina toimi kupari-nikkeliseos (Cunife). Lohkotuotannon ulkoistaminen lopetti orbitaalin käytön Aker Yardsin Helsingin telakalla keväällä 2004.

Aker Yardsin Turun telakalla Orbitaali-TIG-hitsausta on käytetty vuodesta 2004 asti pajaolosuhteissa haponkestävien ja ruostumattomien soviteputkien hitsaukseen.

1.3 Työn tavoitteet

Tämän insinööriyön tavoitteena oli entisenä konevarustelun putkihitsaajana ja nykyisenä rungonkoonnin hitsaustyönjohtajana herätellä henkiin orbitaali-TIG-hitsauksen käyttömahdollisuuksia Aker Yardsin telakoilla.

Orbitaalihitsauslaitteiden tuomat mahdollisuudet ovat lisääntyneet nykyaikana ja samalla putkihitsauksien laatu telakoilla heikentynyt. Tähän osasyynä ilmenee ammattitaitoisten hitsaajien vähentyminen ja ikääntyminen sekä hitsien vaativuuden kasvu.

Työni tein ensin kirjallisuuteen tutustumalla ja hakemalla sieltä aivan ruohonjuuritasolta tietoa koskien TIG- ja Orbitaali-TIG-hitsausta. Tämän jälkeen tustuin orbitaalilaitteiston toimintaan laivalevyseppä Jarmo Hiekkavirran opastuksella, joka vuosina 2002 - 2004 toimi Helsingin telakalla orbitaalihitsausoperaattorina.

Laitteiston hallinnan jälkeen aloitin varsinaisen projektini eli hitsausohjelman luomisen saumattomalle ja seostamattomalle teräsputkelle S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 (NS 40).

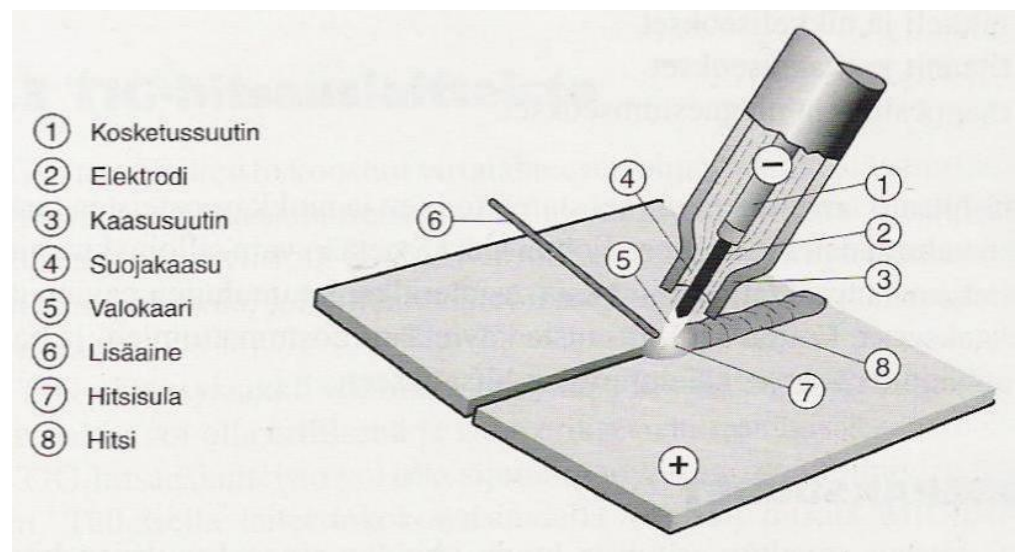
Tarkoituksena oli löytää koehitsien avulla oikeat hitsausparametrit tasalaatuisen sekä virheettömän hitsausliitoksen aikaansaamiseksi ja suorittaa siinä onnistuessani virallisen menetelmäkoestandardin SFS-EN 288-3 (EN ISO 15614-1) sisältämät rikkova- ja rikkomaton aineenkoetus.

2 TIG-HITSAUS (141)

TIG-hitsaus, eli *Tungsten inert gas arc welding* kuuluu kaasukaarihitsausprosessiin sulamattomalla elektrodilla. Numerotunnus standardin SFS-EN 24063 mukaan on 141 ja kirjaintunnusstandardin FSF-EN 759 mukaisesti on W-kirjain. [2, s. 249.]

TIG-hitsauksessa valokaari palaa sulamattoman volfrاميةlektrodin ja työkappaleen välillä. Hitsattavaan perusaineeseen muodostuu hitsisula, jota valokaaren lämpö sulattaa. Hitsaustapahtumaa ja elektrodin kärkeä suojaa inertti suojakaasu, jona käytetään argonia tai heliumia. [3, s. 197.]

TIG-hitsauksessa tarvittava lisäaine syötetään toisella kädellä valokaareen ja toinen käsi kuljettaa hitsainta (kuva 1). TIG-hitsaus suoritetaan yleensä samaan tapaan kuin kaasuhitsaus. TIG-prosessilla voidaan myös lämmittää ja hitsata sulattamalla perusainetta ilman lisäainetta. [2, s. 249.]



Kuva 1. TIG-hitsauksen periaate [3, s. 197]

2.1 TIG- hitsauksen käyttökelpoisuus



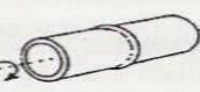


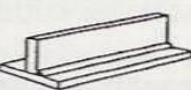

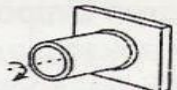
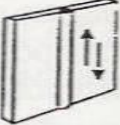
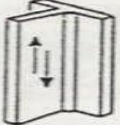






TIG-hitsausta käytetään yleisesti vaativien putkistojen hitsauksiin sekä korjaushitsauksiin. Käyttöalue alkaa noin 0,1 mm:n ainepaksuudesta lähtien. Yleisemmin ainepaksuudet ovat 0.5 - 6.0 mm. [2, s. 256.]

TIG-hitsaus soveltuu lähes kaikkien metallien hitsaukseen [2, s. 256]:

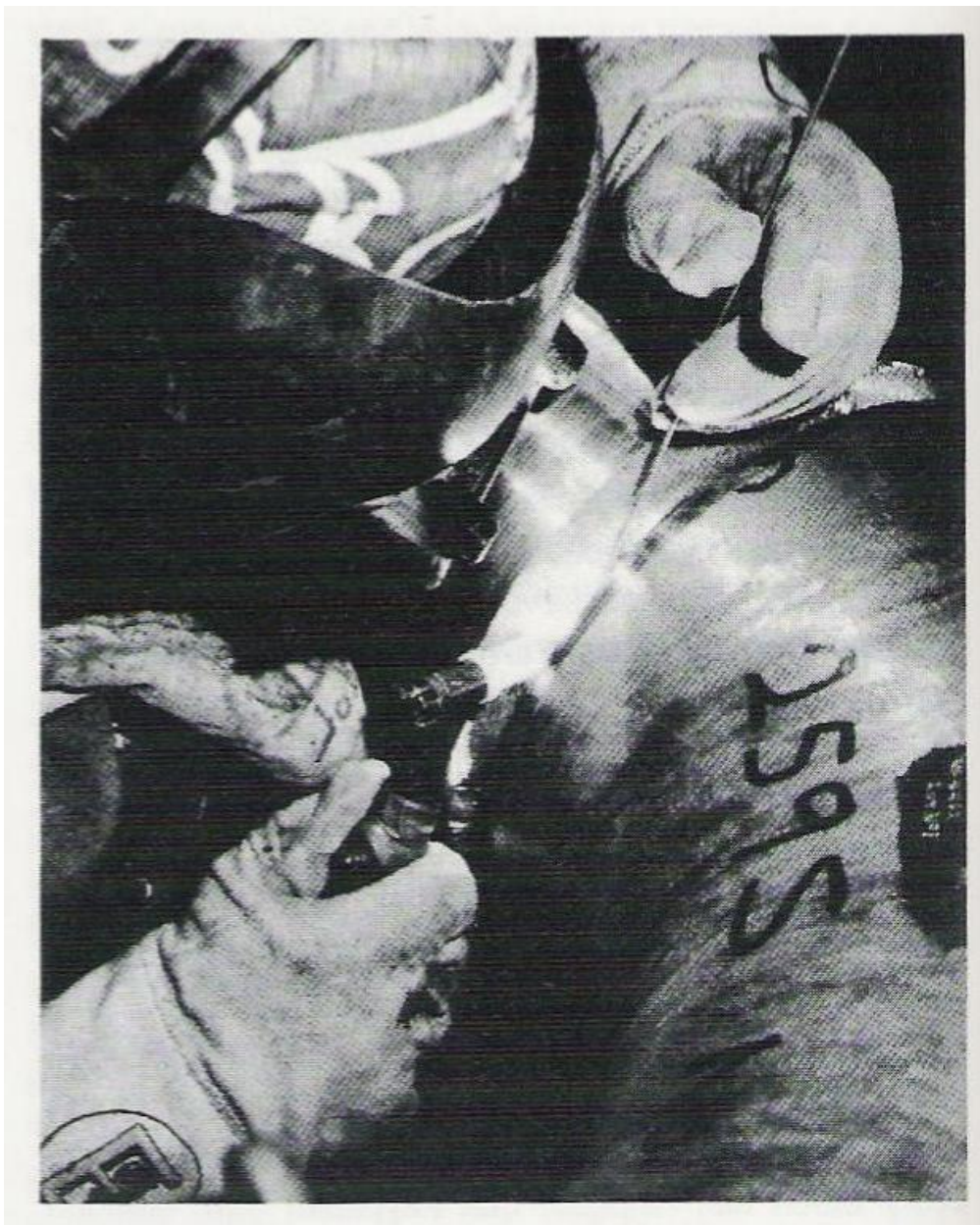
- § niukkaseosteiset ja runsasseosteiset teräkset
- § alumiinit
- § kuparit
- § nikkelit
- § titaanit
- § magnesiumit

TIG-hitsausta voidaan käyttää myös kaikissa hitsausasunnoissa (taulukko 1), sille ominaisen hitsisulan hyvän hallittavuuden ansiosta. Käyttöalue alkaa 0,1 mm:stä ylöspäin. Yleiseisimmät aineenpaksuudet ovat 0.5 - 6.0 mm. [2, s. 249.]

Taulukko 1. Hitsausasentojen tunnukset (SFS-EN ja AWS mukaan) [2, s. 53]

Päittäisliitos	Pienaliitos	Putkenhitsaus	Pienaliitos
 AWS: 1G EN: PA	 AWS: 1F EN: PA	 AWS: 1G EN: PA	 AWS: 2F EN: PB
 AWS: 2G EN: PC	 AWS: 2F EN: PB	 AWS: 2G EN: PC	 AWS: 2F EN: PB
 AWS: 3G EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	 AWS: 3F EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	 AWS: 5G EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	 AWS: 5F EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)
 AWS: 4G EN: PE	 AWS: 4F EN: PD	 AWS: 6G EN: H-L045	 AWS: 4F EN: PD

TIG-hitsauksen hyvä sulan ja tunkeuman hallinta perustuu siihen, että valo-kaari ja lisäaineen tuonti ovat erillään toisistaan (kuva 2). Lisäksi voidaan käyttää vain muutamien ampeerien hitsausvirtaa. [2, s. 249.]



Kuva 2. Paksuseinäjäisen ruostumattoman putken TIG-hitsausta [2, s. 256]

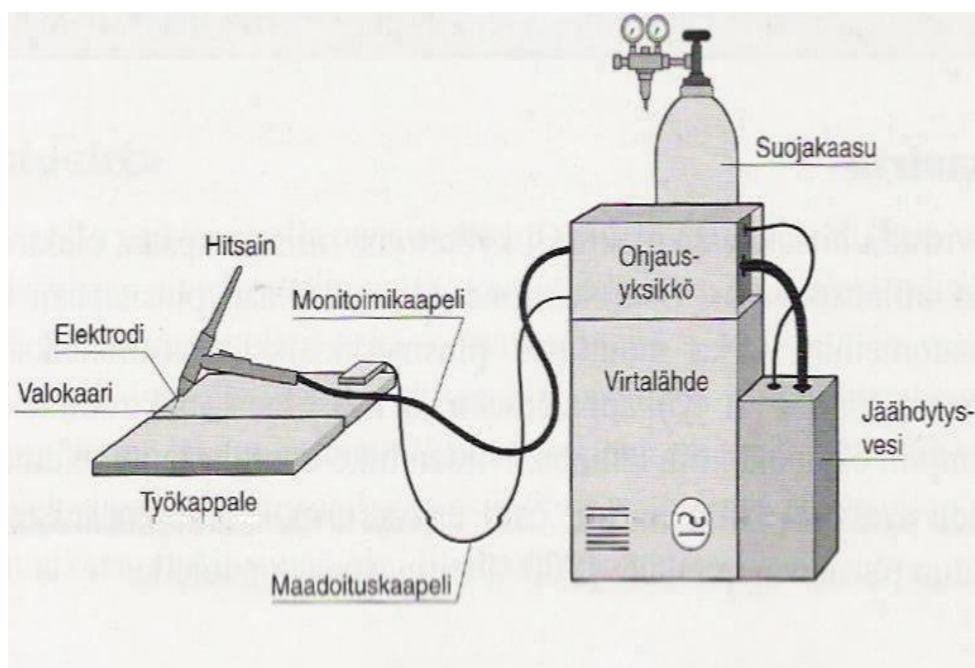
Näiden ominaisuuksiensa vuoksi TIG-menetelmä on ylivoimainen hitsatessa pohjapalkoja tai ohuita aineenpaksuuksia verrattuna muihin hitsausprosesseihin. [3, s. 198.]

2.2 TIG-hitsauslaitteisto

TIG-hitsauslaitteisto (kuva 3) muodostuu:

- § virtalähteestä
- § ohjausyksiköstä ja suurtaajuuslaitteesta
- § hitsauspolttimesta ja poltinkaapelista
- § maattokaapelista
- § suojakaasulaitteistosta

Laitteistoon asennetaan lisäksi jäähdytysveden kiertolaite vesijäähdytteisine hitsaimineen kun hitsataan suurilla, yleensä yli 150 - 200A:n virroilla [3, s. 199].



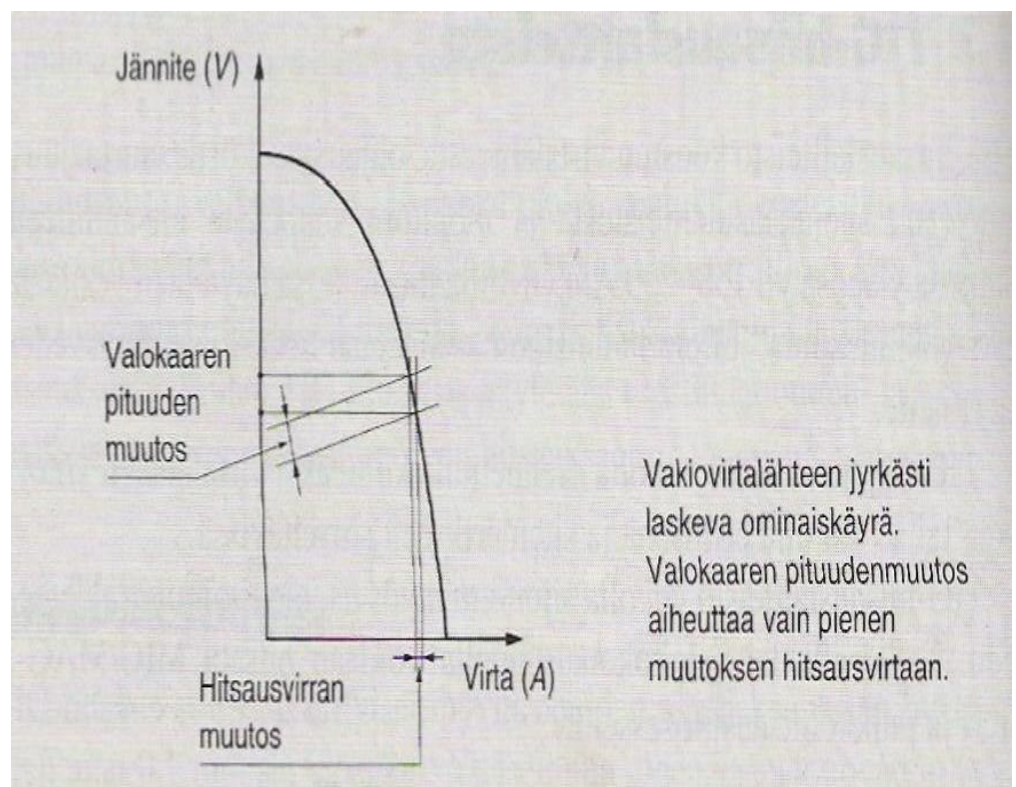
Kuva 3. TIG-hitsauslaitteisto [3, s. 199]

TIG-ohjausyksikkö voi olla erillisenä virtalähteestä ja siten erikseen siirrettävissä tai kiinteäksi asennettuna virtalähteen yhteyteen. Laitteisto voi olla sijoitettu myös ns. monivirtalähteeseen, jolla voidaan hitsata MIG/MAG-, TIG ja puikkohitsausprosesseilla. [2, s. 258.]

Virtalähteet

TIG-hitsauksen virtalähde voi olla joko tasasuuntaaja, josta saadaan tasavirtaa (DC), tai muuntaja josta saadaan vaihtovirtaa (AC). TIG-hitsauslaite voi olla varustettu myös kaksoisvirtalähteellä (AC/DC), josta saadaan katkaisijaa kääntämällä valittu virtalaji. [2, s. 259.]

TIG-hitsaukseen käytettävää virtalähdettä kutsutaan vakiovirtalähteeksi, jonka ominaiskäyrä on jyrkästi laskeva (kuva 4). Valokaaren pituuden vaihtelee käsinhitsauksessa helposti ja näin jyrkästi laskeva ominaiskäyrä aiheuttaa vain pieniä muutoksia hitsausvirrassa. [3, s. 200.]



Kuva 4. Vakiovirtalähteen ominaiskäyrä [3, s. 200]

2.3 TIG- hitsauksen suojakaasut

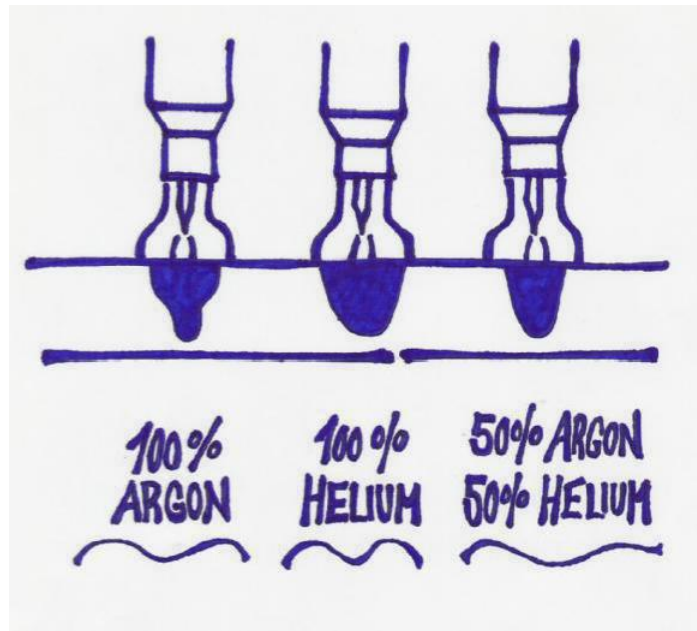
Suojakaasun perustehtävänä on suojata hitsisulaa, jäähtyvää hitsiä ja volfrاميةlektrodiä ilman hapettavalta vaikutukselta. Suojakaasuvaihtoehdot rajoittuvat volfrاميةlektrodin kestävyysvuoksi ainoastaan inertteihin eli argoniin ja heliumiin tai näiden seoksiin. [3, s. 213.]

Eri suojakaasuilla on hyvin erilaisia kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia, joita käytetään hyväksi hitsauksessa sekoittamalla niitä keskenään (taulukko 2). Yleisimmin käytetty suojakaasu TIG- hitsauksessa on argon. Sen suo- jausteho ilmaa raskaampana kaasuna on hyvä. Valokaari palaa vakaasti ja syttyy hyvin. [4, s. 16 - 17.]

Taulukko 2.. Suojakaasujen edut eri metalleilla TIG-hitsauksessa [5, s. 5]

Metalli	Suojakaasu	Edut
Hiiliiteräs	Argon	Pitempi elektrodin kestoikä, kaaren sytyttäminen helppoa, pienemmät virtausmäärät kuin Helium-Argon-seoksilla.
	Helium-Argon	Suuremmat hitsausnopeudet ja suurempi tunkeuma.
Ruostumaton teräs	Argon	Tunkeuma on pieni, mikä mahdollistaa ohutlevyjen hitsauksen.
	Helium-Argon	Suuremmat hitsausnopeudet ja suurempi tunkeuma.
	Argon-Vety (maksimi 5 % H ₂)	Sula kasvaa ja tunkeuma lisääntyy, pienemmät virtausmäärät.
Titaani	Argon	Pieni virtausmäärä vähentää pyörteitä ja ilman sekoittumista suojakaasuun.
	Argon-Helium	Suurempi tunkeuma.
Alumiini	Argon	Paras pinnanpuhdistusvaikutus hitsattaessa vaihtovirralla.
	Helium	Suurempi hitsausnopeus ja syvämpi ja kapeampi tunkeuma, kun hitsataan pistooli kytkettynä miinusnapaan.
	Helium-Argon	Pienemmät virtausmäärät ja pienempi tunkeuma kuin edellä. Parempi kaaren syttyminen.

TIG-hitsauksessa suurempi tunkeuma on mahdollista saada aikaan käyttämällä heliumia (kuva 5), yleensä Ar+He -seoskaasuna. Heliumille on myös ominaista argonia suurempi kaarijännite ja lämmöntuonti. Tätä heliumin ominaisuutta voidaan hyödyntää suurempana hitsausnopeutena ja tunkeutena sekä matalampana hitsauspalkona. [4, s. 17.]



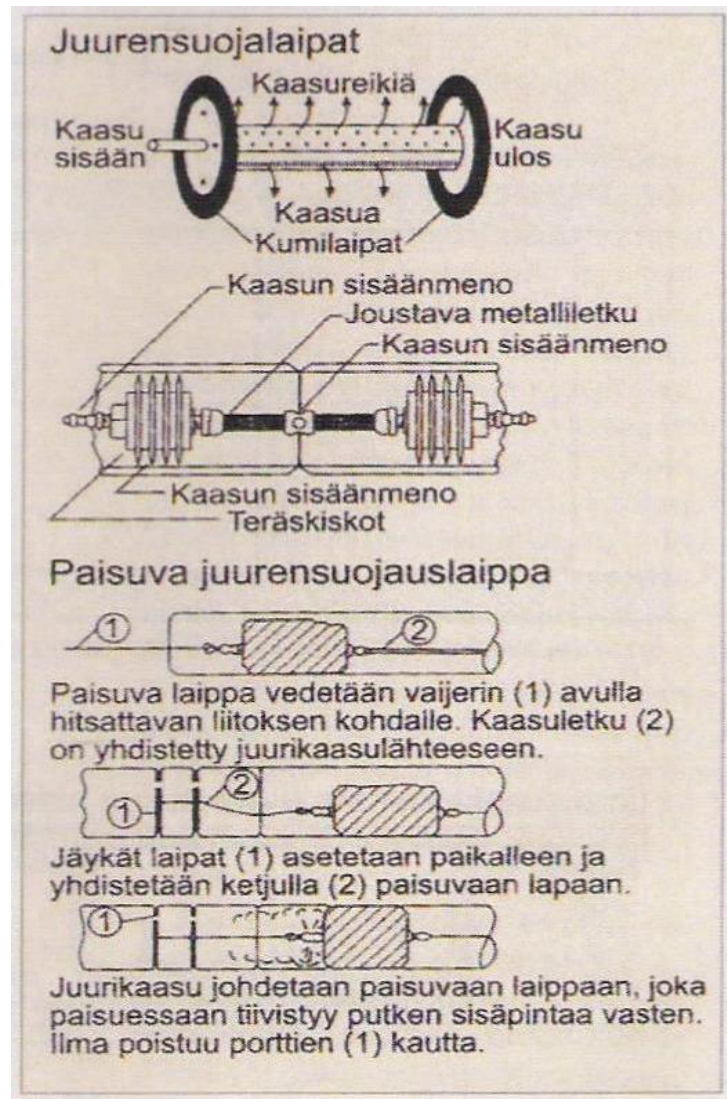
Kuva 5. Tunkeuman muoto argonilla ja heliumilla [4, s. 17]

Heliumilla miinuspuolena argoniin nähden on heikommat hitsaustekniset ominaisuudet suojausvaikutuksen, valokaaren stabiiliuden ja syttymisen osalta. Sekoittamalla argonia ja heliumia keskenään voidaan käyttää kummankin kaasun antamia etuja hyväksi. [6, s. 67.]

2.3.1 Juurensuojaus

Tig-hitsauksessa juurensuojauksen tarkoituksena on estää kuumen teräspinnan hapettuminen juuren puolelta. Kaasusuuttimen ohjaama suojakaasu suojaa hyvin hitsauspuolelta hitsisulaa, mutta juuren puolelle se ei riitä. Kun huolehditaan hitsauksen aikana juurenpuolen suojauksesta, niin hitsistä saadaan tasainen ja sileä. [3, s. 215.]

Pienet putket ja putkistot voidaan täyttää koko pituudeltaan suojakaasulla, mutta suurissa putkissa kaasu rajataan usein hitsauskohdan alueelle. Siihen käytetään erilaisia sulkulaippoja (kuva 6), jotka voidaan vetää hitsauksen jälkeen putken toisesta päästä pois. [3, s. 216.]

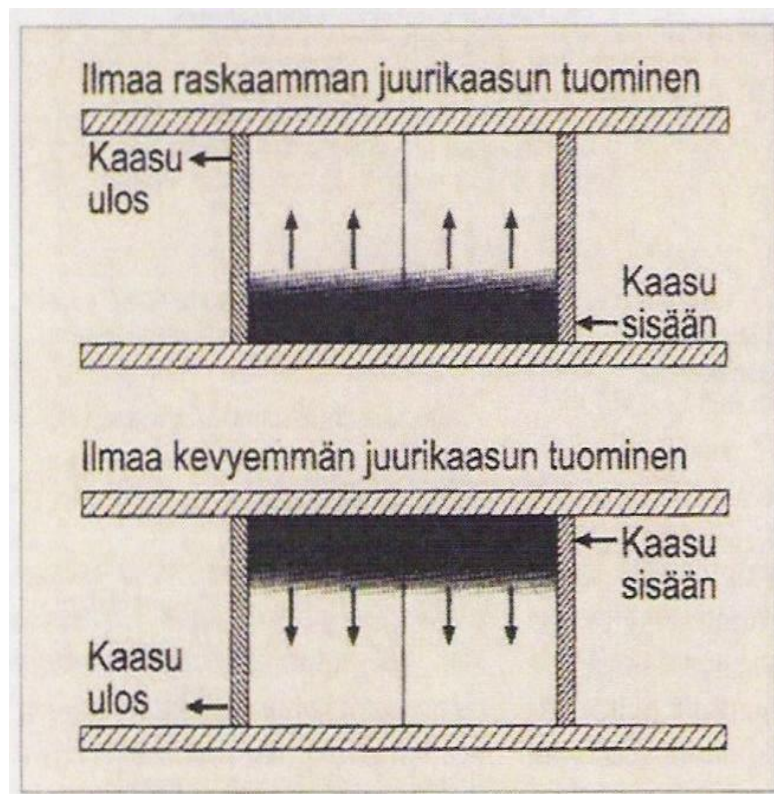


Kuva 6. Erilaisia putkien juurensuojausjärjestelyitä [6, s. 7]

Yleisimmin juurensuojauksessa käytetään kaasuna argonia, joka soveltuu kaikkien perusaineiden suojaukseen. Formier- kaasua joka sisältää typpeä 88 % ja vetyä 12 %, voidaan käyttää seostamattomien, niukkaseosteisten terästen ja runsasseosteisten austeniittisten terästen hitsaukseen. [3, s. 217.]

2.3.2 Juurikaasun virtaus

Tuodessa juurikaasu suojattuun tilaan, on otettava huomioon sen tiheys ilmaan verrattuna (kuva 7). Argon ja argon-vety seokset ovat ilmaa raskaampia ja ns. formier-kaasut eli typpi-vety-seokset ovat ilmaa kevyempiä. Käytettäessä raskaampia kaasuja tuodaan ne suljettuun tilaan toisen sulkulaipan alaosan kautta. Toiseen sulkulaippaan tehdään yläosaan ilmanvaihtoreikä. [2, s. 267.]



Kuva 7. Juurikaasun tuontitapaan vaikuttaa sen keveys [7, s. 8]

Tehokkaan juurensuojauksen edellytyksenä on, että kohteesta poistetaan ilma ennen hitsauksen aloittamista. Juurikaasulla huuhdellaan hitsattava kohde ja näin ilma syrjäytetään tai laimennetaan. [7, s. 8.]

Huuhteluajan eli kaasutuksen pituus riippuu huuhdeltavan alueen tilavuudesta, juurikaasun virtausmäärästä ja tilavuuden vaihtokertojen lukumäärästä. Tilavuuden vaihtokertojen lukumäärä ilmoittaa, kuinka monta kertaa suojattavan tilan ilman ja suojakaasun seos vaihdetaan ennen kuin ollaan valmiit aloittamaan hitsaus. [3, s. 219.]

Suosittelava tilavuuden vaihtokertojen määrä on yleensä 4 - 10 kertaa. Siihen vaikuttavat mm. putken halkaisija, ilmaraon suuruus ja suojausjärjestelyt. [7, s. 9.]

Tarvittava huuhtelu-aika saadaan laskemalla, kun kerrotaan hitsattavan putken tilavuus tilavuuden vaihtokertojen määrällä ja jaetaan se juurikaasunvirtauksella (l/min). Taulukossa 3 nähdään siitä esimerkki.

Taulukko 3. Huuhteluajan esimerkki [7, s. 9]

Putken sisähalkaisija	132 mm
juurikaasutilan pituus	500 mm
juurikaasutilan tilavuus	7 l
juurikaasun virtaus	10 l/min
tilavuuden vaihtokertojen määrä	5
HUUHTELUAIKA: $7 \times 5 / 10 =$	3,5 min

Kaasun virtausmäärää pienennetään putkessa hitsauksen ajaksi niin, että sinne saadaan jäämään hyvin pieni ylipaine. Jos ylipaine jää liian suureksi, on vaarana että se nostaa hitsisulaa ja aiheuttaa näin juurivirhettä tai jopa puhalttaa sulan ylös railosta. Sopiva kaasunvirtaus on huuhteluajan jälkeen noin 2 - 3 l/min. Juurikaasun virtausta on kuitenkin jatkettava hitsauksen jälkeen jonkin aikaa, koska liitoskohdan lämpötila pysyy oksidoitumislämpötilaa korkeampana. [7, s. 9.]

Ruostumattomilla ja haponkestävillä teräksillä suoja-kaasun virtauksen voi lopettaa, kun putken seinämän lämpötila on laskenut alle 250 °C [7, s. 7].

2.3.3 Ruostumattomien teräsputkistojen juurensuojaus

Ruostumattomien teräsputkistojen TIG-hitsauksessa laiminlyöty juurensuojaus saa aikaan teräksen hapettumisen (kuvat 8 ja 9). Ruostumaton teräs hapettuu helposti, koska se sisältää seosaineena runsaasti kromia, jolla on voimakas taipumus reagoida hapen kanssa. Hapettunut pinta heikentää teräksen korroosiokestävyyttä oleellisesti. [7, s. 5.]

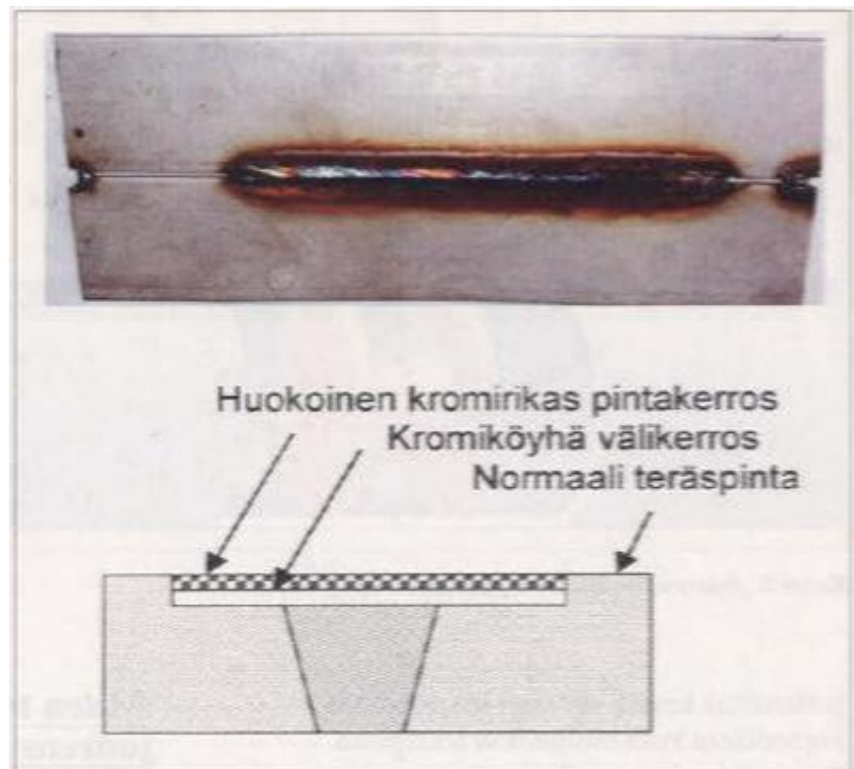


Kuva 8. Ruostumattoman teräksen hapettunut putki.



Kuva 9. Juurikaasulla suojattu kirkaspintainen hitsi.

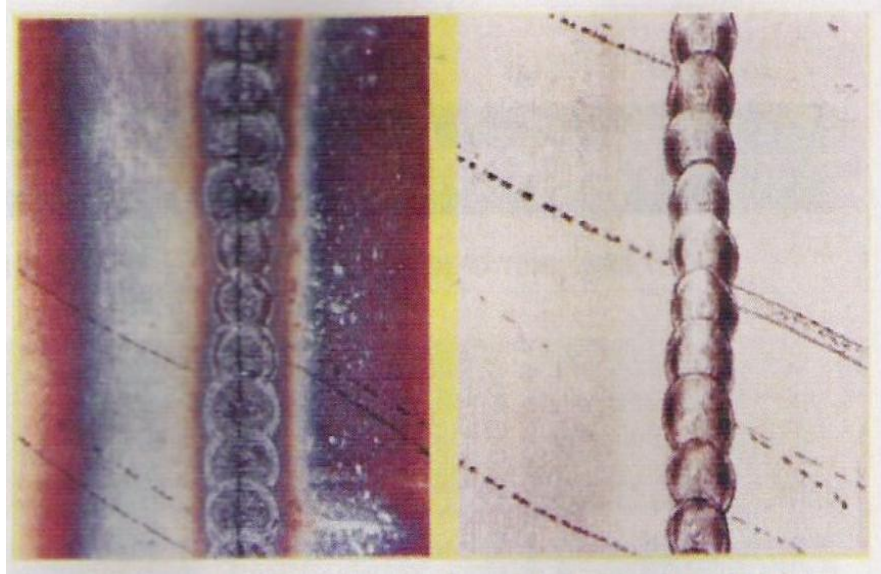
Ruostumattoman teräksen korroosionkestävyys perustuu sen pinnalle muodostuvaan erittäin ohueen kromioksidikalvoon, joka kohoaa suojaamattomana kromista hitsauksen yhteydessä korkeissa lämpötiloissa (kuva 10). Tuloksena pintaan muodostuu huokoinen kromirikas pintakerros, johon siirtyy kromia alla olevasta metallista. Siihen syntyy puolestaan kromiköyhä vyöhyke. [7, s. 5.]



Kuva 10. Hitsausliitoksen hapettunut pinta ja sen rakenne [7, s. 5]

Ruostumattoman teräksen hapettunut pinta heikentää teräksen korroosiokestävyyttä erityisesti pistekorrosiota aiheuttavassa kloridipitoisissa ympäristöissä. Syöpymäkohdat voivat kasvaa nopeasti läpi teräspinnan jopa muutamassa viikossa ja aiheuttaa vuotoja. [7, s. 5.]

Juurikaasu auttaa myös TIG- hitsauksessa juuren puolen muotoutumisessa ja virheettömyydessä. Puutteellisen juurensuojauksen seurauksena saadaan aikaan usein vajaa tunkeuma ja juurivirhe (kuvat 11 ja 12). Juurenpuolella nähdään kuvassa 11 jatkuva juurivirhe, koska voimakas railon reunojen ja särmien oksidoituminen on estänyt sulien yhtymisen. [7, s. 9.]



Kuva 11. A) Suojaamattoman juurenpuolen jatkuva juurivirhe B) Suojatun juuren puhdas pinta [7, s. 9]



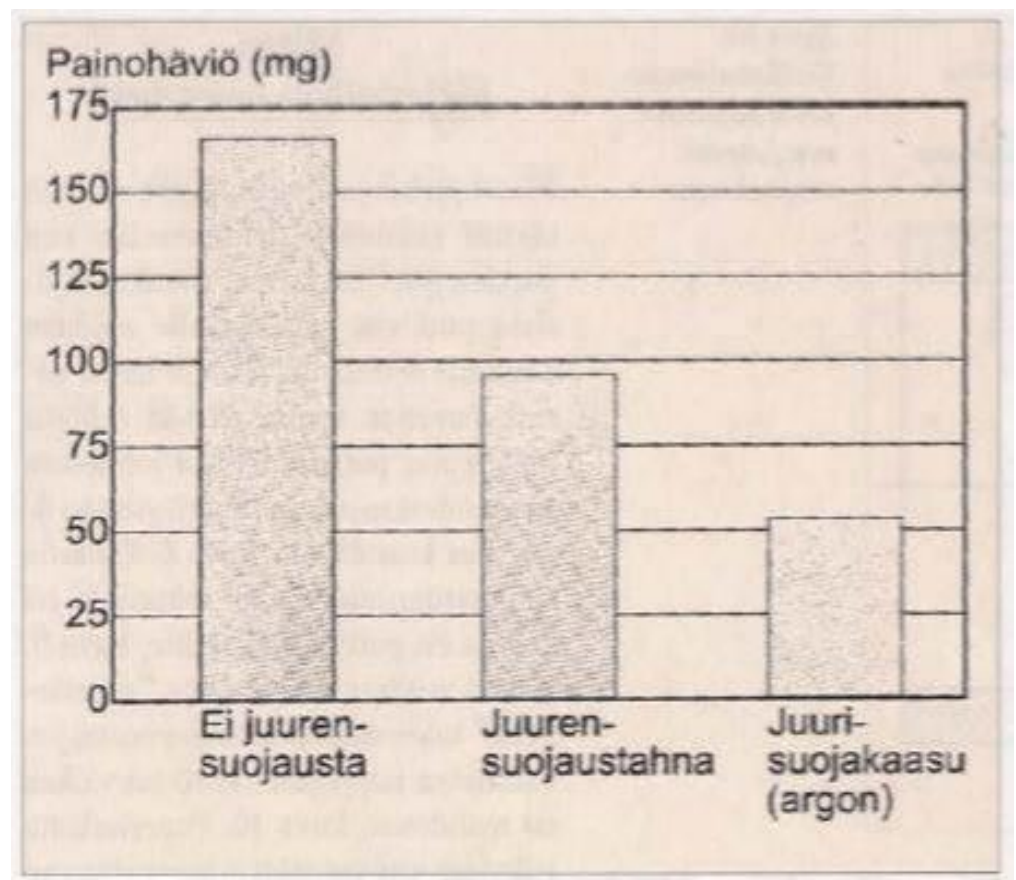
Kuva 12. Ruostumattoman teräsputken sisältä kuvattu juurenpuoli, jossa nähdään juurensuojauksen puuttumisen vuoksi muodostunut kromiköyhä hapettunut teräspinta ja puutteellinen juurisärmien yhteen sulautuminen.

2.3.4 Juuritahna

Juurensuojaus käyttäen juurikaasua voi olla joskus vaikea järjestää esim. asennustyömaan puutteellisen työnsuunnittelun vuoksi. Tällöin voidaan käyttää juuritahnaa, jota sivellään putkien päiden sisäpintoihin ennen putkien päiden sovittamista hitsausta varten. Juuritahna muodostaa juurenpuolelle piikkohitsauksen kuonaa vastaavan suojaavan kuonakerroksen reagoidessaan hitsauslämmön kanssa. [7, s. 7.]

Juurikaasun vaihtoehdoksi juuritahna ei kuitenkaan sovellu, mutta parantaa oleellisesti korroosiokestävyyttä verrattuna suojaamattomaan juureen [7, s. 7].

Tulosten mukaan (kuva 13), korroosionkestävyys paranee karkeasti ilmaisuna seuraavilla suhdeluvuilla: 4 (ilman suojausta), 2 (suojaus tahnalla) ja 1 (suojaus juurikaasulla).



Kuva 13. Erilaisten juurensuojaustapojen vaikutus AISI 316L:n putkihitsissä ja ASTM G-48A:n mukaisessa korroosiokeksessä [7, s. 7]

2.4 Elektrodit

Elektrodi on metallipuikko, joka on valmistettu volframijauheesta sintraamalla. Sen tehtävänä on toimia valokaaren sulamattomana toisena napana. Volframin sulamispiste on korkeimpia kaikista metalleista eli noin 3390 °C, jonka vuoksi se soveltuu erinomaisesti elektrodin materiaaliksi. [2, s. 260.]

Seostamalla volframiin erilaisia maametallien oksideja, mm. torium-, zirkonium-, lantaani- ja ceriumoksideja, voidaan vaikuttaa elektrodin muihinkin ominaisuuksiin. Näitä ovat virrankestävyys, hyvä valokaaren syttyvyys, vakaat valokaari ja pitkä kestoikä. [2, s. 261.]

Toriumseosteisia volframielektrodeja käytetään pääasiassa tasavirtahitsaukseen, kun taas zirkoniumseosteisia käytetään vaihtovirtahitsaukseen. Lantaaniseosteiset volframielektrodit soveltuvat kummankin virtalajin hitsaukseen. Yleisin volframilaji on 2%- toriumseosteinen (WT20) (taulukko 5) [4, s. 18.].

Taulukko 4. Elektrodien laatu ja väritunnukset. [3, s. 211]

Tunnusmerkki	Väritunnus	Seosaine	Seos-määrä %
WP	vihreä	-	0
WT10	keltainen	torium	1
WT20	punainen	torium	2
WT40	oranssi	torium	4
WT50	sininen	torium	5
WZ4	ruskea	zirkonium	0,4
WZ8	valkoinen	zirkonium	0,8
WL10	musta	lantaani	1

Elektrodin halkaisija riippuu hitsausvirran suuruudesta ja virtalajista. Liian korkea virta aiheuttaa elektrodin vaurioitumista ja sulamista ylikuumentamisen vuoksi. Liian pieni virta taas tekee valokaaresta epäsäännöllisen ja epävakaa. Vaarana tällöin on volframihiukkasten joutuminen hitsiin. [4, s. 18.]

Taulukosta 6 nähdään Standardin SFS-EN 26848 suositukset virta-alueiksi virtalajin ja elektrodin mukaan [4, s. 19].

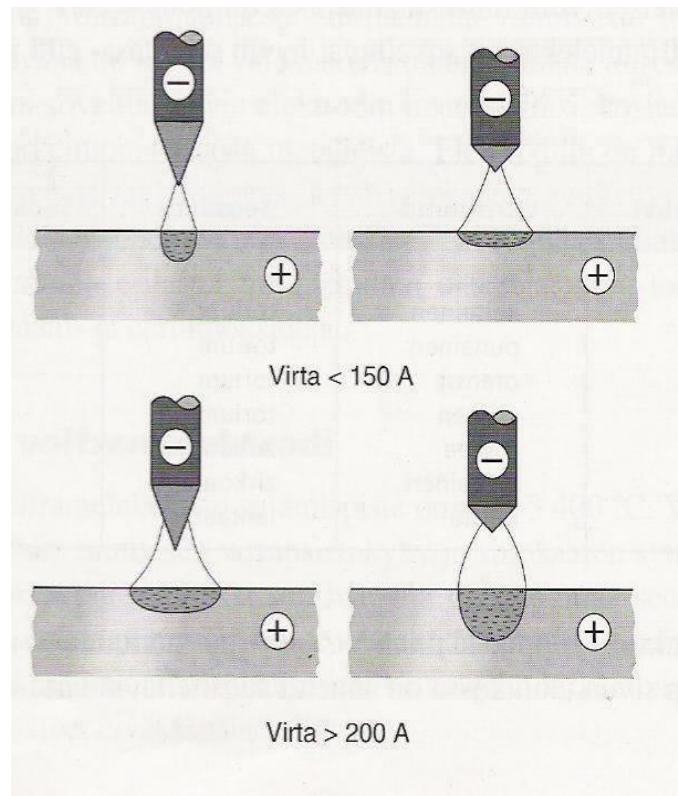
Taulukko 5. Elektrodeille suositeltavat hitsausvirta-alueet /SFS-EN 26848/ [2, s. 212]

Elektrodin halkaisija mm	Tasavirta DC- (A)		Tasavirta DC + (A)		Vaihtovirta AC (A)	
	Puhdas volframi	Seostettu volframi	Puhdas volframi	Seostettu volframi	Puhdas volframi	Seostettu volframi
0,5	2- 20	2- 20	-	-	2- 15	2- 15
1,0	10- 75	10- 75	-	-	15- 55	15- 70
1,6	40-130	60-150	10- 20	10- 20	45- 90	60-125
2,0	75-180	100-200	15- 25	15- 25	65-125	85-160
2,5	130-230	170-250	17- 30	17- 30	80-140	120-210
3,2	160-310	225-330	20- 35	20- 35	150-190	150-250
4,0	275-450	350-480	35- 50	35- 50	180-260	240-350
5,0	400-625	500-675	50- 70	50- 70	240-350	330-460
6,3	550-875	650-950	65-100	65-100	300-450	430-575

2.4.1 Elektrodin kärjen muoto ja teroitus

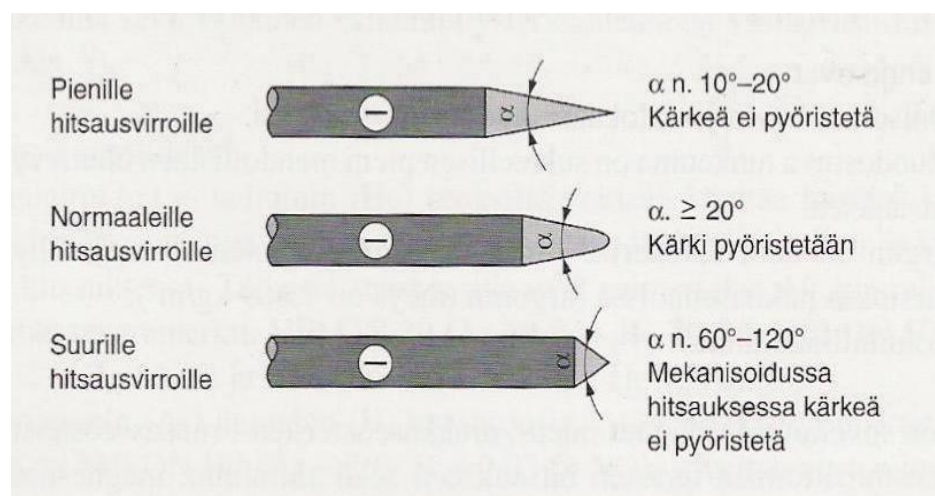
Halutun hitsaustuloksen saamiseksi on elektrodin kärjen muodolla suuri vaikutus. Kärkikulma vaikuttaa tunkeuman suuruuden ja hitsin leveyden ohella myös valokaaren kohdistumisen tarkkuuteen. Mitä korkeampaa hitsausvirtaa käytetään, sitä suurempaa kärkikulmaa pitää käyttää. Teräväksi teroitettulla elektrodilla saadaan kapea ja syvä tunkeuma, mutta samalla sen virrankestävyys huononee. [2, s. 261.]

Elektrodin kärki hiotaan aina kartiomaiseksi, kun hitsataan tasavirralla elektrodin miinusnavassa. Teroitetulla elektrodilla valokaari palaa vakaasti ja kaaren lämpöenergia keskittyy hitsauskohtaan. Kärkikulman suuruus vaikuttaa hitsin tunkeumaan ja leveyteen (kuva 14), joka on erilainen pienillä ja suurilla virran voimakkuuksilla. [8, s. 66.]



Kuva 14. Elektroodin kärkikulman vaikutus hitsin tunkeumaan ja leveyteen [3, s. 212]

Elektrodin pienet kärkikulmanvaihtelut eivät ole käsinhitsauksessa kovin merkittäviä, koska valokaaren pituus, kuljetusnopeus ja hitsaimen kohdistuminen silloin hieman vaihtelevat. Kuvassa 15 on ohjearvot elektroodin teroitukseen käsin- ja mekanisoitua hitsausta varten. [8, s. 66.]












Kuva 15. Elektroodin kärkikulman ohjearvoja [3, s. 213]

Pääasiassa elektrodin kärkikulman suuruuteen vaikuttaa hitsausvirta. Mitä korkeampaa hitsausvirtaa käytetään, sitä suurempi kärkikulman täytyy olla. [4, s. 18.]

Elektrodin kärki valmistetaan yleensä hiomalla. Pinnasta ei saa tulla liian karkea ja hionta suoritetaan pituussuuntaan. Hitsatessa pienillä virroilla, pinnan tasaisuus ja naarmuttomuus korostuvat. [3, s. 213.]

Vaihtovirralla hitsatessa elektrodin kärki hiotaan usein noin 45 asteen kartioksi, joka on kärjestään tylppä. Elektrodin kärki palloutuu vaihtovirtahitsauksessa puolipallon muotoiseksi, kun virta on sopivan suuruinen. Kärjen palloutumisesta voidaan päätellä hitsausvirran sopivuus käytetylle puikkokokoolle ja -seokselle (kuva 16). [2, s. 262.]

Virta-laji	Puikko	Virta		
		Liian alhainen	Oikea	Liian korkea
=	Thorium-pitoinen			
	Puhdas volframi			
~	Thorium-pitoinen			

Kuva 16. Elektrodin kärjen palloutuminen. [8, s. 66]

Hitsausvirran ollessa liian pieni, valokaari on epävakaa eikä se suuntaudu hitsauskohtaan. Liian suurella virralla elektrodi kuluu ja seostuu hitsiin. [8, s. 66.]

2.4.2 Elektroodin merkitys mekanisoidussa TIG-hitsauksessa

Mekanisoidussa TIG-hitsauksessa elektroodin merkitys on yhtä suuri kuin muidenkin hitsausparametrien. Vaikuttavia tekijöitä ovat elektroodin halkaisija, koostumus ja kärjen teroitusmuoto. Mekanisoidussa TIG-hitsauksessa onkin tärkeitä pitää elektroodin muoto samana samanlaisissa hitsauskohteissa ja näin minimoida muuttujat. [4, s. 19.]

Elektrodimateriaali vaikuttaa myös hitsaustapahtuman luonteeseen (taulukko 6). Kukin elektrodimateriaali vaatii oman hienosäätönsä, millä minimoidaan hitsausvirheiden mahdollisuus. Aiheellista onkin kirjata elektroodin muoto ja materiaali hitsausohjeeseen, koska sitä voidaan pitää oleellisena muuttujana menetelmässä. [8, s. 11.]

Taulukko 6. Elektroodin kärjen muodon vaikutuksia [4, s. 19]

Terävämpi elektrodi eli kärkikulma on pienempi
lyhyempi kestoikä
pienempi tunkeuma
leveämpi kaari
kestää virtaa vähemmän
kaari vaeltaa vähemmän
Tylpempi elektrodi eli kärkikulma on suurempi
pidempi kestoikä
suurempi tunkeuma
kapeampi kaari
kestää virtaa enemmän
kaari vaeltaa enemmän
Pienempi elektroodin halkaisija:
helpompi kaaren syttyminen
kaari vaeltaa vähemmän
lyhyempi kestoikä
pienempi tunkeuma
Suurempi elektroodin halkaisija:
vaikeampi kaaren syttyminen
kaari vaeltaa enemmän
pidempi kestoikä
suurempi tunkeuma

2.5 Lisäaineet

TIG-hitsauslangat ovat suoria määräpituisia lankoja, joiden pituus on yleensä 1000 mm ja halkaisijat 1.6, 2.0, 2.4, ja 3.2 mm (kuva 17). Valmistus tapahtuu valssilangasta vetämällä, oikaisemalla ja katkomalla. [3, s. 220.]



Kuva 17. TIG-hitsauslisäainelankoja valmistajan pakkauksissa.

Hitsauslankojen koostumukset vastaavat yleensä MIG/MAG-hitsauslankojen koostumuksia. Mekanisoidussa TIG-hitsauksessa voidaan käyttää kelalla olevaa hitsauslankaa (kuva 18). [2, s. 263.]

Kaasuhiuksessa käytettävät lisäaineet eivät TIG-hitsaukseen sovellu, koska ne aiheuttaisivat hitsiin huokoisuutta tiivistysaineiden liian pienen määrän vuoksi. TIG-hitsistä saadaan riittävän tiivis, kun lisäainelankaan on seostettu piitä (Si) ja mangaania (Mn) noin 0,6 - 1,1 % sitomaan happea. [3, s. 220.]



Kuva 18. Mekanisoidun TIG-hitsauksen langansyöttölaite ja kelalla oleva hitsauslisäaine.

Perusaineen paksuus ja ilmaraon suuruus vaikuttavat siihen, kuinka paksu lisäaine on valittava (taulukko 7) [8, s. 70].

Taulukko 7. Lisäaineen halkaisijan valinta perusaineen paksuuden mukaan [3, s. 222]

Perusaineen paksuus t/mm	1–2	3	4	5
Lisäaineen halkaisija d/mm	1,6	2,4	2,4–3,2	2,4–3,2

Lisäaineen ollessa liian paksu, sen sulattaminen sitoo liikaa valokaaren lämpöä ja vaarantaa hitsin laadun. Liian ohuella lisäaineella vaarana on hitsipalon jääminen vajaaksi, ja syntyy helposti reunahaavoja sen vaatiman suuren syöttönopeuden vuoksi. [6, s. 55.]

2.5.1 Lisäaineen valinta

TIG-hitsauslisäaineen valinnassa on tavoitteena löytää taloudellisesti edullisin lisäaine, jolla saadaan laatuvaatimukset täyttävä hitsi [6, s. 55].

Tärkeimmät lisäaineiden valinnassa huomioon otettavat seikat ovat seuraavat:

1. Lisäainelangan valintaperuste on perusaineen *koostumus*. TIG-menetelmän etuna on se, ettei hitsauksessa tapahdu seosaineiden palamishäviöitä. Lisäaine onkin lähellä perusaineen koostumusta. Hitsauslisäaineeseen onkin lisätty piitä (Si) ja mangaania (Mn) hapen sitomiseksi. [8, s. 70.]
2. Lisäaineesta saatavien *mekaanisien ominaisuuksien*, lähinnä myötörajan ja iskutkeyden on oltava samanlaiset kuin perusaineella [6, s. 55].
3. Hitsattavan kappaleen käyttöolosuhteet täytyy huomioida. Varsinkin ruostumattomien ja haponkestävien teräksien hitsauksissa täytyy ottaa *korroosio* huomioon. Lisäaineena käytetään koostumukseltaan perusainetta vastaavia lisäaineita. [6, s. 55.]
4. *Lisäaineen paksuus* on valittava hitsattavan perusaineen paksuuden ja ilmaraon suuruuden mukaan. Lisäaineen ollessa liian paksu se alentaa sulan lämpöä ja vaarantaa hitsin laadun. Liian ohuella lisäaineella hitsaus vaikeutuu syöttönopeuden vuoksi. [8, s. 70.]

2.5.2 Lisäaineiden säilytys ja käsittely

- § Lisäainelankojen käsittelyssä on noudatettava erikoista puhtautta ja ne on säilytettävä kuivassa huonetilassa valmistajan pakkauksissa. Lisäainelangat tulee ottaa käyttöön vain tarvittava määrä kerrallaan. [6, s. 55.]
- § Langoissa ei saa olla pintavirheitä, joihin epäpuhtaudet voisivat tarttua. Lisäainelankojen tulee olla kirkaspintaisia, joko peitattuja tai kuparioituja. Mahdollinen ruoste, öljy tai muut epäpuhtaudet täytyy puhdistaa ennen lankojen käyttöön ottoa. [6, s. 55.]

Puhtaus on erittäin tärkeätä virheettömän hitsin saamiseksi. Epäpuhtaudet ja pintavirheet lisäainelangassa aiheuttavat huokosia hitsiin. [3, s. 222.]

3 PUTKIEN MEKANISOITU TIG-HITSAUS

Tuotannon mekanisointi ja automatisointi ovat olleet jo vuosia pysyvä kehityssuunta hitsauksessa käytettäessä sekä kevyitä kuljettimia että pitkälle kehitettyjä robottiratkaisuja. Hitsauksen mekanisoinnilla, erityisesti kevytmekanisoinnilla voidaan varsin pienin taloudellisin panoksin parantaa hitsauksen tehokkuutta, laatua ja työympäristöä.

TIG-hitsaus on yleisin menetelmä hitsattaessa kiinteäasentoisten paineenalaisten putkien päittäisliitoksia mekanisoidusti. Prosessilla pystytään näin vastaamaan hitsin sisäisen virheettömyyden lisäksi myös juuren ja kuvun mittaan, sekä muotoon kohdistuviin vaatimuksiin. [9, s. 3.]

Putkien mekanisoidussa liitoshitsauksessa voidaan erottaa kaksi pääryhmää [4, s. 13]:

1. pyörivän putken hitsaus eli kiinteäasentoinen (stationäärinen hitsaus), jossa putki on paikallaan ja putkea pyöritetään.
2. kiinteän putken hitsaus eli orbitaalihitsaus, jossa hitsauspää kiertää putken ympäri ja putki on paikallaan.

3.1 Pyörivän putken hitsaus

Putkistojen esivalmistus tapahtuu tavallisesti konepajalla tai vastaavissa olosuhteissa, joissa hitsattavia putkia voidaan pyörittää. Hitsaus voidaan suorittaa silloin vakioasennossa, yleensä jalkoasennossa (PA). Näin vältetään liikkuvalla polttimella vastaantulevat asentohitsausongelmat. [9, s. 2.]

Pyöritettävän putken hitsauksessa käytetään vakiohitsausparametrejä: hitsausvirta, kaarijännite ja pyöritys,- eli hitsausnopeus. Hitsaustapahtuma muistuttaa paljon levyjen liitoshitsausta. [4, s. 13.]

Hitsauksen mekanisoinnilla tavoitellaan tällaisessa tapauksessa tuottavuuden ja kapasiteetin kasvua sekä tuotannon lyhyempää läpimenoaikaa. Mekanisointilaite ei tarvitse elpymisaikaa niin kuin käsinhitsaaja, jolloin kaariaikahde on suurempi. [4, s. 12.]

Mekanisointi tuo myös mahdollisuuden käyttää tehokkaampia hitsausarvoja ja voidaan käyttää samanaikaisesti useita hitsauspäitä, joita valvoo sama operaattori. Mekanisoinnilla on myös muita vaikutuksia kuten laadun paraneminen ja työterveysriskien väheneminen [9, s. 2].

TIG-hitsauksen automatisoinnissa voidaan seuraavat toiminnot toteuttaa mekanoisoidusti [9, s. 2]:

- § liitettävien putkien keskitys
- § putkien keskitys ja kiinnitys
- § hitsaustyökalun ja siihen liittyvien varusteiden keskitys
- § liitettävien putkien pyöritys
- § hitsauslämmön ja -lisäaineen tuonti hitsauskohtaan

3.2 Kiinteän putken hitsaus

Putkistojen kokoonpanovaiheessa joudutaan hitsaamaan myös kiinteäasentoisten putkien liitoksia, jolloin mekanoisoidussa TIG-hitsauksessa hitsauslaite kulkee putken ympäri kulkuradallaan tai työkalussaan. Tätä putkihitsausta kutsutaan usein yleisellä orbiitalihitsaus. Tämä on jo huomattavasti vaativampi hitsaustapa ja hitsausta vaikeuttavat silloin erityisesti seuraavat tekijät [4, s. 14 - 15] :

- § hitsauspään on tehtävä ympyränmuotoinen hitsausliike
- § hitsausasento vaihtuu koko ajan vaaka-asentoisten putkien hitsauksessa
- § pystyasentoisten putkien hitsauksessa joudutaan hitsaamaan jatkuvasti vaaka-asennossa
- § hitsattavien putkien mitta- ja sovitusepätkäkerätyvät asennusliitoksiin
- § työympäristö voi olla hitsaukselle tai hitsaajalle epäedullinen

4 ORBITAALI-TIG-HITSAUS

Orbitaalihitsaus on puoliautomoisotua TIG-hitsausta, jossa hitsauspoltin kiertää kiinteän hitsattavan kappaleen, yleensä putken tai putkimaisen kappaleen ympäri ilman keskeytystä (kuva 19). Putki voi olla vaakasuorassa tai vinossa asennossa. [10, s. 1.]



Kuva 19. Orbitaalihitsausta käyttäen pihityökalua.

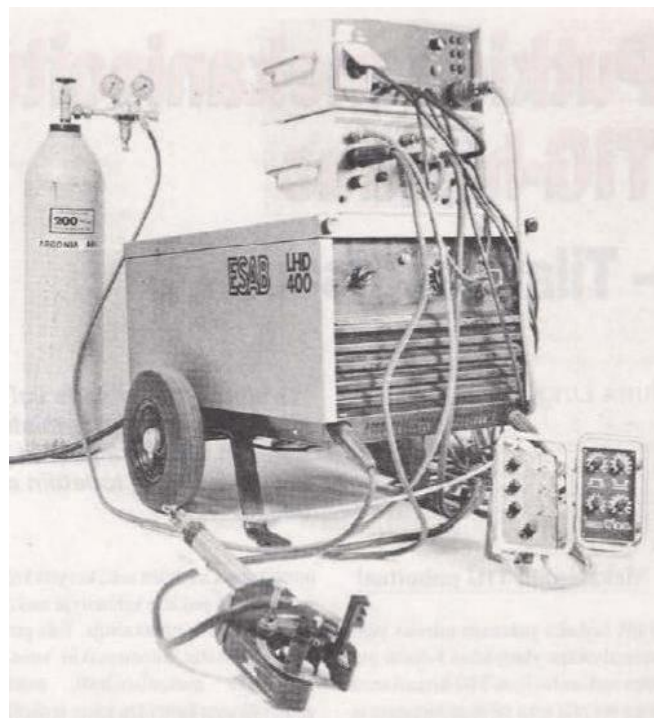
Tyypillinen TIG-orbitaalihitsauslaitteisto koostuu moottoroidusta putken ympäri pyörivästä hitsauspäästä sekä virtalähteestä, joka tuottaa hitsausvirran wolframielektrodin ja työkappaleen väliselle valokaarelle. Hitsauspää voi olla joko umpi- tai avopihti. Wolframielektrodi on kiinnitetty pyörivään osaan, jota käyttää pyöritysmoottori. [10, s. 1.]

Pyöritysliikkeen nopeutta, hitsauselektrodin asemaa ja hitsausparametrien suuruutta kontrolloi virtalähde. Hitsausparametrit voidaan ohjelmoida sopiviksi usealle ympyrän sektorille. Hitsisauman muutokset jotka johtuvat esimerkiksi hitsausasunnoista ja lämpötilavaihteluista, saadaan näin eliminoidua, ja varmistetaan hitsin tasaisesta laadusta. [10, s. 1.]

Virtalähteeseen tai tarvittaessa muistikortille voidaan tallentaa saavutettu hitsausohjelma, jolloin sitä voidaan tarvittaessa käyttää näin myös muissa virtalähteissä ja toistaa haluttaessa. Tallennettua ohjelmaa voidaan myös helposti muokata edelleen. Toistettavuudella saavutetaan kaikkien hitsattujen liitosten tasalaatuisuus. [10, s. 1.]

4.1 Historia

Putkien mekanisoitu TIG-hitsaus sai alkunsa orbitaalihitsauksena 1960 -luvulla Yhdysvalloissa, vastaamaan ilmailuteollisuuden tarpeeseen saada korkealaatuisia hitsejä hydraulikkaputkiin. Suomeen ensimmäiset orbitaalihitsauslaitteistot (kuva 20), tulivat 1970 -luvun alkupuolella. [4, s. 12.]



Kuva 20. TIG-orbitaalihitsauslaitteisto vuodelta 1973. [4, s.12.]

4.2 Edut ja hyödyt

Orbitaali-TIG-hitsausmenetelmän käyttöä on lisännyt laatuvaatimusten kasvu hitsauksen osalta ja se lisää sitä myös tulevaisuudessa. Orbitaali-TIG-hitsauksella saavutetaan seuraavia etuja. [10, s. 1.]

Laatu:

- § Orbitaalihitsauksella saavutettu laatu täyttää tiukimmat vaatimukset (kuva 21). Hitsin sisäinen ja ulkoinen laatu saadaan hitsausparametrien ohjelmoinnilla paremmaksi kuin käsinhitsauksessa, jonka ansiosta myös virheitä ja korjauksia on vähemmän. [4, s. 11.]



Kuva 21. Orbitaalihitsattu putken sisältä kuvattu laadukas hitsi.

- § Mekanisoidussa hitsauksessa lämmöntuonti on hyvin hallinnassa ja se pysyy hyvin kapealla alueella. Käsinhitsausta alhaisemman lämmöntuonnin ja prosessin nopeuden vuoksi myös perusaineen metallurginen rasitus jää alhaisemmaksi. Korkealaatuiset hitsit kestävät paremmin esimerkiksi jännitys- ja raerajakorroosiota. [10, s. 3.]

Toistettavuus:

- § Kun tietylle putkikoolle ja -materiaalille on tehty sopiva hitsausohjelma, niin samaa ohjelmaa voidaan käyttää rajattomasti [10, s. 3].
- § Automaatio eliminoi orbitaalihitsauksessa muuttuvuudet, epätarkkuudet, virheet ja viat, joita käsinhitsauksessa voi esiintyä. Toistettavuus on näin hyvä hitsistä toiseen ja hitsausohjelmaa on helppo tarvittaessa muuttaa. [10, s. 3.]

Ammattitaito:

- § Ammattitaitoisten hitsaajien keski-ikä kasvaa ja on vaikea löytää uusia nuoria alalle. Nuoret hakeutuvat entistä vähemmän hitsausalalle, mistä syystä hitsaajat uhkaavat loppua eli uhkana on hitsaajapula. [4, s. 11.]
- § Mekanisoidun hitsauksen operaattori ei myöskään tarvitse niin hyvää kädentaitoa kuin käsin hitsaaja, koska itse hitsaussauman tekee kone [4, s. 11].
- § Operaattorin tulee tietää hitsaustekniikan perusteet, osata hitsauksen perustaidot ja taitaa esivalmistelut, mutta hitsauksen erityisosaamista ei välttämättä tarvita [10, s. 3].

Tuottavuus:

- § Orbitaalihitsauksen avulla päästään keskimääräistä käsinhitsausta nopeampaan suoritukseen ja saadaan enemmän valmista samassa ajassa. Tuotteiden läpimenoajat lyhenevät ja yrityksen kapasiteetti kasvaa. Hitsausajan lyheneminen mekanisoinnin ansiosta voi olla karkeasti luokkaa 50 – 70 % mutta luonnollisesti se on tapauskohtainen. [4, s. 12.]

Eräässä laajassa englantilaisessa selvityksessä verrattiin orbitaalihitsauksen ja käsinhitsauksen tuottavuutta ja laatua ruostumattomien putkistojen asennushitsauksista yhden vuoden ajalta (taulukko 8). Selvityksestä ilmeni että tuottavuus oli yli kaksinkertainen orbitaalihitsauksella verrattuna käsinhitsaukseen ja myös laatu oli parempi. [4, s. 12.]

Taulukko 8. Tuottavuus ja laatu [4, s. 12]

seuranta-aika	50 viikkoa
putkistojen pituus	9800 m
hitsien määrä	3522 kpl
TUOTTAVUUS: hitsien tuotantomäärä	
käsin-TIG-hitsaus	keskimäärin 6,1 hitsiä viikko
orbitaali-TIG-hitsaus	13.1 hitsiä viikko
LAATU: hitsien hyväksymisaste	
käsin-TIG-hitsaus	86,90 %
orbitaali-TIG-hitsaus	92,50 %

Ergonomia

- § Työasennot ovat käsinhitsaajalla asennusolosuhteissa usein vaikeita ja kuormittavia. Mekanisoidussa hitsauksessa ergonomia on oleellisesti parempi (kuva 22), koska orbitaalilaitte kiertää putken ympäri. Samalla myös työhygienia parantuu. [4, s. 12.]



Kuva 22. Ergonomia parantuu huomattavasti siirryttäessä käsinhitsauksesta orbitaalihitsaukseen [11, s. 29]

Luoksepäästävyys:

- § Orbitaalihitsauksena suoritettavien putkien hitsauksessa asennuspaikalla, voidaan olla varmoja hitsausseaman tasalaatuisuudesta koko matkalta verrattaessa käsinhitsaukseen. Tämä perustuu hitsauspihdin helppoon asennettavuuteen sekä kauko-ohjaimen ja videovalvonnan käyttömahdollisuuteen. Näin pystytään helpottamaan huomattavasti operaattorin työtä. [10, s. 3.]

Jäljitettävyys:

- § Työn jälkeen voidaan hitsausohjelma tarvittaessa tulostaa virtalähteestä paperille vaikka joka hitsausseaman jälkeen. Tulosteesta on helppo verrata toteutuneita hitsausparametrejä asetusarvoihin ja todentaa mahdolliset poikkeamat. [10, s. 3.]

4.3 Käyttöalat

Orbitaalihitsausta käytetään maailmanlaajuisesti hyvin monilla teollisuuden aloilla mm [4, s. 12]:

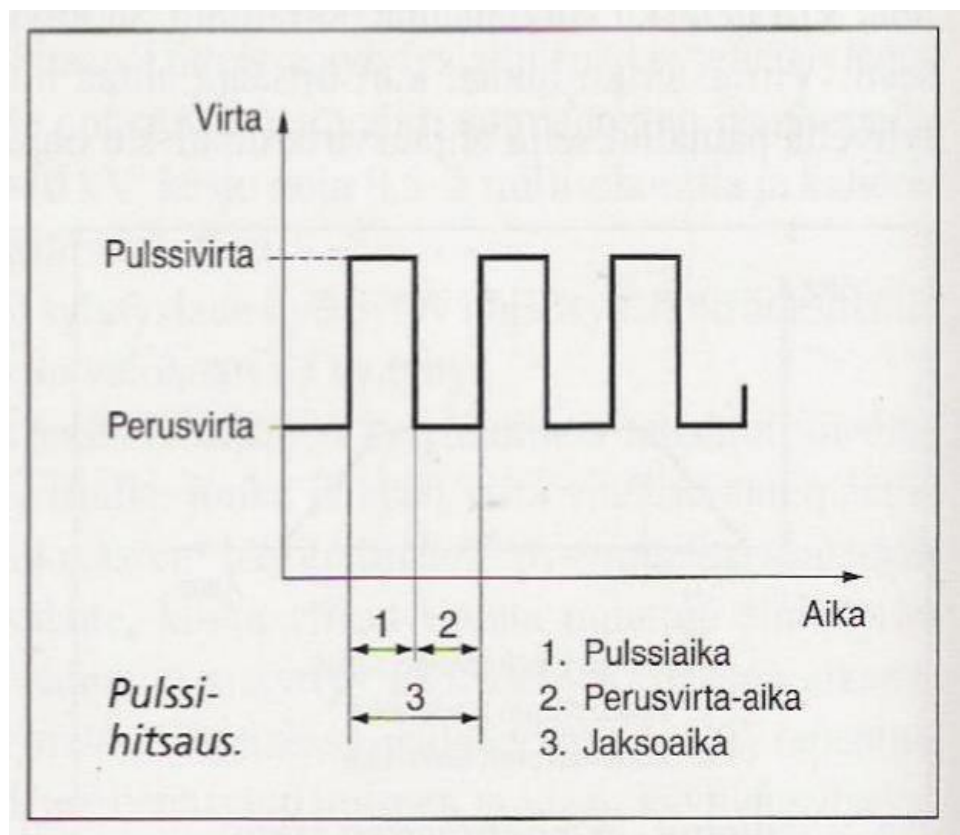
- § elintarvike-, meijeri- ja panimoteollisuus
- § elektroniikka- ja puolijohdeteollisuus sekä optinen teollisuus
- § kemianteollisuus
- § prosessiteollisuus
- § biotekniikka
- § ydinvoimalaitokset
- § lääketeollisuus ja sairaalatekniikka
- § telakat
- § voimalaitoskattilateollisuus
- § lentokone- ja avaruustekniikka

5 TIG-HITSAUKSEN PROSESSIVARIAATIOT

Tig-hitsauksesta on monia erilaisia versioita. Menetelmät on kehitetty parantamaan prosessin tehokkuutta.

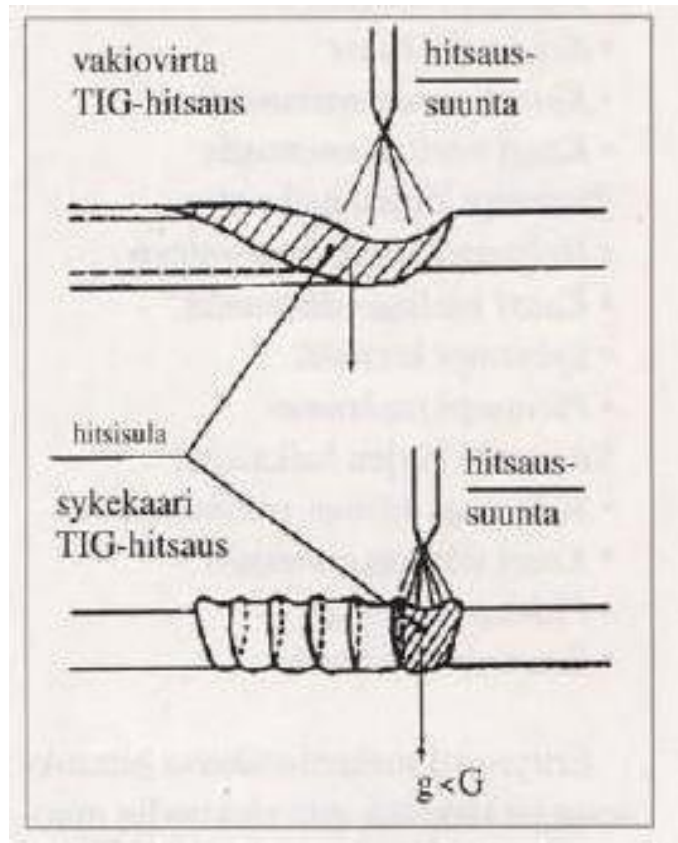
5.1 Pulssihitsaus

TIG-pulssihitsauksessa hitsausvirta vaihtelee kahden virta-arvon välillä, tietyllä suhteellisen pienellä taajuudella (kuva 23). Pulssivirran eli huippuvirran aikana muodostuvat hitsisula ja tunkeuma. Perusvirran aikana hitsisula jäähtyy ja osittain jähmettyy. [2, s. 255.]



Kuva 23. Hitsausvirran pulssitus. [3, s. 206]

Lämmöntonnin ja tunkeuman säännöstely voidaan suorittaa paremmin pulssihitsauksella kun jatkuvalla virralla hitsatessa (kuva 24). Pulssihitsaus helpottaa myös hitsisulan hallintaa, koska sula ei pyri valumaan tai vyörymään edelle. [3, s. 206 - 207.]



Kuva 24. Tunkeuman muodostuminen vakio- ja pulssivirralla [4, s. 20]

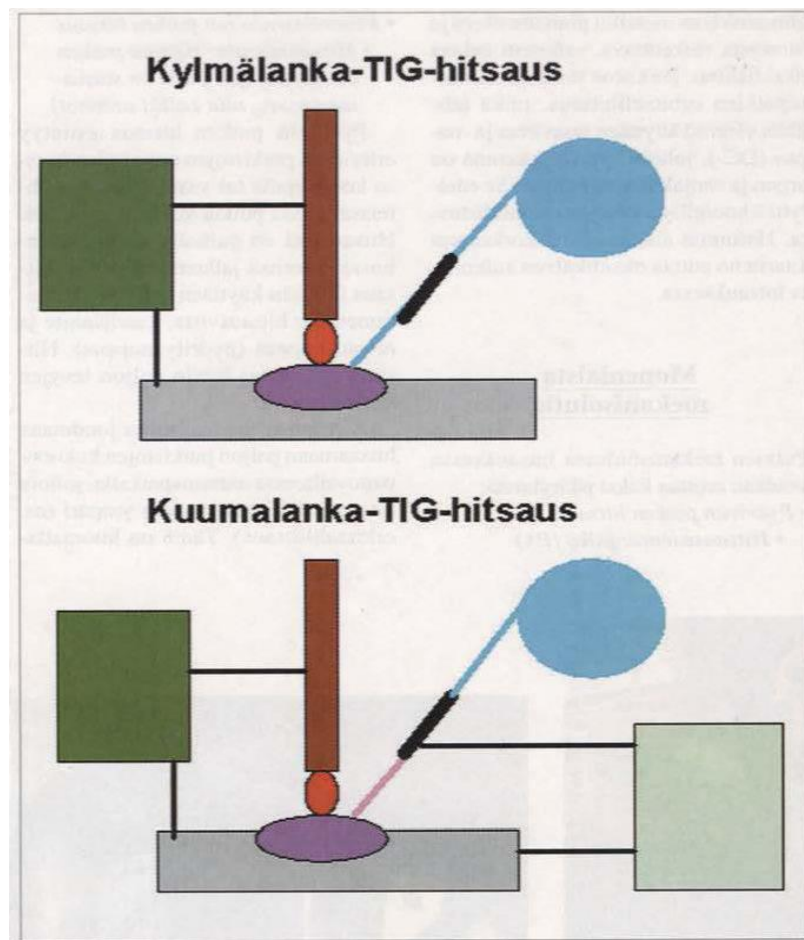
Pulssihitsauksessa pulssitaajuus on yleensä melko pieni, 1 - 5 Hz eli 1 - 5 kertaa sekunnissa. Pienillä taajuuksilla valmis hitsi muodostuu peräkkäisistä ja päällekkäisistä hitsauspisteistä. Pulssihitsaus soveltuu sekä tasa- että vaihtovirralla hitsattavaksi. [2, s. 255.]

Orbitaalihitsauksen pulssitus

Putkistojen orbitaalihitsauksessa suurimpana ongelmana on tunkeuman hallinta. Vaikka olisi säädetty hitsausparametrit valmiiksi, niin putkistoissa voi ilmetä toleranssi- ja sulatuskohtaisia eroja. Myös lämmön ennalta arvaamattomuutta kertymistä voi ilmaantua hitsauskohtaan, mikä vaikeuttaa prosessin onnistumista. Näiden syiden vuoksi voi ilmetä joko vajaata tunkeumaa tai liian korkeaa juurikupua. Pulssitus auttaa hallitsemaan tätä. Orbitaalihitsaus onkin aina pääsääntöisesti pulssihitsausta. [4, s. 20.]

5.2 Kylmä- ja kuumalanka-TIG-hitsaus

Mekanisoituun TIG- hitsaukseen on helppo yhdistää koneellinen langansyöttö, jossa langansyöttölaite syöttää ohutta lisäainelankaa sulaan [4, s.14]. Kuvassa 25 nähdään tähän käytettyä kahta eri tapaa.



Kuva 25. Mekanisoidun hitsauksen langansyöttötavat [4, s.14]

5.2.1 Kylmälanka-TIG-hitsaus

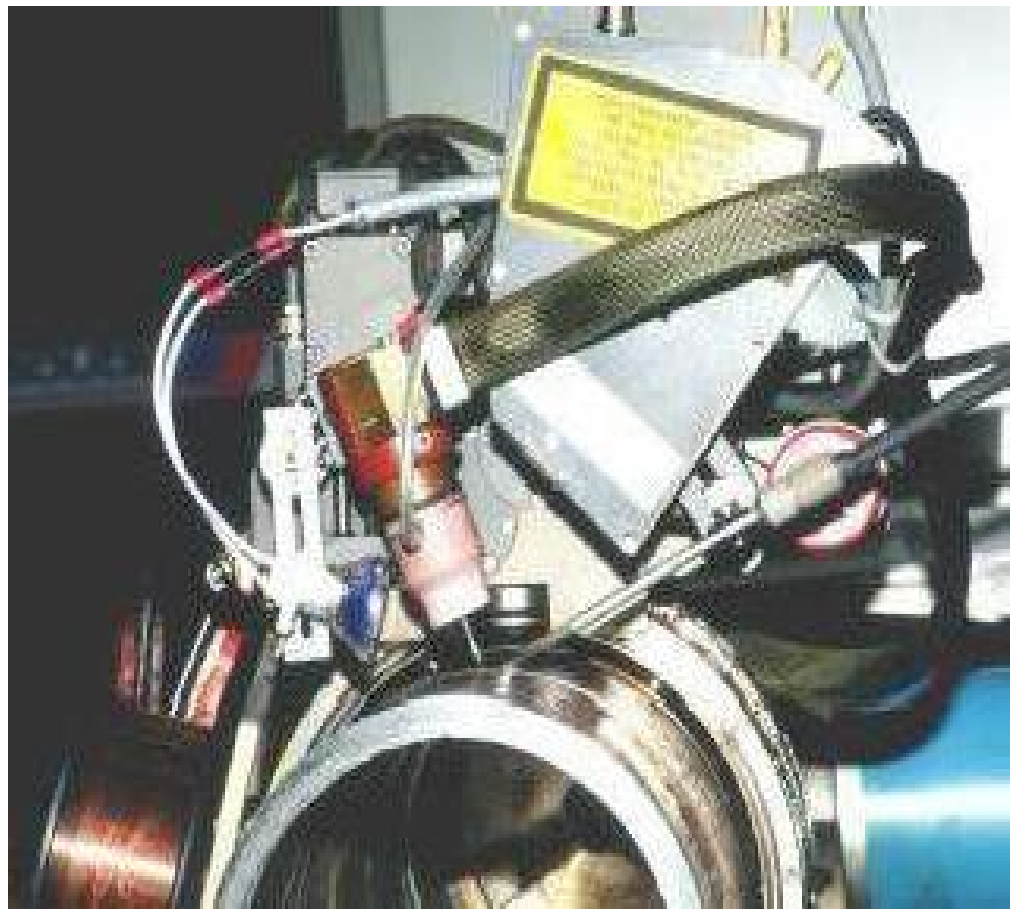
Kylmälanka-TIG-hitsauksessa lisäainelanka syötetään suoraan sulaan, joka samalla jäädyttää sulaa. Tällöin lisäainetta voidaan syöttää vain tietty enimmäismäärä ilman liitosvirheiden vaaraa. [4, s.15].

Kylmälanka- TIG-hitsaus on täysin perinteistä TIG-hitsausta vastaava menetelmä, jonka avulla voidaan parantaa tuottavuutta, jolloin se soveltuu hyvin isojen raihojen hitsaukseen. [12, s. 55.]

5.2.2 Kuumalanka-TIG-hitsaus

Kuumalankahitsauksessa (kuva 26), esikuumennetaan lanka erillisen virtapiirin avulla lähelle sulamispistettä, ennen kuin se ehtii valokaaren vaikutusalueelle [4, s. 15].

Näin saadaan lähes kaikki energia kohdistumaan hitsattavaan perusaineeseen ja valokaaren energiaa säästetään, koska sitä ei mene hukkaan lisäainelangan sulattamisen vuoksi. [13, s. 4.]



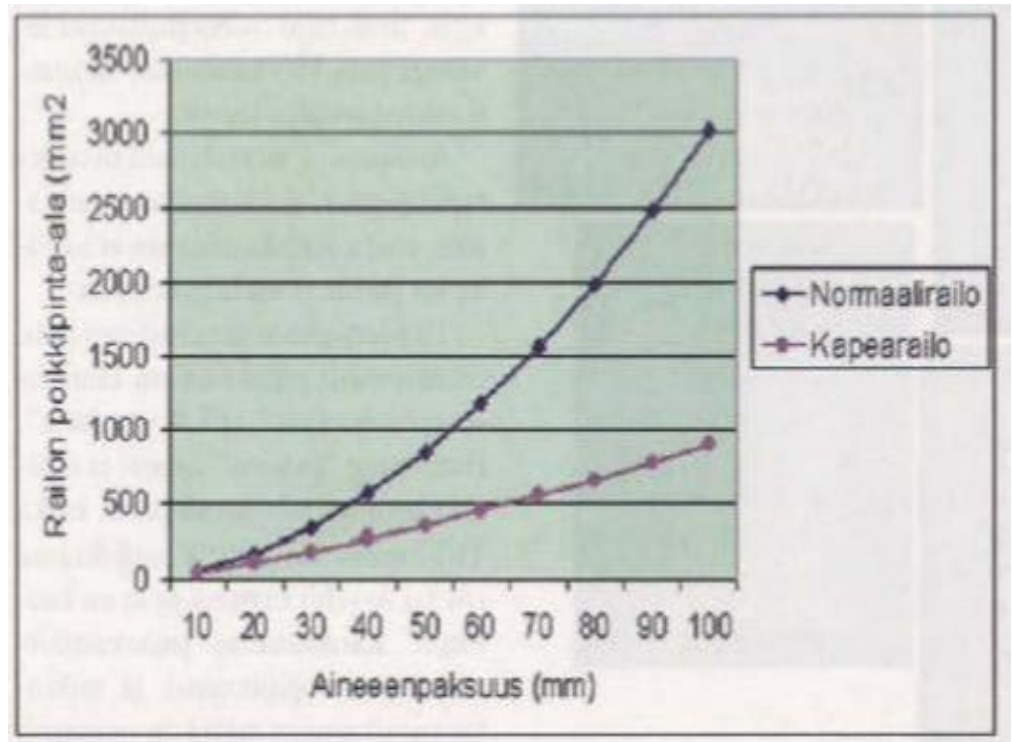
Kuva 26. Kapearailo-kuumalanka-TIG-hitsausta [14]

5.3 TIG-kapearailohitsaus

Kapearailohitsauksessa railomuoto on mahdollisimman kapea U-railo, jolloin voidaan parantaa tuottavuutta pienemmän railotilavuuden ja siitä seuraavan lyhyemmän hitsausajan ansiosta [2, s. 262].

Kapearailohitsauksella lisäainekulutus saadaan pienemmäksi verrattuna tavanomaiseen TIG-hitsaukseen. Lisäksi lämmöntuonti on matalampi. Kapean ja tasaleveän hitsin ansiosta muodonmuutokset (kulmamuuutos ja poikittaiskutistuminen) ja jäännösjännitykset jäävät pienemmiksi. [4, s. 24.]

Menetelmän etu verrattuna normaaliin avoimeen railoon kasvaa hyvin nopeasti seinämän vahvuuden lisääntyessä (kuva 27). Käytön etuina on myös se, että levitys ja sen tuomat parametrit jäävät välipaloista pois. Valmiista hitsistä saadaan yhtä leveä niin railon pohjalla kuin jokaisessa välipalossakin. [15, s. 31.]



Kuva 27. Normaalirailon (U-railo, railokulma 30°, pohjan pyöristyssäde 3 mm ja juuripinta 2 mm) ja kapearailon (kapea U-railo, railokulma 4°, pohjan pyöristyssäde 3 mm ja juuripinta 2 mm) poikkipinta-ala [4, s. 23]

Kapearailo-TIG-hitsausta kannattaa käyttää periaatteessa jo 10 mm:stä lähtien. Seinämäpaksuudet alle 20 - 25 mm voidaan hitsata normaalia enemmän ulospäin vedetyllä elektrodilla, eikä ole vielä tarvetta käyttää kapearailohitsauspäätä. Kuitenkin on huolehdittava riittävästä kaasusuojasta. [15, s. 31.]

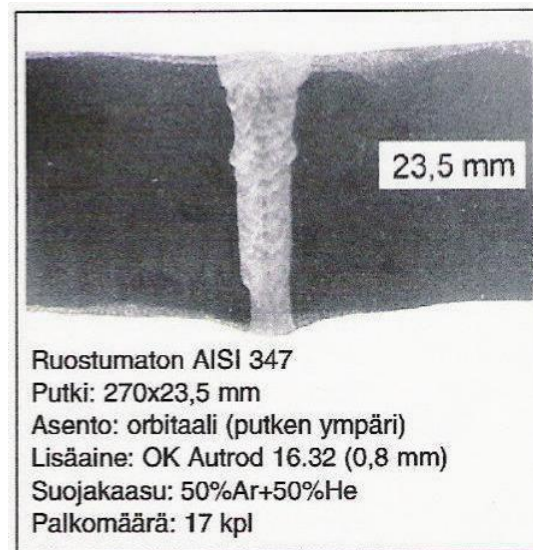
Yli 20 mm paksuilla aineilla joudutaan käyttämään tähän tarkoitukseen tehtyjä erikoisrakenteisia päitä, ns. kapearailohitsauspäitä (kuva 28), joilla pystytään hitsaamaan jopa lähes 200 mm paksuja aineenvahvuuksia. [16, s. 17.]



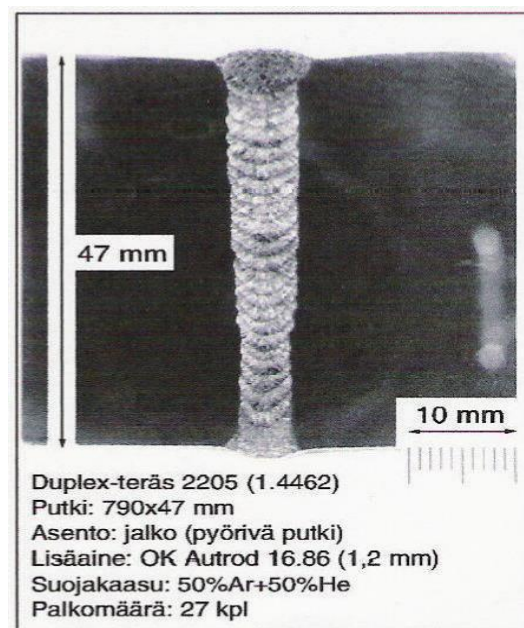
Kuva 28. Kapearailohitsauspää [14]

Kapearailo-TIG-hitsaus voidaan suorittaa joko jalkoasennossa, jolloin putki pyörii, tai orbitaalihitsauksena, jolloin putki on kiinteä ja laite kiertää putken ympäri [16, s. 17].

Kuvissa 29 ja 30 nähdään RT-tarkastuksella otetut kuvat TIG-kapearailo-hitsausliitoksista.



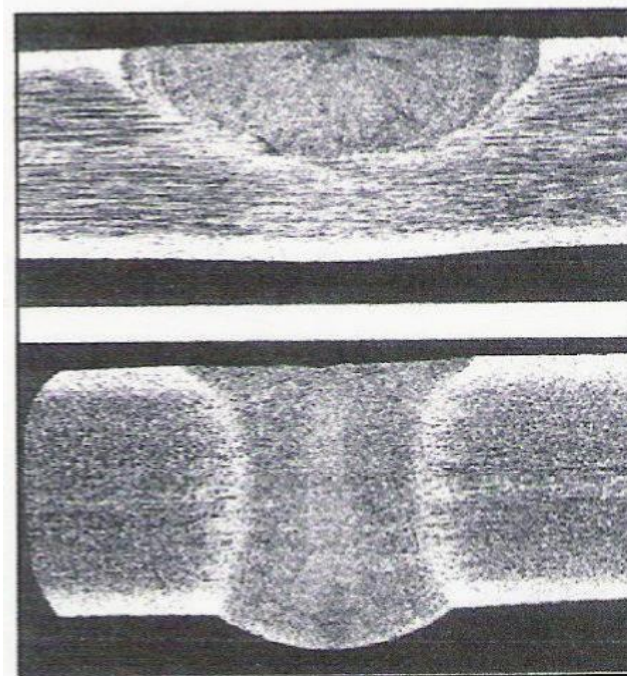
Kuva 29. Orbitaalihitsauksena suoritettu kapearailo-TIG-hitsi [16, s. 17]



Kuva 30. Jalkoasennossa suoritettu kapearailo-TIG-hitsi [16, s. 17]

5.4 A-TIG-hitsaus

TIG-hitsauksessa voidaan lisätä huomattavasti hitsaussyvyyttä eli tunkeumaa käyttämällä hitsattavalla pinnalla aktiivista jauhetta (kuva 31). Ennen prosessin aloittamista levitetään hitsattavalle pinnalle pensselillä tai ruiskuttamalla spraypullosta ohut kerros tätä ainetta. Aine lisää huomattavasti tunkeumaa, jopa kaksin- tai kolminkertaiseksi. Menetelmän avulla pystytään hitsaamaan jopa 10 mm:n levy I-railoon. Normaalisti se vaatisi hitsattuna lisäaineen kanssa V-railon ja viidestä seitsemään yksittäistä palkoa. [16, s. 17.]



Kuva 31. Tunkeuman ero. Tavanomainen TIG-hitsi (yläkuva) ja A-TIG-hitsi (alakuva). Suojakaasu molemmissa argon [16, s. 17]

5.5 Muita variaatioita

Muita erilaisia prosessivariaatioita TIG-hitsauksesta on suurtaajuuspulssi-TIG-hitsaus, jossa taajuus voi olla aina 20 kHz sekä monielektrodi-TIG-hitsaus, jossa hitsaus suoritetaan esim. kahdella tai kolmella peräkkäin kulkevalla elektrodilla. Näitä kumpaakin menetelmää käytetään lähinnä pituushitsattavien putkien valmistuksessa. [16, s. 17.]

6 MEKANISOITU TIG-HITSAUS LAITTEISTO

Mekanisoituun TIG-hitsauslaitteistoon kuuluvat seuraavat komponentit [9, s. 13]:

- § virtalähde
- § ohjaus- ja ohjelmointiyksikkö
- § hitsauspää ja sen kuljetin
- § langansyöttölaite
- § kauko-ohjain
- § suojakaasuvarustus
- § jäähdytysvesilaite

Välttämättömiin oheisvarustuksiin kuuluvat myös:

- § rillonvalmistuslaitteisto
- § juurensuojalaitteisto

6.1 Virtalähde

Virtalähteen (kuvat 32, 33 ja 34), tulee olla mekanisoidussa putkien TIG-hitsauksessa erittäin stabiili ja tarkasti säädettävissä. Sen tulee antaa verkkojännitteen vaihtelusta ja virtalähteen omasta lämpötilasta huolimatta hitsausvirta ± 1 A:n tai ± 1 %:n tarkkuudella. Jännitteen tulee myös pysyä ± 1 %:n tai 0,5 V:n tarkkuudella haluttuna. TIG-virtalähteet, jotka on rakennettu käsinhitsaukseen, eivät tavallisesti yllä tähän tarkkuuteen. [9, s. 13.]

Mekanisoidun TIG-hitsauksen virtalähteissä virta ja jännite säädetään tarkkuuspotentiometrein, peukalopyörin tai numeerisesti. Virtalähteen säätimillä asetetaan myös suojakaasun esi- ja jälkivirtausajat, hitsausvirran nousu- ja laskuajat sekä pulssihitsauksen huippu- ja taukoajat. Asetustarkkuus on sekunnin kymmenes- tai sadasosa. [9, s. 13.]

Mekanisoidun-TIG-hitsauksen virtalähteet ovat pääsääntöisesti invertterityyppiä, mutta PC-virtalähteistä löytyy myös transistorivirtalähteitä. Virta-alueen kapasiteetti kattaa alueen 3 - 600 A. [17.]



Kuva 32. Orbitaalihitsausvirtalähde Aristo MechTig C2002i, johon on integroitu vesi-jäähdytys ja ohjelmointipaneeli [18]



Kuva 33. Monipalkohitsaukseen (ks. kpl 8.2) soveltuva PS 406 virtalähde [14]

PC-virtalähteet (kuvat 34 ja 35) on suunniteltu TIG-kylmä/kuumalanka, plasma-kylmä/kuumalanka- tai MIG/MAG-hitsaukseen [14].



Kuva 34. PC-virtalähde, jonka ohjelmointi tapahtuu erillisellä PC:llä [14]



Kuva 35. Virtalähde PC600 ja kannettava tietokone [18]

6.2 Ohjaus- ja ohjelmointiyksikkö

Mekanisoidussa TIG-hitsauksessa hitsauslaitteiston toimintaa ohjaa ohjausyksikkö. Se huolehtii että kaikki tarvittavat toiminnot tapahtuvat oikeassa järjestyksessä ja halutulla eli ohjelmoidulla tavalla. [9, s. 17.]

Virtalähteen ohjauspaneelista ohjelmoidaan eri hitsausparametrit mm.

- § pulssihitsauksen tasot ja jaksojen kestot
- § hitsausvirran nousu- ja laskunopeudet
- § ohjelmasektorien lukumäärä ja parametrit kullekin sektorille
- § lämmitys- ja loppuvirta-ajat
- § suojakaasuvirtauksen esi- ja loppuvirta-ajat
- § mahdollisen levitysliikkeen amplitudi, nopeus sekä pysähdysajat reunoilla ja keskellä
- § lisäaineen ja levitysliikkeen synkronointi pulssivirtaan

Virtalähteen antamien signaalien mukaan ohjausyksikkö synkronoi hitsauspään kuljetuksen ja lisäainelangan syötön [9, s. 17].

Nykyaikaiset TIG-orbitaali-virtalähteiden ohjausyksiköt on varustettu integroidulla tulostimella, jolla voidaan tulostaa ohjelmoidut hitsausparametrit ja myös mitatut arvot (ks. kpl 6.5.2). Hitsauksen aikana ohjelmointiyksikön näyttössä näkyy kaikki tarvittava informaatio hitsauksen toteutumisesta. [10, s. 1.]

Ohjelmointiyksikön sisältävän USB-liitännän avulla voidaan valmis hitsausohjelma siirtää koneelta toiselle ja näin myös varmistetaan varmuuskopioinnin mahdollisuus. [19, s. 22 - 23.]

Orbitaalivirtalähteet on nykyaikana varustettu kaukosäätimellä, jolla saadaan tehtyä kaikki tarvittavat toiminnot. Kaukosäätimellä saadaan myös tehtyä hitsausprosessin aikana hitsauksen aikaiset parametrisäädöt, jotka halutessa jäävät muutoksina ohjelmaan. [17.]

6.3 Hitsaustyökalut

Orbitaalihitsauksessa käytetään erilaisia putkihitsaustyökaluja, jossa elektrodi hitsauspäineen kiertää putken ympäri. Työkalut koostuvat kiinnityslaitteesta, motoroidusta pyörityslaitteesta, elektrodista ja suojakaasulaitteista. Markkinoilta on saatavissa hitsaustyökaluja putken halkaisijoille 1,6 mm – 14 000 mm ja aineen vahvuuksille 0,2 mm – 200 mm. Hitsaustyökalut voidaan jakaa kahteen päätyyppiin [9, s. 14.]

1. pihtityyppiset (avo- ja umpipihdit)

2. kelkkatyypiset (vaunutyypiset)

6.3.1 Pihtityyppiset työkalut

Työkaluja on olemassa sekä *avoimia eli avopihtejä*, että *koteloituja eli umpipihtejä*. Pihtityyppisiä putkihitsaustyökaluja käytetään pienten ja keskisuurien putkien hitsaukseen. Samalla pihdillä voi hitsata tietyn halkaisija-alueen putkia, esim 17 - 49 mm, 33 - 90 mm ja 60 -170 mm. Suurin soveltuva halkaisija on noin 275 mm. [4, s. 15.]

Avopihdit

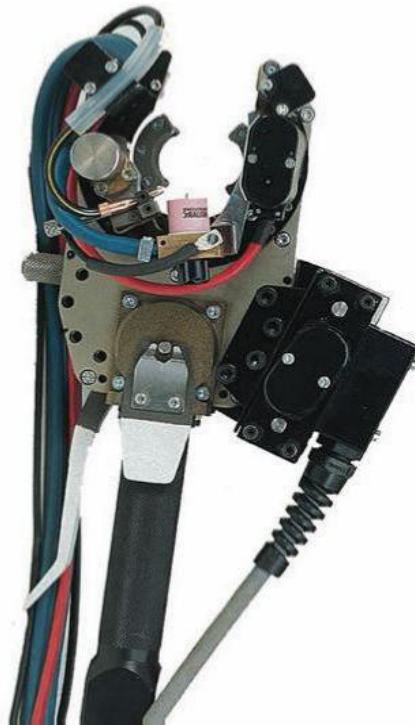
Avopihdit (kuva 36), on tarkoitettu lisäaineelliseen tai lisäaineettomaan yksitai monipalkohitsaukseen. Lisäaine tuodaan hitsaustapahtumaan joko integroidulla langansyötöllä tai ulkoisella langansyöttöyksiköllä. Avopihteihin saadaan myös integroitua vaaputus- ja valokaaren korkeudenseurantaluisti (kuvat 37 ja 38) (ks. kpl 8.2.1). [4, s. 15.]



Kuva 36. Putkihitsaustyökalu (avopihti) PRB 17-49



Kuva 37. MU IV- avopihti, jossa mukana AVC, OCS ja integroitu langansyöttö (ks. kpl 8.2.1) [14]



Kuva 38. A21 PRC 17 - 49 avopihti. PRC:n ominaisuuksina on vaaputustoiminto ja kaarijännitteensäätö (AVC) [20]

Umpipihdit

Koteloitu työkalu eli Umpipihti on tarkoitettu lisäaineettomaan yksipalkohitsaukseen, jossa hitsauskohta on suojakaasun täyttämässä tilassa koko hitsauksen ajan (kuva 39). Hitsin pinta saadaan näin suojattua hapettumiselta samalla tavalla kuin normaalisti suojataan ruostumattomien putkihitsien juurenpuoli. Kotelo-osa toimii myös kiinnityselimenä joten hitsattavia putkia ei tarvitse heftata toisiinsa. Putkihitsaustyökalujen soveltuvuudessa on yleensä otettu huomioon putkistandardit eri halkaisijoille. [4, s. 15.]



Kuva 39. Koteloitu hitsauspihti PRH 6-76 (umpipihti) [20]

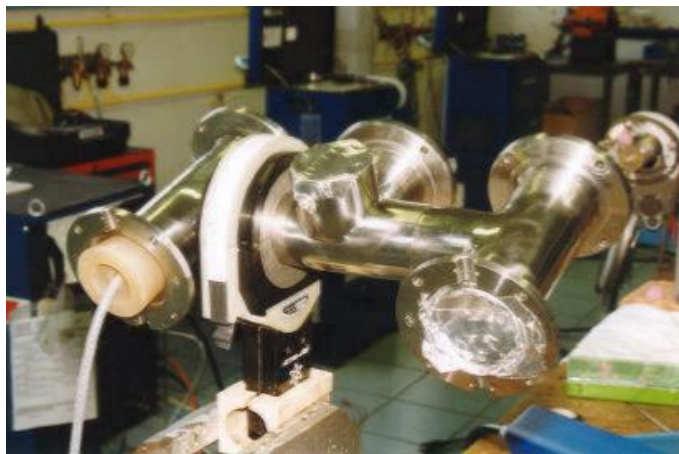
Umpipihti on erinomainen työkalu titaaniputkien orbitaalihitsauksessa, koska siinä vaaditaan erittäin hyvää kaasusuojausta. Ulkotiloissakin on mahdollista hitsata koteloidulla työkalulla, koska se ei ole niin arka vedolle (kuva 40). Haittapuolena umpipihdeillä on, ettei lisäainetta voida käyttää. Umpipihtejä käytetään äärimmäistä puhtautta vaativissa putkihitsauksissa (kuvat 41 ja 42), esim. lääketeollisuus. [4, s. 15.]



Kuva 40. Koteloidulla hitsaustyökalulla työskentelyä ulkotiloissa [21]



Kuva 41. Putkisto-osien hitsausta umpipihdillä [14]



Kuva 42. Ydinvoimalaitoksen putkisto-osien hitsausta umpipihdeillä [14]

Pihdin kiinnitys

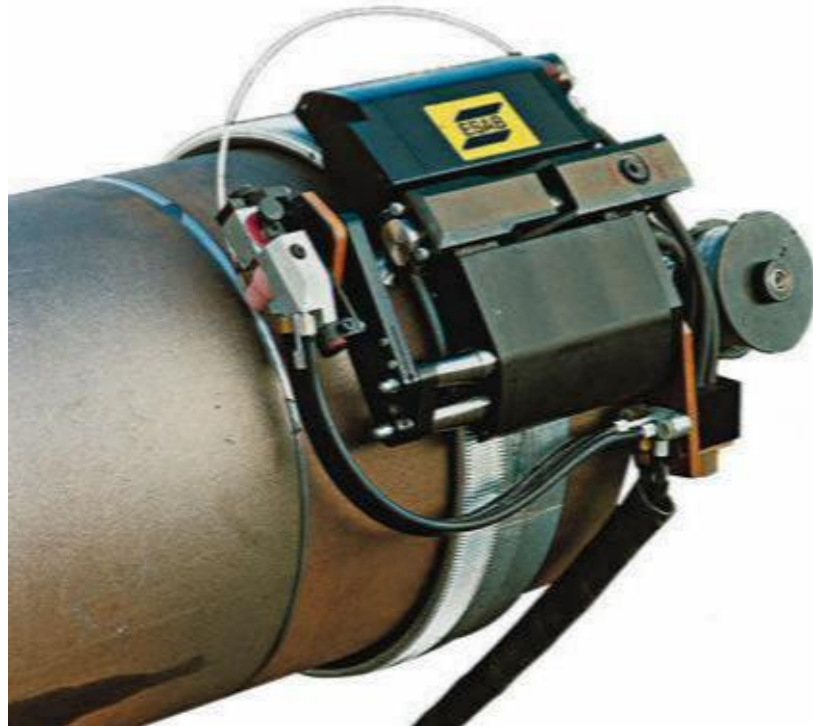
Pihityyppinen työkalu voidaan lukita hitsausasentoon lukkopihtiperiaatteella, mikä mahdollistaa työkalun tarkan ja nopean kiinnittämisen hitsattavaan putkeen. [9, s.14.]

Pihdeissä voi olla myös kulmapalasarja, jolla pystytään kääntämään poltinpää. Tämä mahdollistaa näin myös pienahitsien hitsauksen.

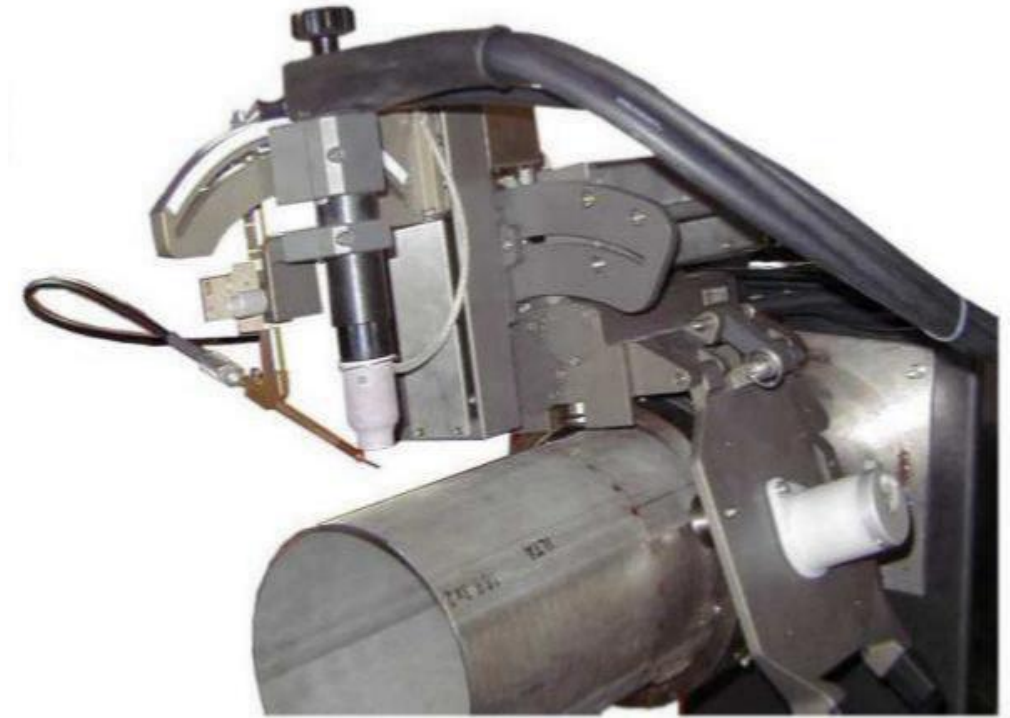
Muita poltinpään kohdistamiseen vaikuttavia säätöjä on poltinpään sivuttaisuuntainen etäisyyden säätö eli levitysliikemekanismi (OCS) sekä elektrodin korkeuden säätö eli automaattinen kaaripituuden säätö (AVC). [22, s. 3.]

6.3.2 Kelkkatyypiset työkalut

Hitsattavien putkien halkaisijan ylittäessä n. 170 mm, orbitaalihitsaus tehdään käyttäen hitsauskelkkaa (vaunua) (kuvat 43, 44 ja 45). Siinä hitsauspää on sijoitettu erilliseen kelkkaan, joka kulkee putken ympärille asetettua rataa pitkin. [4, s. 15.]



Kuva 43. A 21 PRD 100 hitsausvaunu putkihalkaisijoille 115 – 914 mm [20]

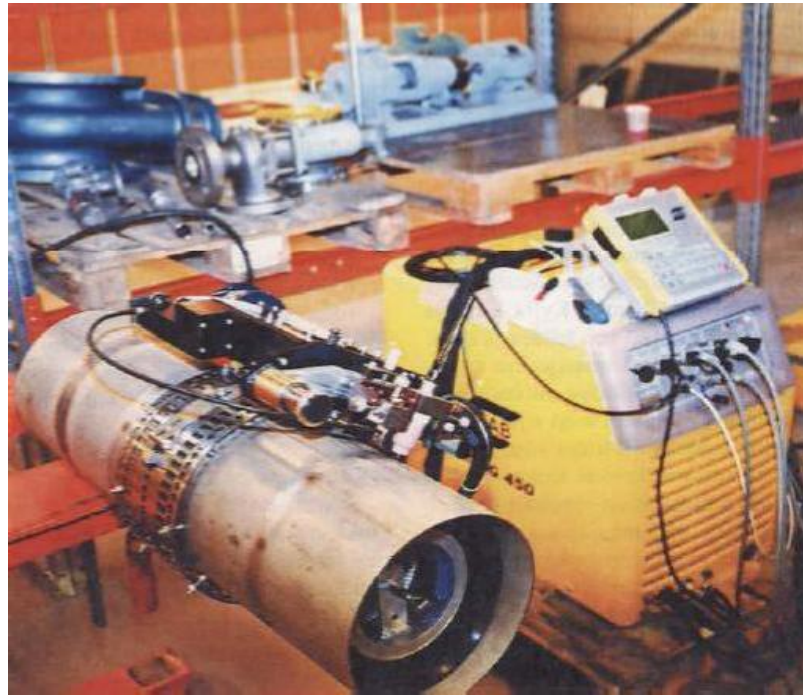


Kuva 44. Hitsausvaunu Polycar 130 [23]



Kuva 45. Hitsausvaunu Polycar 60 [23]

Hitsattavan putken ympärille asetettava rata voi muodostua ympyräsegmenteistä, jotka kootaan putken ympärille (kuva 46). Jäykät kehäradat soveltuvat vain tietyille ahtaalle halkaisija-alueelle, kun taas joustavissa radoissa putken ympärille kiristetään teräsnauha tai ketju. Näiden pituutta voidaan säätää helpommin putken halkaisijan mukaan. [4, s. 15.]



Kuva 46. Hitsausvaunu, joka kulkee putken ympäri [4, s. 15]

6.3.3 Hitsaustyökalun toiminta

Hitsaustyökalun tehtävänä on kuljettaa hitsauspäättä putken ympäri tarkasti halutulla nopeudella. Työkaluun tuodaan hitsausvirta, suojakaasu sekä mahdollinen lisäainelanka ja jäähdytysvesi. [9, s. 16.]

Tarvittavat sähkökaapelit ja letkut rajoittavat hitsaustyökalun liikettä, jolloin ennen hitsauksen aloittamista otetaan hieman ennakkoa pyörittämällä työkalua taaksepäin. Näin voidaan hitsata otetun ennakon verran pidempään. Yleensä hitsaustyökalulla voidaan hitsata yhtäjaksoisesti kaksi tai kolme kierrosta. Bajonettiliittimien kautta hitsausvirta ja jäähdytysvesi on mahdollista johtaa työkaluun ilman kiertyviä kaapeleita ja johtoja. Näin voidaan hitsata rajaton määrä kierroksia yhtäjaksoisesti. [9, s. 16.]

Tämä lähinnä pihityökaluihin ja erityistarpeisiin kehitetty bajonettiliitin mahdollistaa yhtäjaksoisen hitsauksen vain, jos työkalussa on automaattinen kaaripituuden säätö (AVC). Esiasetus on muutoin tehtävä uudestaan jokaisen palkokerrokseen jälkeen. [9, s. 16.]

6.4 Langansyöttölaite

Mekanisoidussa TIG-hitsauksessa lisäainelangan syöttö hitsauskohtaan voidaan järjestää neljällä tavalla [9, s. 16]:

1. Kiinteä langansyöttölaite, josta moottori työntää lisäainelangan taipuisan johdon läpi hitsauspähän (muistuttaa tavallista MIG/MAG-hitsausta).
2. Sama kuin edellä, mutta hitsauspäässä on langan vetokoneisto.
3. Hitsauspäässä oleva langansyöttökoneisto vetää lisäainelangan ulkopuoliselta kelalta.
4. Lisäainelankakela ja langansyöttömekanismi ovat sijoitetut hitsauspähän (integroitu langansyöttö).

Ensimmäisessä vaihtoehdossa hitsauspäässä tarvitaan vain ohjaussuukappale, joka tekee siitä yksinkertaisen. Kuitenkin vaarana on langansyöttömäärän vaihtelut, koska irrallinen johto kiertyy helposti. [5, s. 20.]

Toisella ja kolmannella vaihtoehdolla varmistetaan langan tasainen siirtyminen kelalta hitsauspähän [5, s. 22].

Vaihtoehtoa kolme käytetään, kun putket ovat lähekkäin ja hitsataan vähemmän kuin kolme palkoa. Vaihtoehdoissa yksi ja kolme täytyy huomata, että joudutaan pyörittämään lankaa hitsattavan putken ympäri ennen prosessin aloittamista niin montaa kertaa kuin on hitsattavia palkoja. [5, s. 22.]

Viimeinen vaihtoehdoista takaa varmimman langansyötön, kun langansyöttölaitteisto kiertää hitsauspään mukana. Lisäainelangalla on näin aina sama reitti putken jokaisessa asennossa. [9, s. 17.]

6.5 Muut varusteet

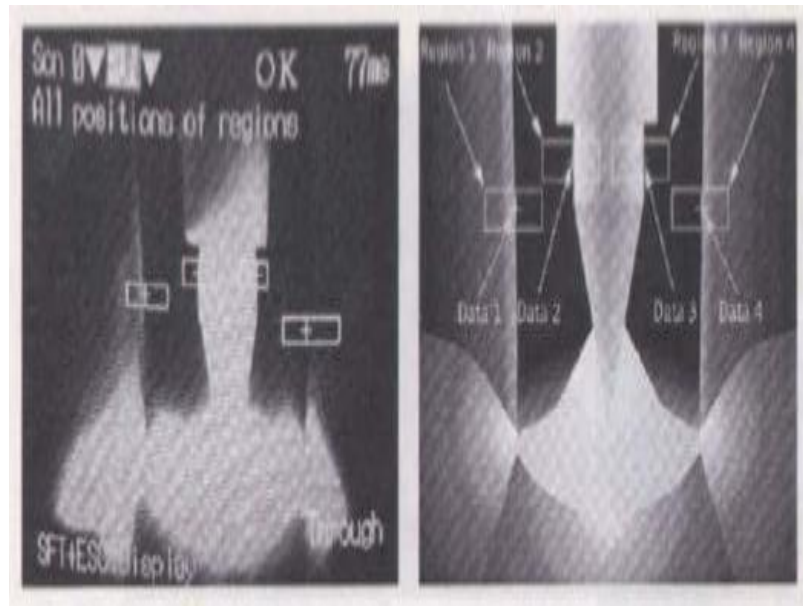
6.5.1 Videomonitorointi ja railonseuranta

TIG-orbitaalihitsauksessa hitsaustapahtuman valvontaan ja monitorointiin on mahdollista käyttää pientä ja kevyttä kameraa, joka asennetaan hitsausvauvuun. Videokameran avulla voidaan seurata hitsaustapahtumaa, railokylkien sulamista, lisäaineen kohdistumista ja sulan muotoa monitorin välityksellä (kuva 47). Tämän avulla helpotetaan huomattavasti operaattorin työtä, hitsausprosessin valvontaa ja prosessin hallintamahdollisuuksia. [22, s. 6.]



Kuva 47. Hitsauspähän kiinnitetty kamera välittää kuvan hitsauksesta [4, s. 26]

Mekanisoituun TIG-hitsaukseen on mahdollista soveltaa lisäksi railonseuranta, joka perustuu konenäköön (kuva 48). Konenäköjärjestelmän välittämä ohjausdata toimitetaan ohjelmoitavalle logiikkayksikölle. Tämä hoitaa sähköluistien ohjaamisen joko oikealle tai vasemmalle. [4, s. 27.]



Kuva 48. Konenäköön perustuva railon seuranta, joka pitää hitsauspään ja elektrodin railon keskilinjalla [4, s. 28]

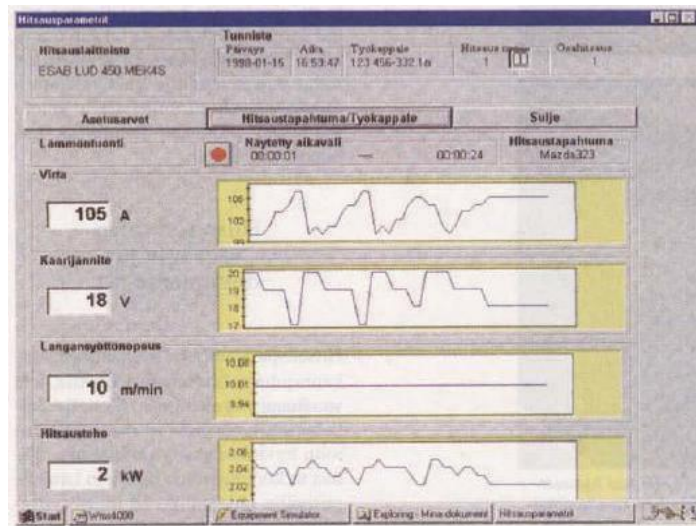
Hitsaustapahtumaa on valvottava koko ajan, koska kone tekee vain sen mitä sille on ohjelmoitu hitsaamattoman railon perusteella. Mekanisoitu hitsauskone ei ota huomioon hitsauksen edetessä mahdollisia kulmamutoksia ja kutistumia. Muutoksien ilmaantuessa joudutaan tekemään muutoksia hitsausparametreihin. [4, s. 27.]

6.5.2 Hitsausarvojen seuranta ja dokumentointi

Mekanisoidussa hitsauksessa hitsausparametrien todentaminen, raportointi ja dokumentointi on asia, jota vaaditaan yhä enemmän. Hitsaustyön täytyykin olla monella alalla dokumentoitu hyvin yksityiskohtaisesti. [4 s. 27.]

Laitetoimittajilta on nykyisin saatavilla tähän tarkoitukseen ohjelmitaviin virtalähteisiin PC:n välityksellä yhdistettäviä valvontaohjelmia, esim. Weldoc WMS 4000 (ks. kpl 6.5.3), joiden avulla parametrit voidaan mitata jopa 0,5 sekunnin välein. [19, s. 23.]

Ohjelman avulla hitsausparametrit nähdään reaaliaikaisesti ja sen kapasiteetti voi riittää jopa useamman kymmenen parametrin valvontaan ja rekisteröintiin (kuva 49) [4, s. 28].



Kuva 49. Hitsausparametrien valvonta tietokoneohjelman avulla [4, s. 28].

Hitsaustapahtuman jälkeen voidaan tulostaa esim. erillisellä printterillä tai virtalähteeseen sisäänrakennetulla kirjoittimella (kuva 50), hitsauksen aikana sektori- ja palkokohtaisesti mitatut parametrit. [12, s. 5 - 6.]

Arvoista näkyvät hitsausnopeus, virta, jännite, langansyöttönopeus ja hitsausteho. Tulosteesta näkee samalla mitä virtalähdettä käytettiin, päiväyksen, ajan ja palkonumeron sekä hitsauksen kokonaiskeston. [19, s. 23.]



Kuva 50. Virtalähteeseen PS-164 sisäänrakennettu kirjoitin hitsauksen tosiarvojen tulostamiseksi [14]

Hitsausprosessin jälkeen voidaan hitsausohjelma tarvittaessa tulostaa virtälähteestä paperille vaikka joka hitsausauman jälkeen [4, s. 28].

Tulosteesta (kuva 51) on helppo verrata toteutuneita hitsausparametrejä asetusarvoihin ja todentaa mahdolliset poikkeamat [10, s. 1].

POLYSOUDE			
PS 204			
L633 5.9			
SUOMEN TEKNIHITTAUS OY			

42.402			

U	I21	U42	
(V)	(A)	(%)	

12.2	076	0000	

U	I22	U32	U42
(V)	(A)	(%)	(%)

S01 = 0000 D			
12.0	076	0005	0000
12.0	076	0005	0000
11.9	076	0090	0000
11.9	076	0000	0000
11.9	076	0076	0000
11.8	076	0006	0000
11.8	076	0003	0000
11.8	076	0079	0000
11.8	076	0004	0000
11.7	076	0008	0000
11.7	076	0077	0000
11.6	076	0079	0000

S02 = 0125 D			
11.6	076	0075	0000
11.7	076	0001	0000
11.6	076	0076	0000
11.7	076	0000	0000
11.6	076	0002	0000
11.6	076	0079	0000
11.6	076	0005	0000
11.7	076	0003	0000
11.6	076	0003	0000
11.6	076	0003	0000
11.6	076	0001	0000
11.6	076	0000	0000
11.7	076	0070	0000
11.5	076	0077	0000

S03 = 0279 D			
11.5	076	0070	0000
11.4	075	0075	0000
11.4	075	0079	0000
11.6	075	0070	0000
11.4	075	0077	0000
11.3	075	0006	0000
11.4	075	0091	0000
11.4	075	0002	0000
11.4	075	0006	0000
11.7	075	0004	0000

S04 = 0373 D			
10.8	060	0000	0000
09.4	031	0004	0000
12.3	004	0005	0000

>>>>> ! OK ! <<<<<<			
→ 14:07:25 07-10-02			
↖ 04'51" N=0400 D			

Kuva 51. Ote virtälähteestä PS-164 saadusta tulosteesta [17]

6.5.3 Weldoc WMS 4000

Weldoc WMS 4000 on tietokoneohjelma, joka täyttää kansainvälisen laatu-järjestelmästandardin ISO 9000/SS-EN 729 vaatimukset. Ohjelman avulla hitsausparametrit nähdään reaaliaikaisesti ja sen kapasiteetti voi riittää jopa useamman kymmenen parametrin valvontaan ja rekisteröintiin. Hitsausprosessin jälkeen saadaan tulosteena mitatut parametrit. [22, s. 5.]

7 MEKANISOIDUN TIG-HITSAUSLIITOKSEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS

7.1 Liitoksen suunnittelu

Mekanisoidun TIG-hitsauslaitteiston käyttö vaikuttaa putkien mitoitukseen sekä hitsattavien putkiliitosten sijoitukseen, muotoiluun ja valmistukseen [9, s. 18].

Suunnittelijan on tunnettava yrityksessä olevien mekanisoitujen TIG-hitsauslaitteiden käyttöalue, eli tunnettava sopivat putkikoot ja jo hitsatut materiaalit sekä pyrittävä käyttämään ensisijaisesti niitä. Tämä ehkäisee joutumasta tekemään jatkuvasti uusia hitsausohjelmia ja näin voidaan käyttää mekanisointia mahdollisimman tehokkaasti hyväksi. [9, s. 18.]

Suunnittelijan tulee myös huomioida, että kahta putkikäyrää ei mekanisointilaitteella voida hitsata yhteen, vaan ainakin toisen hitsattavista kappaleista tulee olla suora. Lisäksi laitteiston toiminta tarvitsee toimiakseen tarvitsemansa tilan ja se asetetaan aina suoran putken päälle. [9, s. 18.]

7.2 Putkiliitosten esivalmistelut

Mekanisoidussa hitsauksessa liitoksen esivalmistus vaatii paljon huolellisempaa ja tarkempaa työtä kuin käsinhitsauksessa, jossa hitsaaja voi paikata tarvittavat esivalmistuksen epätarkkuudet kädentaidoillaan [10, s. 4].

Mekanisoidussa hitsauksessa kone tekee vain sen mitä sille on ohjelmoitu, eikä se pysty reagoimaan vaihtelevaan ilmarakoon tai railokulmaan. Käytännössä mekanisoitu putken hitsaus vaatii aina mekanisoidun esivalmistuksen. [4, s. 16.]

Hitsattavan liitoksen puhtaus on myös tärkeimpiä vaatimuksia hitsauksen onnistumiseksi. Esimerkiksi rasvat, öljyt, maalit, lastuamismesteet, väriliidut, kemikaalit ja koneöljyt voivat huomattavasti vaikeuttaa hitsaustapahtumaa. Näin on erittäin tärkeää, että putkien päät puhdistetaan huolellisesti ennen railon valmistusta. [5, s. 38.]

7.2.1 Putkien mittatarkkuus

Mekanisoidussa hitsauksessa kaiken pitää alkaa jo putkien riittävällä mittatarkkuudella. Putkistandardien mittatoleranssit esim. halkaisija, seinämänpaksuus ja epäpyöreys ovat usein liian väljät, mistä syystä putkien päät eivät ole välttämättä hyvin kohdallaan. Putkien hankintavaiheessa voi olla tarpeen esittää tästä syystä normaalia tiukemmat toleranssivaatimukset. [4, s. 16.]

Hitsattaessa alle 3 mm:n ohutseinämäisiä putkia ilman lisäainetta, niin putkien toleranssit ovat taulukon 9 mukaiset.

Taulukko 9. Toleranssi vaatimukset alle 3 mm:n putkelle mekanoisoidussa TIG-hitsauksessa [4, s. 16]

seinämänpaksuus ($t < 3 \text{ mm}$) :	$\pm 10 \%$ (tai jopa $\pm 5 \%$)
halkaisij $\varnothing < 63,5 \text{ mm}$:	$\pm 0,5 \text{ mm}$
pyöreys :	sisältyy halkaisijaan
päiden suoruus ($\varnothing < 63,5 \text{ mm}$) :	max $0,5^\circ$
päiden suoruus ($63,5 < \varnothing < 114,3 \text{ mm}$) :	max $1,0^\circ$

7.2.2 Putkien katkaisu ja railonvalmistus

Kun käytetään putkien katkaisuun perinteisesti kulmahiomakonetta, joudutaan päittäisliitosten käsinhitsauksessa yleensä olemaan tarkkana ja korjaamaan mahdolliset liitoksen epätarkkuudet sulaa levittämällä. Mekanisoidussa TIG-hitsauksessa tarkka putkien sovittaminen ilmaraon ja suoruuden suhteen on välttämätöntä. Mekaaninen leikkaus putkisahaa käyttäen parantaa ja nopeuttaa leikkausjälkeä merkittävästi. Putkisahan käytöllä saadaan päittäisliitosten epätarkkuudet vältettyä ja saadaan putkien päät sopimaan toisiinsa hyvin. [24.]

Mekaanisen putkisahan käytöllä (kuva 52) saadaan leikkauspinta, joka on suora ja sellaisenaan valmis sekä käsin- että automaattihitsaukseen. Laitteen runkoon puristettu sahattava putki on paikallaan ja sahanterä pyörähtää putken ympäri. [24.]

Markkinoilta löytyy paljon erilaisia putkisahoja, käyttöalueen kattaessa putkihalkaisijat 6 - 325 mm [24].



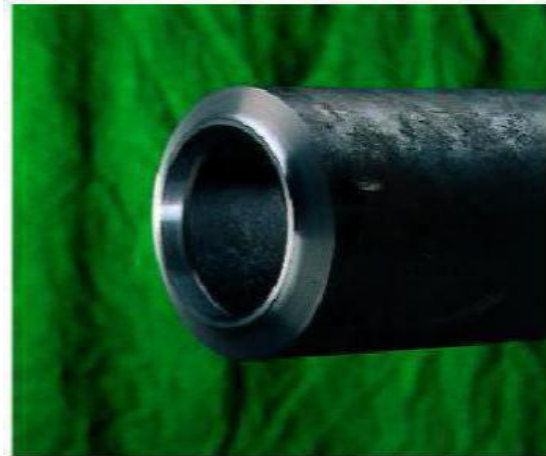
Kuva 52. Putkien konesaha [14]

Paksuseinämaisille putkille railon valmistus tehdään jyrsimällä käyttäen erilaisia siirrettäviä railojyrsimiä (kuva 53). Niillä voidaan samanaikaisesti katkaista putki ja tehdä siihen tarvittava viiste. [24.]



Kuva 53. Putkien railojyrsin [14]

Railojyrsimiä voidaan käyttää sekä käsinhitsaukseen että mekanisoituun hitsaukseen. Tyypillinen paksuseinämainen railo työstetään kolmella, pyörivään työkaluun kiinnitetyllä teräpalalla. Yksi teristä oikaisee mahdollisesti vinoon sahatun pinnan, toinen teristä tekee hitsausviisteen ja kolmas teristä saa aikaan tarvittavan juuripinnan (kuva 54). Railo saadaan kerralla valmiiksi yhdellä kiinnityksellä ja se pysyy putkesta toiseen vakiona. [24.]



Kuva 54. Railojyrsimellä tehty valmis viiste ja 2 mm:n juuripinta [14]

Railojyrsimillä voidaan viistää putket ulkohalkaisija-alueella 30 - 355 mm ja seinämävahvuuden ollessa maksimissaan 33 mm. Käytettäessä pneumaattisia raskaan sarjan laitteita, on suurin ulkohalkaisija 610 mm ja seinämävahvuuden ollessa maksimissaan 60 mm. [13, s. 5.]

7.2.3 Putkien kiinnitys hitsausta varten

Hitsauskiinnittimiä niihin liittyvine ohjaimineen ja runkoineen käytetään pitämään putket hitsausta varten paikoillaan toisiinsa nähden oikeassa asemassa keskenään sekä pitämään nämä paikoillaan prosessin ajan. Putkien päät on silloitettava, jos kiinnittimiä ei käytetä. [25, s. 2.]

Mekanisoidussa TIG- hitsauksessa siltahitsien käyttöä tulisi välttää ainakin vaativimmissa töissä, koska siltahitsien päihin jää helposti hitsausvirheitä ja sulan käyttäytyminen muuttuu niiden kohdalla. [5, s. 41.]

Hitsauskiinnittimen tulee täyttää seuraavat ehdot [25, s. 2]:

- § putkien helppo laittaminen kiinnittimeen ja poistaminen hitsauksen jälkeen
- § helppo pääsy hitsauskohteeseen
- § kiinnitin asettaa hitsattavat putket haluttuun asentoon ja pitää ne oikeassa asemassa hitsausjännityksistä huolimatta
- § kiinnitin ei estä hitsauspään liikkeitä
- § mahdollisuus nähdä hitsaustapahtuma
- § kiinnitin ei saa aiheuttaa magneettisia puhalluksia liialla massiivisuudellaan
- § kiinnittimien ohjaavien kohtien on oltava suunniteltu niin, ettei niihin pääse kasautumaan roiskeita ja kuonaa.

7.2.4 Liitoksen esivalmistelu-aika

Orbitaali-TIG-hitsauksessa liitoksen esivalmistelu-aika on usein pitempi kuin varsinainen hitsausaika. Liitoksen esivalmistelu-aikaa kuvaa taulukon 10 esimerkki kattilaputkien hitsauksessa.

Taulukko 10. Työajan jakauma kattilaputkien hitsauksessa [4, s. 16]

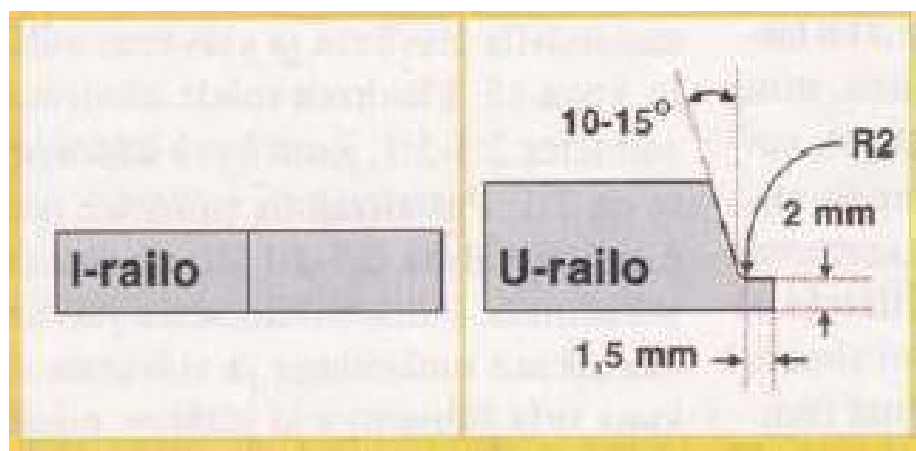
railojen valmistus:	11,0 min
putkien sovituksen tekeminen:	3,0 min
hitsauspään asetus paikoilleen:	2,4 min
hitsaus:	1,3 min
hitsauspään ja kiinnittimen irroitus:	3,5 min
YHTEENSÄ:	21,2 min

Esivalmistuksen kokonaisajasta huomataan, että itse hitsauksen osuus on vain pieni osa koko työajasta. Hitsauksen osuus kasvaa luonnollisesti suurissa ja paksuseinämaisissä putkissa. [4, s. 16.]

7.3 Railomuodon valinta

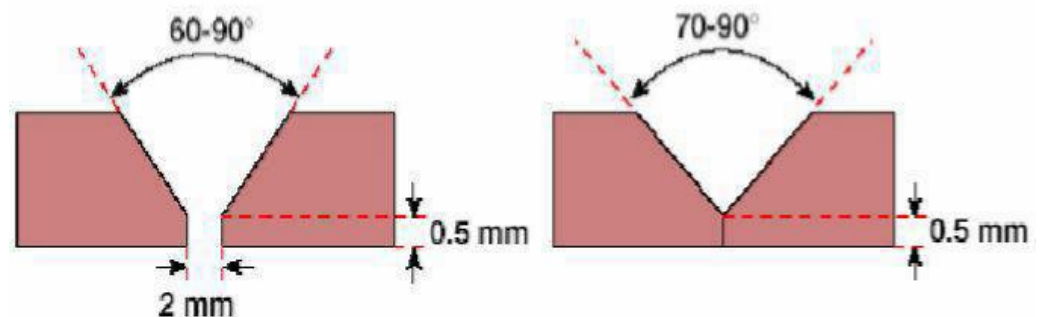
Mekanisoidussa TIG-hitsauksessa railomuodon valintaan vaikuttavat putken paksuus, materiaali, hitsausasento ja käytettävä hitsauslaitteisto [4, s. 19].

Orbitaalihitsauksessa ohutseinämäiset putket hitsataan I-railoon, ilman ilma-rakoa (kuva 55). Hitsaus suoritetaan yhdellä palolla käyttäen lisäainetta tai yleensä ilman lisäainetta. Mekanisoidun TIG-hitsauksen yhteydessä ohutseinämäisillä putkilla tarkoitetaan alle 3 - 3.5 seinämäpaksuuksia. Suuremmille seinämäpaksuuksille tehdään U- tai V (Y)- railo. [15, s. 27.]



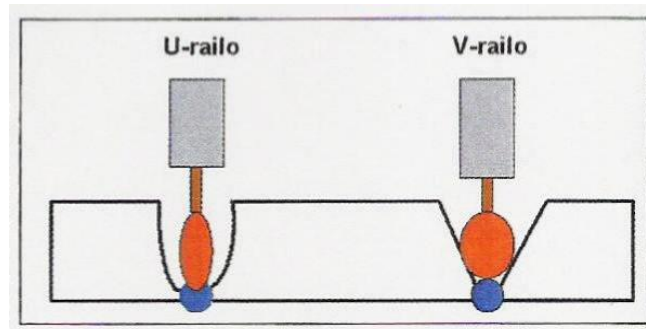
Kuva 55. I- ja U-railomuodot mekanisoidussa hitsauksessa [4, s. 19]

Ilmaraollinen V-railo (kuva 56) on myös mahdollista hitsata, mutta silloin on aina suurempi riski juurivirheeseen [26].



Kuva 56. Ilmaraollinen –ja ilma-raoton V-railo [26]

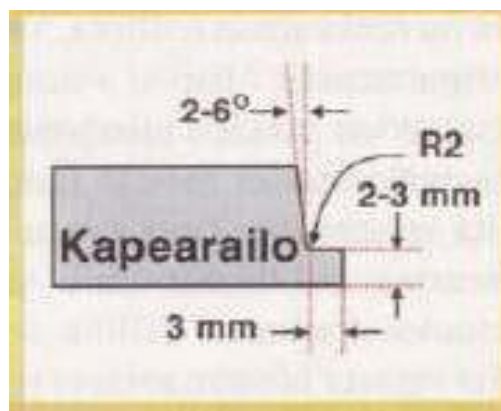
Juuren sulamisen varmistamiseksi pohjapalkkoa hitsatessa, suositellaan yleensä U- railoa V (Y)- railon sijaan. V- railossa juurivirheen vaara kasvaa (kuva 57), kun osa kaaren sulatustehosta menee railon seinämien sulattamiseen. [4, s. 19.]



Kuva 57. Valokaari U- ja V- railossa [4, s. 19]

U- railon käytöllä päästään myös pienempään lisäaineen tarpeeseen, jolla on positiivinen vaikutus tuottavuuteen. Valmiin U- railoon hitsatun hitsin poikkipinta-ala on myös pienempi, ja se on kapea ja suhteellisen tasalevyinen pohjasta pintaan. Näin myös muodonmuutokset (kulmamudonmuutos ja poikittaiskutistuma) jäävät pienemmiksi. [4, s. 19.]

Orbitaalihitsattavien putkien seinämäpaksuuden kasvaessa yli 6 mm:n voidaan käyttää kavennettua U-railoa (kuva 58), kapearailoa (ks. kpl 5.3). Siinä railon poikkipinta-ala ja sulatettava hitsiainemäärä jäävät pieniksi. [4, s. 19.]



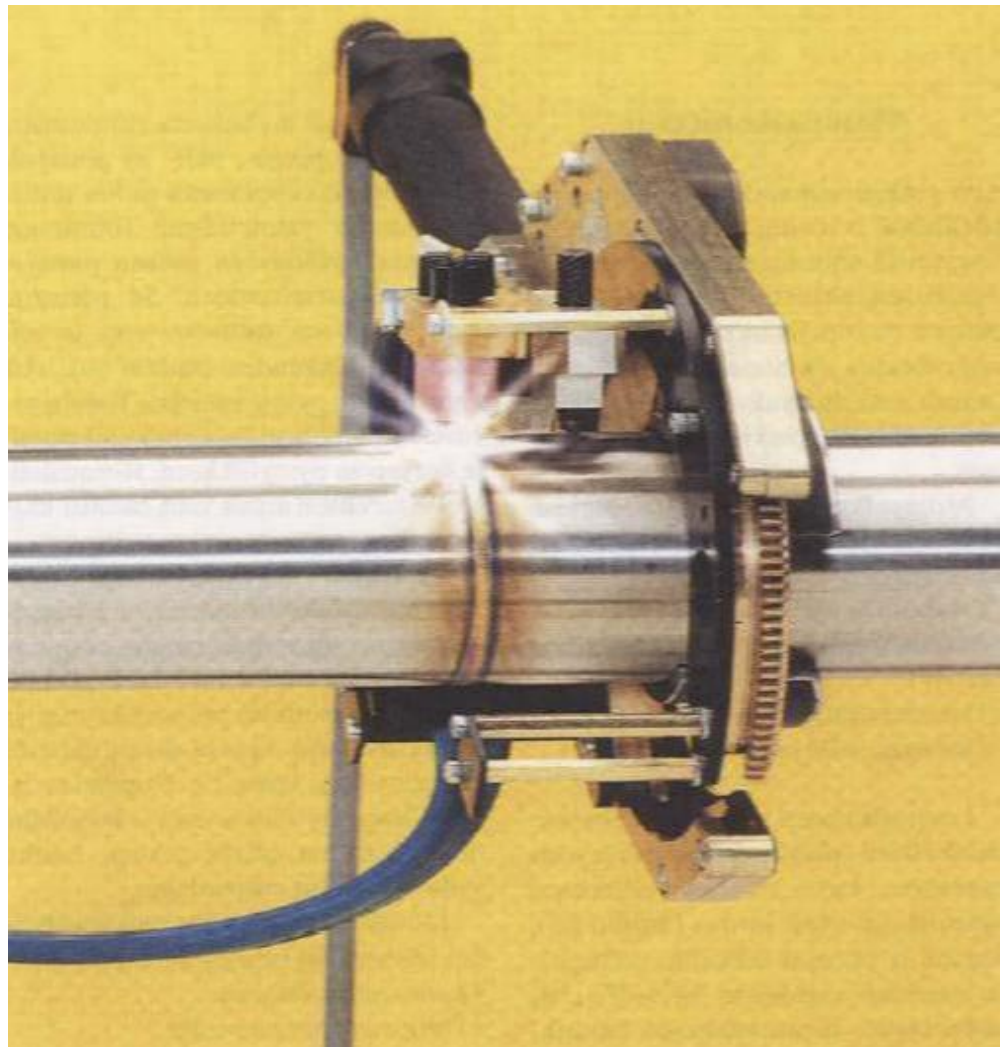
Kuva 58. Kavennettu U-railo, kapearailo [4, s. 19]

8 ORBITAALI-TIG-HITSAUSPROSESSI

8.1 Ohutseinämäisten putkien orbitaali-TIG-hitsaus

Putkien orbitaali-TIG-hitsauksessa hitsauspää kiertää paikallaan olevan putken ympäri (ks. kpl 4).

Yleisimmin TIG-orbitaalia käytetään ohutseinäisten ruostumattomien putkien hitsaukseen (kuva 59). Toleranssit ovat tiukat railolle ja sovitukselle. Railomuotona ohutseinäisillä putkilla, joissa seinämäpaksuuden yläraja on 3 - 3,5 mm, käytetään I- railoa, ilman ilmarakoa. Hitsaus suoritetaan yleensä ilman lisäainetta ja yhdellä palolla. [4, s. 21.]



Kuva 59. Ohutseinäisen ruostumattoman putken orbitaalihitsausta [4, s. 21]

8.2 Paksuseinämaisten putkien orbitaali-TIG-hitsaus

Putkien seinämäpaksuuden kasvaessa siirrytään ohutseinäisten putkien yksipalkohitsauksesta paksuseinäisten putkien monipalkohitsaukseen (kuva 60). Monipalkotekniikan käyttö on huomattavasti vaativampaa kuin yksipalkotekniikan ja siinä tulee hitsaukseen mukaan myös langansyöttö, levitysliike eli vaaputus ja automaattinen kaaripituuden säätö eli AVC-toiminto. [15, s. 28.]



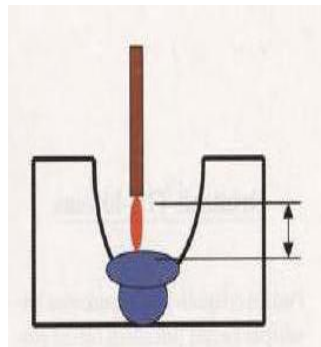
Kuva 60. Paksuseinäisen putken monipalkko-orbitaalihitsausta [21]

8.2.1 AVC eli automaattinen kaaripituuden säätö

AVC:n tarkoituksena on pitää valokaaren pituus vakiona riippumatta siitä hit-sataanko pohja-, väli- tai pintapalkkoa. TIG- hitsauksessa valokaaren pituus vaikuttaa kaarijännitteeseen ja valokaaren pidentyessä jännite kasvaa. [13, s. 5.]

AVC-toiminto mittaa hitsauksen aikaista jännitettä ja jos mitattu jännite poikkeaa ohjelmoidusta, korjaa automaattisesti valokaaren pituuden oikeaksi (kuva 61) [9, s. 10].

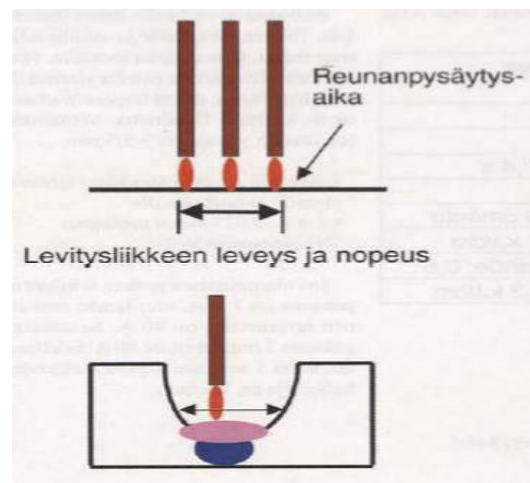
Monipalkohitsauksessa jokaisen hitsatun palkkerroksen jälkeen on poltinta nostettava ja näitä toimintoja varten hitsaimessa pitää olla korkeusluisti, jota ohjataan valokaaren jännitteestä saadulla signaalilla. [13, s. 5.]



Kuva 61. Kaaripituuden säätötoiminto AVC [14, s. 28]

8.2.2 Levityslieki eli vaaputus (OCS)

Railokylkien sulaminen railon leveyden kasvaessa varmistetaan levitysliekin avulla. Toimintoa varten tarvitaan vaaputusluisti, jolla saadaan poltinta liikuteltua hitsaussuuntaan katsottuna poikittain (kuva 62). [13, s. 5.]



Kuva 62. Levityslieki [4, s. 22]

Pohjapalkko hitsataan aina ilman levityслиikkettä, mutta täyttö- ja pintapalkojen hitsauksessa sitä voidaan käyttää (kuva 63) [13, s. 5].



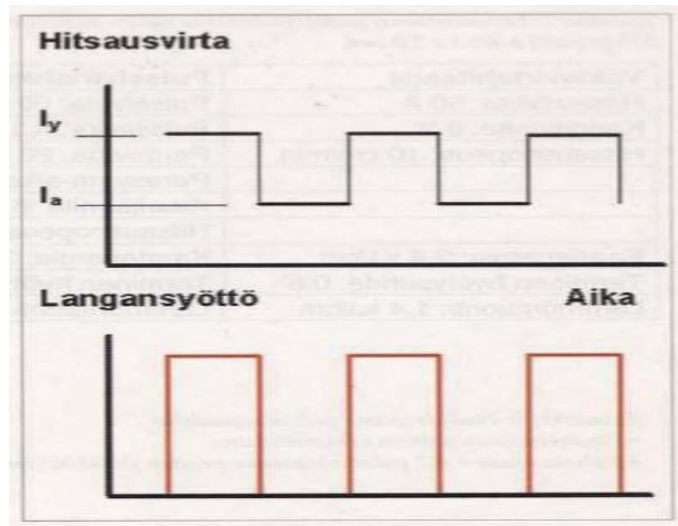
Kuva 63. Laadukas levityслиikkein saavutettu orbitaalihitsin pintapalkko [21]

Railokylkien sulamisen varmistamiseksi luistia varten ohjelmoidaan pitoajat laidoilla. Levityслиikkeen leveyttä kasvatetaan railoleveyden kasvaessa eli jokaisen palkokerroksen jälkeen. [13, s. 5.]

8.2.3 Langansyöttö

Paksuseinäisten putkien monipalkohitsauksessa tarvitaan aina lisäainetta, mitä ei ohutseinämaisillä putkilla välttämättä tarvita [4, s 22].

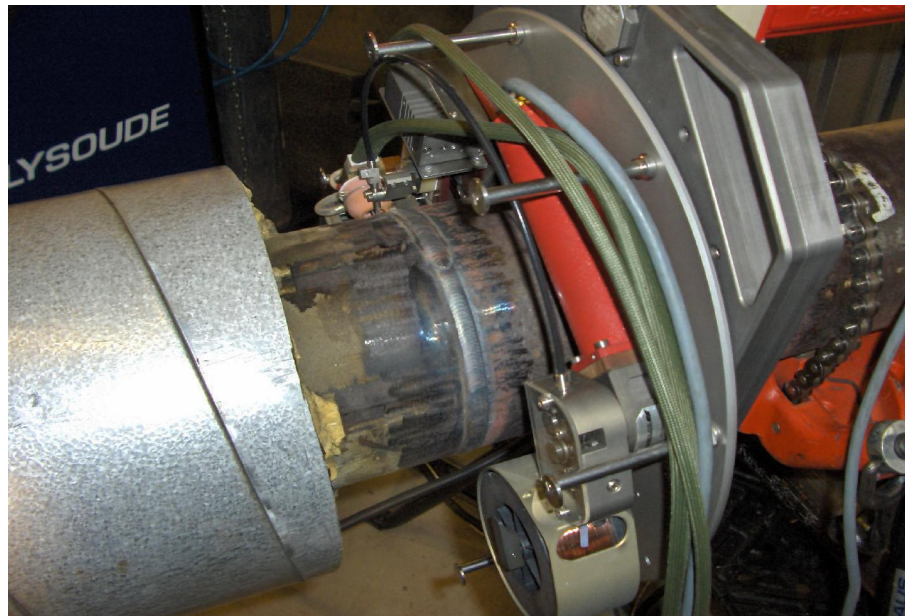
Langansyöttölaite voi syöttää lankaa jatkuvasti vakionopeudella tai ohjelmoidusti pulssitettuna langansyöttönä (kuva 64). Lanka syötetään sulan etupuolelta ja sen kohdistuksen sekä suunnan, täytyy olla nopeuden lisäksi oikeat. Hitsauslangat ovat tavanomaisia ohuita kelalla olevia MIG/MAG-lankoja, joita on saatavilla erikokoisilla pikkukeloilla aina 0,5 kg:stä lähtien. [14, s. 28.]



Kuva 64. Pulssituksen ja langansyötön synkronointi [4, s. 22]

Monipalkohitsaus (kuva 65) tuo mukanaan lisää säädettäviä hitsausparametrejä, joita ovat [4, s 22]:

- § Langansyöttönopeus ja sen pulssitus
- § Levitysliikkeen leveys (amplitudi) ja sen nopeus
- § Levitysliikkeen pysähtymisajat reunoilla

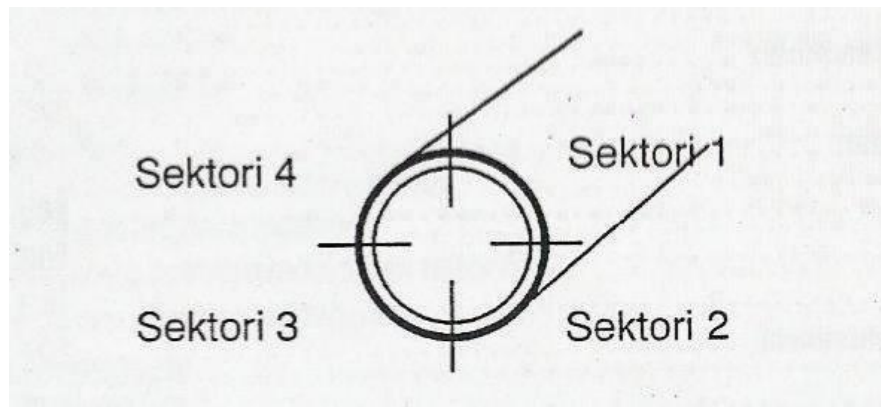


Kuva 65. Orbitaali-monipalkohitsausta asennusolosuhteissa [21]

8.3 Orbitaalihitsauksen ohjelmointi

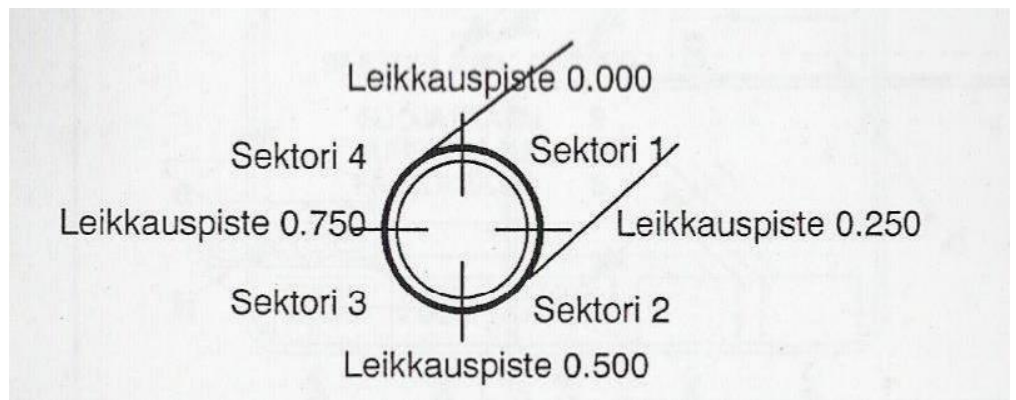
8.3.1 Sektorit

Orbitaali-TIG-putkihitsausohjelmaa laatiessa voidaan ohjelma jakaa eri osiin, *sektoreihin* (kuva 66). Jokainen sektori vastaa tiettyä osaa putken ympärysmittasta ja jokaiselle osalle (sektorille) voidaan jakaa oma ryhmänsä eri hitsausparametrejä. [27.]



Kuva 66. Sektorijako [27]

Sektoreihin jako hitsausohjelmaa luodessa tapahtuu siten, että tehdään sektoreille leikkauspisteet, jotka ilmoitetaan putken ympärysmittan eri kohtiin (kuva 67). Jokainen luotu sektori on samalla uuden sektorin aloituskohta. [27.]



Kuva 67. Sektoreitten leikkauspisteet [27]

8.3.2 Hitsausparametrit

Orbitaalihitsauksessa käytetään yleensä erilaisia hitsausparametrejä hitsauksen aikana (kuva 68). Tarve tulee siitä, että hitsausasento muuttuu koko ajan. Esimerkiksi kaikki tunnetut hitsausasennot esiintyvät vaakaputken orbitaalihitsauksessa [4, s. 22.]:

- § PA (jalko)
- § PG (alamäki)
- § PE (laki)
- § PF (pysty)



Kuva 68. Hitsausparametrien ohjelmointi sektoreittain [15, s. 29]

Ennen hitsauksen aloittamista ohjelmoidaan erilaiset parametrit eri sektoreille. Sektoreiden ei tarvitse olla yhtä suuret. Tähän tarkoitukseen tarvitaan ohjelmoitava virtalähde. Valmiista hitsistä saadaan näin tasakokoinen ja tunkeumaltaan samanlainen joka puolelta putkea (kuva 69). [4, s. 23.]



Kuva 69. Valmis tasakokoinen ja tunkeumaltaan samanlainen joka puolelta putkea oleva AISI 316 L:n orbitaalihitsi

Hitsisulaan ja mahdollisiin hitsin valumisiin vaikuttaa painovoima. Lisäksi kun prosessi on aloitettu, alkaa hitsattava putki lämmetä heti aloituskohdan jälkeen. Kun lämpö kasvaa hitsauksen edetessä, niin hitsausvirtaa pienennetään asteittain. Näin voidaan vaikuttaa hitsauksen hallittavuuteen, sulaan ja tunkeumaan. [4, s. 22.]

Käyttämällä eri parametrejä orbitaalihitsauksessa, saadaan prosessi tasapainoon. [15, s. 29.]

Teoriassa on mahdollista saada yhden kierroksen aikana nykyaikaisilla mekanisoidun hitsauksen virtalähteillä parametrien muuttaminen satoja kertoja mahdolliseksi. Tähän ei ole normaalisti tarvetta. [4, s. 23.]

Alumiini- ja kupari-nikkeliseoksissa sula on hyvin herkkäliikkeen, joten voidaan joutua ohjelmoimaan yhden kierroksen hitsaukselle parametrit jopa kymmenelle sektorille. Tavallisesti 2 - 5 sektoria riittää. [15, s. 29.]

9 ORBITAALI HITSAUSOHJELMA

9.1 Hitsausohjelman sisältö

Hitsausohjelman tulee määrittellä kaikki se tieto, mikä onnistuneen hitsin aikaansaamiseksi tarvitaan.

Orbitaalihitsausohjelmassa tulee ilmetä seuraavat kohdat [9, s. 24]:

- § hitsauksen aloituskohta
- § hitsaustyökalun pyörimis- eli hitsaussuunta
- § hitsattavien palkojen eli kierrosten lukumäärä ja sen lisäksi niiden jako eri sektoreihin, joille löytyy omat hitsausarvot
- § hitsausvirran arvot, mm. pulssihitsauksessa kaikki sykeparametrit ja sen muutosnopeudet
- § valokaaren pituus tai kaarijännite
- § hitsausnopeus
- § lisääineen syöttö
- § suoja- ja juurikaasun esi- ja jälkivirtausajat
- § esilämmitys- ja jälkivirta-ajat
- § eri toimintojen tahdistaminen toisiinsa sektoreittain ja sykevirran tahdissa

Taulukossa 11 on hitsausohjelma esimerkki, jossa on esitetty hitsausparametrien arvot kolmipalkohitsille. Siinä jokaiselle palolle (kierrokselle) on luotu oma hitsausohjelma. [9, s. 24.]

Ohjelmasta nähdään, että ennen varsinaisen hitsauksen aloittamista liitoskohta esilämmitetään ajamalla yksi kierros putken ympäri. Kierroksen aikana käytetään niin pientä vakiovirtaa, ettei hitsattava liitos sula. Sektorien alku on määritelty koko kierroksen tuhannesosina. [9, s. 24.]

Taulukko 11. Hitsausohjelma putkelle Ø 38 x 6.3mm, x 20 CrMoV 12 1 [9, s. 24]

Paiko	Esi- lämmitys	Pohjapaiko			Väipako				Pintapaiko			
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4
Sektorin alku, kierrosta	0.000	1.000	1.500	1.700	0.000	0.200	0.750	1.000	0.000	0.200	0.750	1.000
Huippuvirta, A	20	150	135	145	120	115	110	115	130	115	120	110
Taukovirta, A	0	35	—	—	30	—	—	—	40	—	—	—
Huippuvirta-aika, s	1	0.37	—	0.41	0.45	—	—	—	0.50	—	—	—
Tauko aika, s	0	0.53	—	0.42	0.48	—	—	—	0.42	—	—	—
Virran alkunousu, s	4.0	4.5	—	—	4.0	—	—	—	4.0	—	—	—
Esiämmitys aika, s	—	8.0	—	—	6.0	—	—	—	5.0	—	—	—
Suojakaasun esivirtaus, s	10	—	—	—	10	—	—	—	10	—	—	—
Juurikaasun virtaus, l/min	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hitsausnopeus, oioo max.	210	630	—	750	460	—	—	—	440	—	—	—
Langansyöttönopeus, cm/min	0	97	—	—	130	150	135	100	190	200	180	90
Kaanjärrite, V	10	12.5	—	—	13	—	—	—	12.5	—	—	—
Levitysilikkeen leveys, mm	6.5	0	—	—	3.5	—	3.7	3.4	7.2	—	—	2.5
Levitysilikkeen jakso, s	5.4	—	—	—	5.2	—	—	—	5.6	—	6.1	—
Pysähdys reunoilla, s	0.9	—	—	—	1.3	—	—	—	1.2	—	—	—
Lopetuskohta, kierrosta	1.000	—	—	2.020	—	—	—	1.030	—	—	—	1.030
Loppuvirta, A	0	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0
Virran laskuaika, s	0.40	—	—	8.0	—	—	—	5.0	—	—	—	6.0
Suojakaasun jälkivirtaus, s	—	—	—	9	—	—	—	9	—	—	—	12

9.2 Hitsausohjelman laadinta

Orbitaalihitsausohjelma laaditaan useimmiten kokeellisesti ja sen laatiminen on erittäin työläs vaihe. Ohjelman tekemiseen kuuluu tavallisesti 100 – 200 tuntia ja siihen saatetaan tarvita yli 100 koehitsiä. Hitsausohjelman työläys johtuu etsittävien parametrien monilukuisuudesta. Parametrejä ei voi analyttisesti määrittellä, vaan oikeat arvot on etsittävä kokeilemalla, niin kauan kuin hyvä lopputulos saavutetaan. [9, s. 24.]

Hitsausohjelman laadinnassa hyvien lähtöarvojen valinta voi merkittävästi helpottaa ja nopeuttaa ohjelmointia [5, s. 52].

1. Hitsattavien putkien seinämäpaksuuden ylittäessä 15 % ulkoal-kaisijasta tai niiden ollessa yli 4 mm, I- railon käyttö täytyy korvata sopivalla railolla lisäaineen kanssa.
2. 1/1 on hyvä tauko- ja huippuaikojen suhde, kun aletaan etsiä uu-sia arvoja.

3. Hitsauspään kuljetusnopeus määräytyy hitsausvirrasta, syketaajuudesta ja vaaditusta hitsausenergiasta. Se on tavallisesti välillä 50 – 150 mm/min.
4. Käytetään pulssihitsausta. Otettava kuitenkin huomioon että pulssien ollessa liian lähellä toisiaan ja taukoajan ollessa näin lyhyt, saattaa syntyvä lämpö aiheuttaa suuren sulan. Vaarana on epätydyttävä hitsin muoto.
5. Elektrodi tulee asettaa mahdollisimman lähelle hitsattavaa putkea, jolloin saadaan kapea ja syvä hitsi. Täytyy ottaa kuitenkin huomioon, ettei mahdollisesti valuva sula tartu elektrodiin kiinni ja että hitsauspäällä voidaan hitsata aloituskohdan yli.
6. Pitkä esilämmitysaika (luokkaa 10 s.) auttaa saavuttamaan nopeasti tasaisen tunkeuman. Loppuvirta-aika, jolla estetään päätekraaterin syntyminen, voi olla lyhyt (luokkaa 1s.).
7. Synkronointi on suositeltavaa kun käytetään vaaputusta ja langansyöttöä. Tällöin langansyöttö voi olla jopa kolminkertainen railon reunassa verrattuna sivuttaisliikkeeseen.
8. Huippuvirran suhde taukovirtaan tulee säätää siten, että taukovirran aikana sulan halkaisija pienenee noin puolella.
9. Pitää pyrkiä mahdollisimman alhaiseen kaarijännitteeseen. Matalamman kaarijännitteen avulla saadaan kapeampia ja tunkeumaltaan syvempiä hitsejä pienemmillä virroilla. Näin on mahdollista saada hitsin sisin palko pysymään sulana mahdollisimman pienen ajan.
10. Parametrien oikean yhdistelmän löytyessä, kappaleen pintajännitys kumoaa painovoiman vaikutuksen. Näin saavutetaan tasainen hitsi kaikissa asennoissa.

Kun tietylle putkikoolle ja -materiaalille on luotu hitsausohjelma, niin samaa ohjelmaa voidaan toistaa tarkasti ja nopeasti. Toistettavuus on hyvä hitsistä toiseen. Tarkoituksena on siis saada samanlainen hitsi kuin ensimmäiselläkin kerralla. [5, s. 53.]

10 ORBITAALIHITSAUKSEN KÄYTTÖ AKER YARDSILLA

10.1 Historia

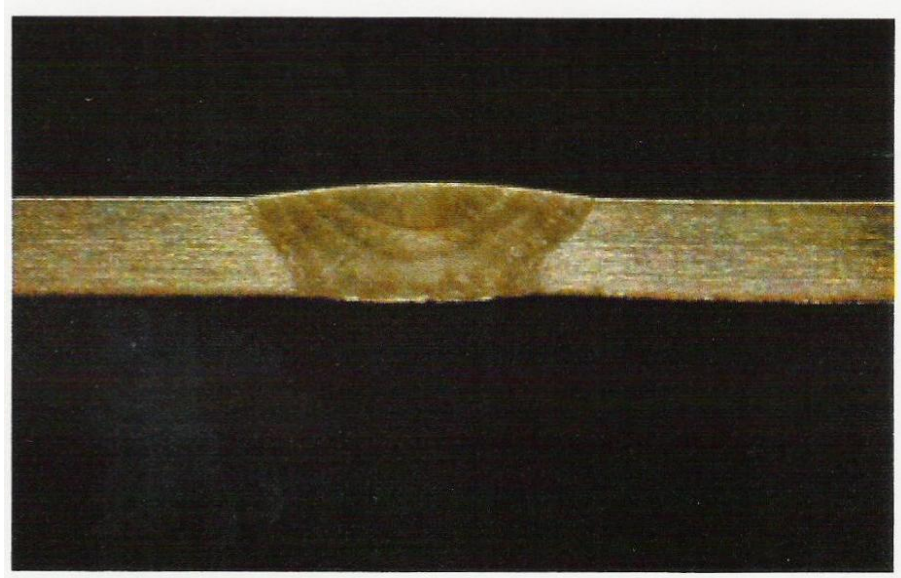
Orbitaali-TIG-hitsausta käytettiin Aker Yardsin Helsingin telakalla vuosina 2002 - 2004 risteilyaluksissa tankkien lämmitysputkistojen hitsaukseen. Putkimateriaalina toimi kupari-nikkeliseos (Cunife) (kuva 70).



Kuva 70. Orbitaalihitsattu Cunife-putki

Asennusolosuhteissa Cunife-putkien liittäminen perinteellisesti juottaen tai manuaalisesti käsin hitsaten oli ollut hyvin aikaa vievää ja virhemäärä oli ollut melko korkea [28].

Orbitaali-TIG-hitsauksella saatiin huomattavasti parempi hitsinlaatu (kuva 71) ja samalla hitsausaikaa saatiin pienennettyä. Lisäksi avoimen liekin käyttö juotettaessa muodosti laivan sisällä työturvallisuus- ja paloturvallisuusrisikin, joka saatiin hitsauksen mekanisoinnilla minimoitua. [29.]



Kuva 71. Laadukas makrohokuva orbitaalihitsatusta Cunife-putkesta [27]

Orbitaalien käytössä otettiin huomioon rakennusvaihe, jolloin luoksepäästävyys oli hyvä mekanisoidulle TIG-hitsaukselle. Tämä tapahtui kaksoispohjien ollessa nurinpäin, ennen laidoituksen asentamista. Näin varmistuttiin hyvästä laadusta, koska olosuhteet olivat hallissa aivan eri luokkaa kuin laivavaiheessa. [28.]

10.2 Nykytilanne

Aker Yardsin Turun telakalla orbitaali-TIG-hitsausta on käytetty vuodesta 2004 asti pajaolosuhteissa haponkestävien ja ruostumattomien soviteputkien hitsaukseen. Tämä prosessi tapahtuu seuraavasti.

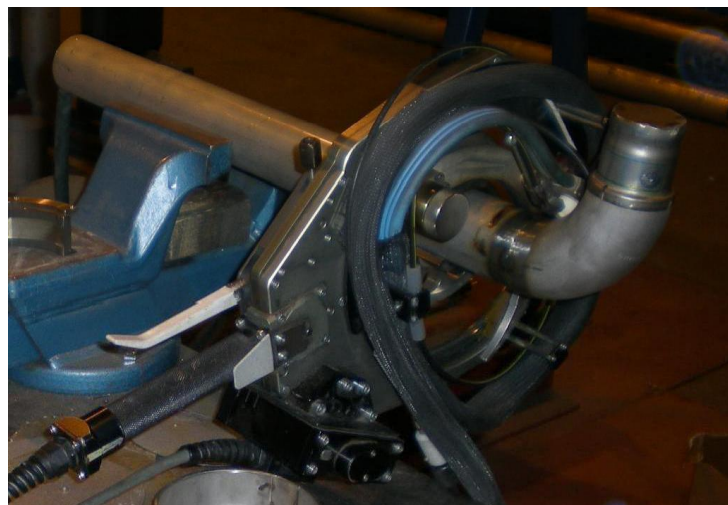
Soviteputken muodoista ja mitoista vastaa asentaja, joka toimittaa piirustukset ja mallineet putkipajalle putken valmistamista varten. Pajalla orbitaalihitsausoperaattori sahaa putken oikean pituiseksi ja asentaa mahdolliset haarat, supistukset, laipat ja päittäisliitokset. Tämän jälkeen hän suorittaa huolellisen esivalmistuksen jälkeen itse orbitaalihitsauksen, virtalähteen ohjelmointipaneeliin tallennettujen hitsausohjelmien avulla. [30.]

Käyttöalueena on ruostumattoman austeniittisen teräksen EN 1.4432 / AISI 316 L:n putkikoot $\varnothing 60,3 \times 2,0$ - $\varnothing 168,3 \times 3,2$ [30].

Aker Yardsin Turun telakalla käytössä on Protig 450-virtalähde (kuva 72), joka soveltuu myös monipalkohitsaukseen, sekä A1 PRC 60-170 iso hitsaus työkalu putkihalkaisijoille 60 - 170 mm (kuva 73), jonka ominaisuuksiin on vaaputustoiminto (OCS) ja kaarijännitteensäätö (AVC).



Kuva 72. Aker Yardsin Turun telakalla käytössä oleva Protig 450-virtalähde, joka soveltuu monipalkohitsaukseen (ks. kpl 8.2)



Kuva 73. A21 PRC 60 - 170 avopihti, jonka ominaisuuksiin kuuluvat AVC- ja OCS-toiminnot (ks. kpl 8.2.1)

11 PROJEKTIN TAVOITTEET

Tämän projektin tavoitteena oli useiden koehitsien avulla laatia orbitaali-TIG-hitsausohjelma saumattomalle ja seostamattomalle teräsputkelle S355J2H, EN10210 / Ø 48,5 x 4,5.

Aluksi perehdyttiin teoriatietoon ja sitten itse orbitaali-TIG-laitteistoon. Käytössä oli Helsingin koehitsaamossa Prowelder 160 LTS-virtalähde ja siihen kaksi hitsaustyökälua, PRB 17-49 ja PRB 33-90.

Ennen varsinaista projektia kasattiin *tietopankki*, koskien TIG- ja TIG-orbitaalihitsausta ja niiden sovellutuksista, aivan *ruohonjuuritasolta* lähtien. Tämän jälkeen aloitettiin koehitsaukset AISI 316 L:n parissa ja siitä siirryttiin saumattomalle ja seostamattomalle teräsputkelle S355J2H, EN10210 / Ø 48,5 x 4,5.

Tarkoituksena oli löytää koehitsien avulla oikeat hitsausparametrit tasalaatuisen sekä virheettömän hitsausliitoksen aikaansaamiseksi ja suorittaa virallisen menetelmäkoestandardin SFS-EN 288-3 (EN ISO 15614-1) sisältämät rikkova ja rikkomaton aineenkoetus.

Ainetta rikkomaton tarkastus (NDT) Polartest Oy:n toimesta ja ainetta rikkova Helsingin ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratoriossa.

12 KOEHITSAUKSET

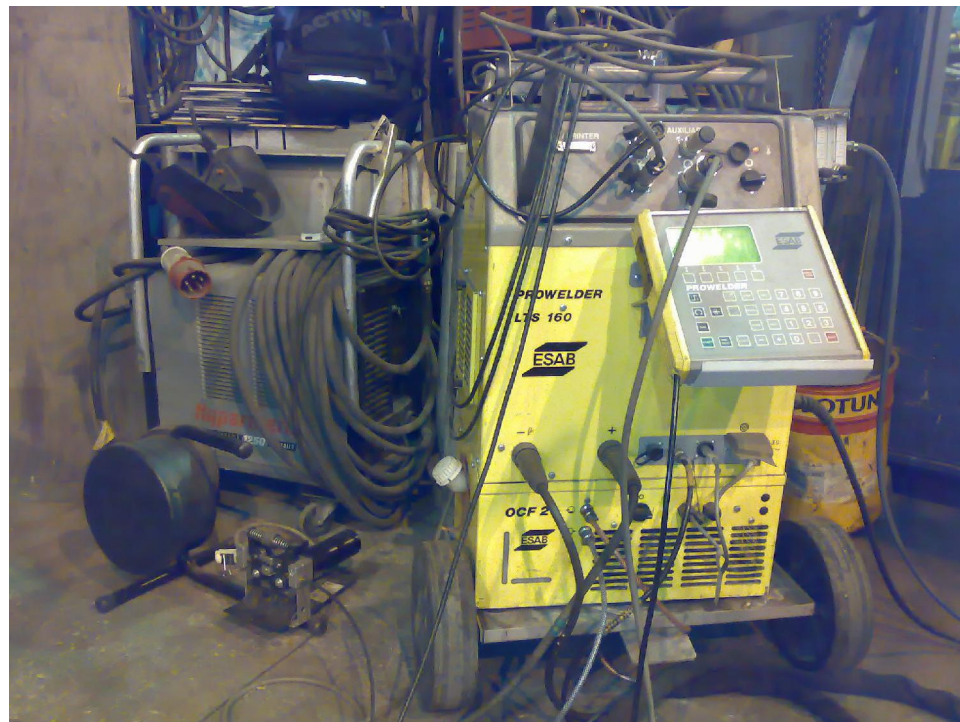
12.1 Koehitsauksissa käytetty orbitaali-TIG-hitsauslaitteisto

Koehitsauksissa käytettiin orbitaalihitsauslaitteistoa, joka koostui seuraavista komponenteista:

- § Virtalähde Prowelder 160
- § Ohjausyksikkö
- § Keskikokoinen hitsauspihti PRB Ø 33-90
- § Pieni hitsauspihti PRB Ø 17-49
- § Langansyöttölaite

12.1.1 Virtalähde

Virtalähteenä toimi Prowelder LTS 160, joka on tasavirtatyypinen, mekaaniseen TIG-hitsaukseen tarkoitettu hitsausvirtalähde (kuva 74) [31].



Kuva 74. Virtalähde Prowelder LTS 160, ohjaus- ja langansyöttöyksikkö

LTS 160 on puhallinjäähdytteinen ja siinä on sisäänrakennettu jäähdytysjärjestelmä hitsaustyökalujen vesijäähdytystä varten. Virtalähteessä on myös liitäntävalmius ulkoiseen PC:hen. [31.]

LTS 160 on varustettu myös ohjelmointipaneelilla, jolla voidaan ohjelmoida eri parametrit hitsaustyökalulla hitsatessa [31].

12.1.2 Hitsauspihdit

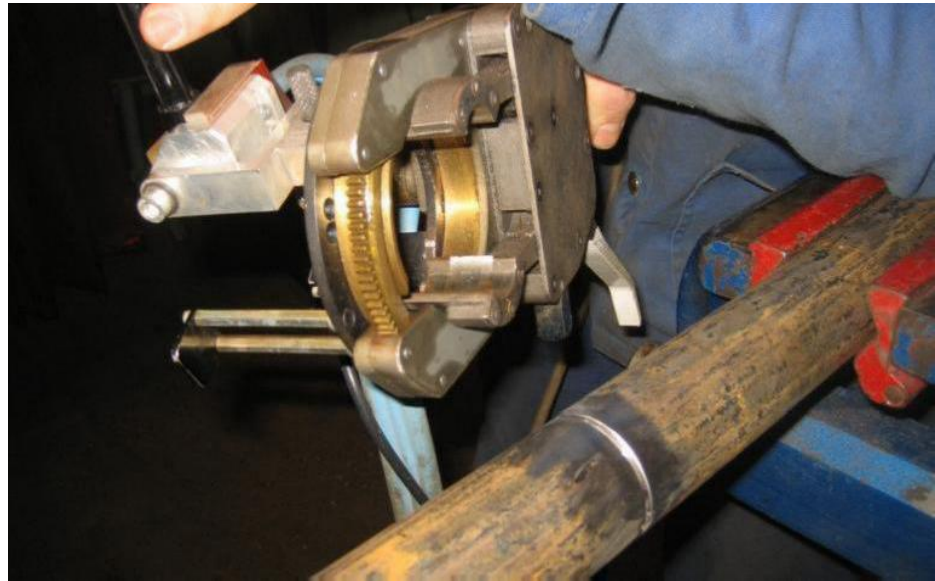
Putken hitsaustyökaluna käytettiin kahta eri pihtityyppiä (kuva 75):

- § hitsaustyökalu PRB 33-90, joka soveltuu käytettäväksi halkaisijaltaan 33 – 90mm oleville putkille
- § hitsaustyökalu PRB 17-49, joka soveltuu käytettäväksi halkaisijaltaan 17 – 49 mm oleville putkille.



Kuva 75. Hitsaustyökalut PRB 17-49 ja PRB 33-90

Hitsaustyökalu lukitaan hitsausasentoon lukkopihtiperiaatteella, mikä mahdollistaa työkalun tarkan ja nopean kiinnittämisen hitsattavaan putkeen. Hitsatessa hitsaustyökalussa pyörii vain hammaskehä (kuva 76) siihen kiinnittyvine osineen. Hammaskehästä on poistettu palanen, ja näin voidaan työkalu asettaa helposti myös putken keskelle (kuva 77).



Kuva 76. Hitsaustyökalun pyörivä hammaskehä



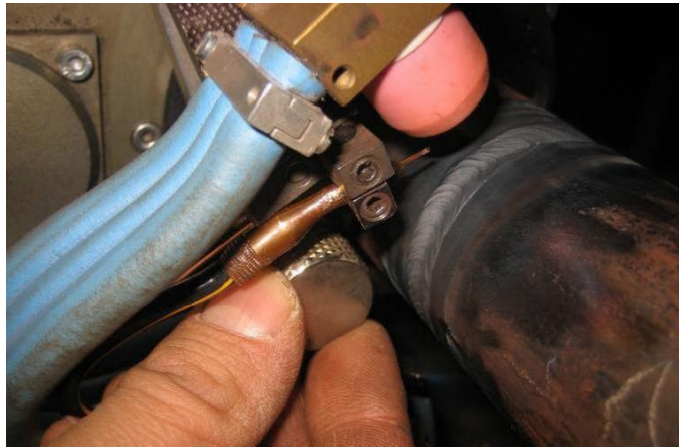
Kuva 77. Hitsaustyökalun kiinnitys

Elektrodin etäisyys hitsattavaan railoon nähden ja elektrodin sivuttaissuunnan säätö tapahtuvat erillisillä säätöruuveilla (kuvat 78 ja 79).

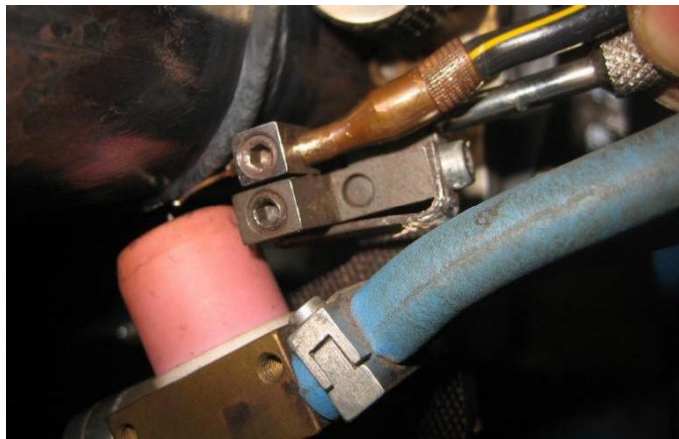
Hitsaustyökaluilla PRB 33-90 ja PRB 17-49 voidaan hitsata myös lisäainelangan kanssa ja näin voidaan asettaa erillinen langansyöttöyksikkö TIG-hitsauslaitteeseen. Lisäainelangan kohdistaminen railoon nähden hitsaustyökalussa tapahtuu myös erillisellä säätöruuvilla (kuva 80).



Kuva 78. Hitsattavan railon kohdalle asetettava elektrodin etäisyys säädetään kohdalleen säätöruuvilla.



Kuva 79. Elektrodin sivuttaissuunnan säätö



Kuva 80. Lisäainelangan kohdistus

12.2 Orbitaali-TIG-hitsauksen suoritus

12.2.1 Ensimmäinen vaihe

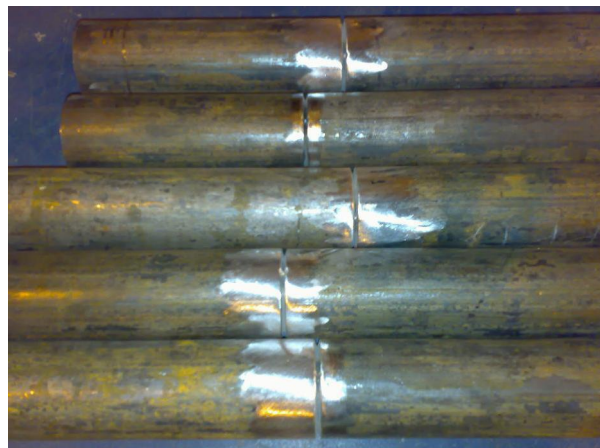
Ensimmäisenä vaiheena oli hitsattavien putkien sahaaminen, puhdistaminen ja railon valmistus. Sahaamalla valmistettiin *AISI 316 L:n* $\varnothing 60,3 \times 2,0$ hitsausrailo, joka hitsattiin I-railoon ilman ilmarakoa. Sahausjälki oli sellaisenaan hyvä, mutta purseiden poisto täytyi suorittaa puhdistamisen yhteydessä.

Hitsausrailo saumattomalle ja seostamattomalle teräsputkelle $\varnothing 48,3 \times 4,5$ valmistettiin manuaalisorvilla. Markkinoilta löytyy erilaisia siirrettäviä railojyrsimiä, joilla voidaan samanaikaisesti katkaista putki ja tehdä siihen tarvittava viiste (ks. kpl 7.2.2). Myös mekaanisia putkisahoja löytyy, jolloin saadaan tarkka sahauspinta.

Hitsattavien putkien puhdistaminen tapahtui käsityökaluin railon valmistuksen yhteydessä. Puhdistettava alue oli hitsattava railo ja tämän välitön läheisyys, jolloin saatiin korroosiotuotteet ja epäpuhtaudet poistettua.

12.2.2 Toinen vaihe

Toisena vaiheena oli putkien keskittäminen hitsaustelineessä ja siltahitsien hitsaaminen (kuva 81). Siltahitseissä ei käytetty lisäainetta, vaan putket *heftattiin* sulattamalla perusainetta. Näin varmistettiin orbitaalihitsaustyökaluun integroidun lisäaineen esteetön ja tasainen siirtyminen hitsausrailoon.



Kuva 81. Puhdistettuja ja siltahitsattuja $\varnothing 48,3 \times 4,5$ seostamattomia teräsputkia

Käytetyt siltahitsitsit olivat pieniä ja ne sulatettiin uudestaan varsinaisessa orbitaalihitsauksessa (kuva 82). *Heftatessa* putkia ei käytetty juurikaasua, mutta AISI 316 L:n putkissa hiottiin siltahitsien kohta huolellisesti juuren puolelta. Asennusolosuhteissa juurikaasu on välttämätön kyseiselle materiaalille hapettumisen estämiseksi.



Kuva 82. AISI 316 L:n hitsaushefti

12.2.3 kolmas vaihe

Kolmantena vaiheena asennettiin siltahitsattu putki ruuvipenkkiin tukevasti ja kohdistettiin hitsaustyökalu tarkasti hitsattavan railon kohdalle (kuvat 83 ja 84). Tämän jälkeen vapautettiin kehä erillisellä pihtiin asennetulla kytkimellä ja pyöritettiin sille pari kierrosta myötäpäivään ennakkoo. Näin saatiin letkupaketille tilaa pyöriä, koska varsinainen hitsausprosessi eteni vastapäivään. Ruuvipenkkiin oli asennettu *leuat*, jotka tukivat hitsattavaa putkea ja estivät pinnan vaurioitumisen.



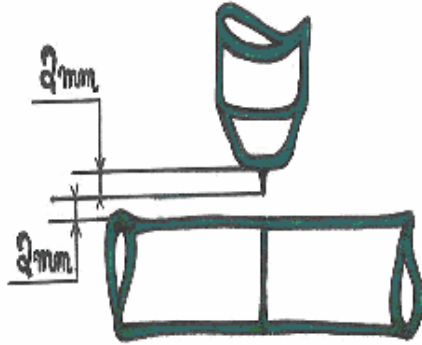
Kuva 83. AISI 316 L:n kiinnitys hitsausta varten



Kuva 84. Orbitaalihitsausprosessi valmiina alkamaan

Seuraavana vuorossa oli elektrodin korkeuden säätö, joka tapahtui manuaalisesti hitsaustyökalusta. Korkeudeksi säädettiin elektrodille 2 mm putken pinnasta. Tämä etäisyys osoittautui kokeilujen tuloksena parhaaksi, ja näin vältettiin valuvan hitsaussulan koskettaminen elektrodiin ja pystyttiin hitsaamaan aloituskohdan yli.

Wolframielektrodin ulkonema kaasuholkkiin nähden oli myös kummassakin tapauksessa 2 mm (kuva 85). Elektrodin sivuttaissuunnan säädön pystyi myös tarkentamaan hitsaustyökalusta siihen tarkoitetulla säätöruuvilla.



Kuva 85. Hitsauskokeissa käytetyt Wolfrاميةlektrodin etäisyydet

Elektrodina toimi molemmissa kokeissa (punainen) 2 % torium-seosteinen wolfrاميةlektrodi (WT20). Teroituskulma oli 30° ja halkaisija 2.4 mm.

Teroituslaitteena toimi kiinteästi työpisteeseen asennettu märkäteroituslaite G-tech (kuva 86), jolla sai teroitettua halutun astekulman elektrodille.



Kuva 86. TIG-elektrodien märkäteroituslaite

Seuraavaksi asetettiin hitsaustyökalun säätöruuvista lisäainelangan oikea suunta railoon nähden. Lisäainelanka kohdistettiin tarkasti railon pohjalle. Näin se ei päässyt kiertymään ja koskettamaan elektroodia.

Lisäainelankana käytettiin AISI 316 L:ssä AUTROD 16.32 ja seostamattomassa teräsputkessa AUTROD 12.51, langan halkaisijan ollessa 0,8 mm. Volframielektrodin ja lisäainelangan välinen etäisyys oli 5 mm.

Suoja- ja juurikaasuna käytettiin 100 % argonia. Juurikaasun virtausnopeus oli 3 l/min ja virtalähteelle tuleva virtausnopeus oli n.10 l/min.

12.2.4 Neljäs vaihe eli hitsaus

Hitsauksen aloituskohta vaihteli AISI 316 L:n kohdalla kello 2 – 12 välillä ja seostamattomassa teräsputkessa kello 2 – 6 välillä. Hitsaus tapahtui vastapäivään. Hitsatessa käytettiin hyväksi pulssitettua virtaa ja langansyöttöä.

Orbitaalihitsausprosessin aikana tarkastettiin sulan käyttäytymistä ja tarkennettiin epäkohtia. Valmiille saumalle tehtiin jokaiselle luodulle sektorille silmämääräinen tarkastus, jonka perusteella muutettiin parametrejä seuraavaa hitsaussaumaa varten. Muutettavia parametrejä olivat

- § esilämmitys- ja loppuvirta-ajat
- § pulssihitsauksen tasot ja jaksojen kestot
- § hitsaustyökalun kuljetusnopeus
- § lisäainelangan syöttö integroituna pulssivirtaan
- § suojakaasuvirtauksen esi- ja loppuvirta-ajat.

Hitsaustyökalun kuljetusnopeutta olisi voinut myös pulssittaa, kuten hitsausvirran ja lisäainelangan syöttönopeudenkin ollessa kyseessä. Mutta tämä jätettiin pois ja käytettiin pelkkää pyörimisnopeus (kuljetusnopeus) -parametriä.

12.3 Koehitsaus 1

12.3.1 EN 1.4432 / AISI 316 L / Ø 60,3 x 2,0

Ensimmäiseksi koehitsauskohteeksi valittiin ruostumaton austeniittinen teräs, mitoiltaan Ø 60,3 x 2, joka on yleisin käytössä oleva 316 L:n putkikoko Aker Yardsin Helsingin telakalla.

Aker Yardsin Turun telakalta saatiin orbitaalihitsausohjelma samalle putkihalkaisijalle, mutta seinämäpaksuuden ollessa 2,6 mm. Sellaisenaan käytettynä ohjelman käyttö aiheutti 2.0 mm:n putkeen seinämän läpipalamisen.

Kun oltiin perehdytty orbitaali-TIG-hitsauslaitteen toimintaan entisen Hitsausoperaattorin ja nykyisen laivalevyseppä Jarmo Hiekkavirran ohjauksessa, luotiin sektorit ja parametrit Turun telakalta saadun ohjelman mukaan.

Hitsaus tapahtui I-railoon ilman ilmarakoa ja hitsauksen aloituskohta vaihteli kello 2 – 12 välillä.

12.3.2 Muutokset

Ensimmäisessä koehitsissä havaittiin kappaleen ylikuumeneminen. Käytettävä virta oli liian korkea ja tämän vuoksi tapahtui hitsaussulan runsas tunkeutuminen joka puolella putkea, joka johti samalla vajaan pintaan.

Tämän jälkeen pienennettiin huippuvirtaa selvästi joka sektorille, muiden parametrien pysyessä muuttumattomina. Näin oli helpompi lähteä etenemään kohti oikeita parametriarvoja.

Hitsausauma paranikin huomattavasti mutta juurisärmien sulaminen lakiasennossa oli puutteellista eli tuloksena syntyi vajaa juuri. Huippulangan ja huippuvirran lisäyksellä tulos selvästi parani. Vähentämällä myös hieman pyörimisliikettä, saatiin aikaiseksi kiitettävä juuren puoli lakiasentoon.

Liian korkea juurikupu oli virheenä kello 2 ja 10 välillä eli jalkoasennossa, minkä vuoksi virtaa pienennettiin loppusektoreilla ja aloitettiin hitsaus kello 12:sta. Vähennettiin myös esilämmitykseen käytettävää aikaa, jolloin putki ei lämmennyt liikaa.

Useiden koehitsien kautta löydettiin sopivat parametriarvot luoduille sektoreille ja ohjelman toistettavuus on näin mahdollista. Tämä edellyttää tietysti esivalmistuksen samankaltaisuutta (ks. kpl 7.2).

Hitsauksen kokonaiskestoajaksi tuli 3 min 45 s, joka verrattuna käsinhitsaukseen (n. 13 min) on yli kolmanneksen nopeampi.

Silmämääräisesti tarkastettuna myös hitsin laatu on huomattavasti parempi kuin käsin hitsaten (kuva 87).



Kuva 87. Koehitsin (AISI 316L) virheetön pinta

Taulukosta 12 nähdään Helsingin telakan koehitsaamossa luodut arvot AISI 316 L:n Ø 60,3 x 2,0 putkikoolle. Pienet eroavaisuudet taulukko 13 ohjelmaan muodostuvat huippuvirran ja esilämmityksen pienenemisestä sekä pyörimisnopeuden ja lisäainelangan pulssituksen muutoksista.

12.3.3 NDT-tarkastukset (SFS-EN 12062)

Ensimmäiseksi suoritettiin AISI 316 L:n $\text{Ø } 60,3 \times 2,0$ hitsausliitokselle silmä-määräinen tarkastus (VT), jossa tarkastettiin hitsin ulkonäkö, mitat ja mahdolliset pintavirheet kuten reunahaavat, kylmäjuoksut, halkeamat ja riittämätön tunkeuma. Apuvälineinä käytettiin taskulamppua ja peiliä.

VT-tarkastuksessa havaittiin hitsin laadun olevan erinomainen. Pinta oli virheetön, sekä juuripalko oli samanlainen joka puolelta putkea (kuvat 88 ja 89).



Kuva 88. AISI 316 L:n $\text{Ø } 60,3 \times 2,0$ virheetön pinta

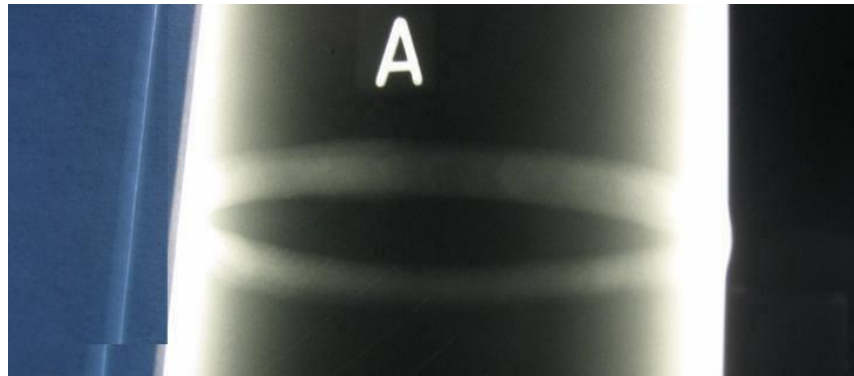


Kuva 89. AISI 316 L:n $\text{Ø } 60,3 \times 2,0$ laadukas juuri

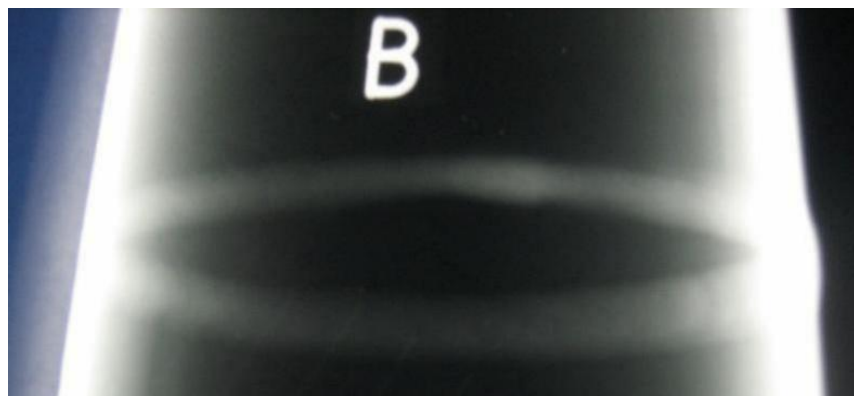
VT-tarkastuksen jälkeen suoritettiin hitsille Polartest OY:n toimesta RT- ja PT-tarkastus eli radiografinen ja tunkeumanestetarkastus.

Radiografinen tarkastus (SFS-EN 1435)

RT-tarkastus perustuu eri aineiden läpäisemän säteily määrän muutokseen aineenpaksuuden muuttuessa. Tutkittavaan kappaleeseen kohdistetaan ionisoivaa säteilyä ja kohteen takana olevalle filmille tallennetaan kohteen läpäisseen säteilyn voimakkuus (kuvat 90 ja 91). Tummuuserojen perusteella voidaan arvioida aineen eheyttä ja havaita mahdolliset hitsausvirheet. [2, s. 39.]



Kuva 90. Etu- ja takaseinä, kohta A



Kuva 91. Etu- ja takaseinä, kohta B

RT-tarkastuksessa havaittiin hitsausliitoksen olevan laadukas ja virheetön (liite 1).

Tunkeumanestetarkastus (SFS-EN 571-1)

PT-tarkastus soveltuu hyvin myös ei-magneettisten aineiden tarkastamiseen. Tunkeumaneste nimensä mukaisesti tunkeutuu kappaleen pintaan avautuviin epäjatkuvuuksiin, joista se imeytyy kappaleen pinnalle levitettävään kehitteeseen. Menetelmää käytetään pintaan asti avautuvien vikojen havaitsemiseen, joita ovat säröt, huokokset, ylivalssautumat, liitosviat, vuotokohdat ja näiden tyyppiset epäjatkuvuuskohdat. [32.]

PT-tarkastuksessa ei havaittu pintavirheitä AISI 316 L:n hitsaussaumassa (liite 2).

12.4 Koehitsaus 2

12.4.1 S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5

Toiseksi koehitsauskohteeksi valittiin saumaton ja seostamaton teräsputki S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5. Kyseistä putkikokoa käytetään Aker Yardsin Helsingin telakalla laivan höyryputkistojen putkimateriaalina.

Tarkoituksena oli löytää koehitsien avulla oikeat hitsausparametrit tasalaatuisen sekä virheettömän hitsausliitoksen aikaansaamiseksi ja suorittaa siinä onnistuessa virallisen menetelmäkokeen (SFS-EN 288-3) EN-ISO-1561-1 sisältämät rikkova ja rikkomaton aineenkoetus.

Rikkomaton aineenkoetus suoritettiin Polartest Oy:n toimesta ja ainetta rikkova aineenkoetus Helsingin ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratoriossa.

12.4.2 Alkuvalmistelut

Ensimmäiseksi ennen oikeiden hitsausparametrien etsimistä, täytyi alustavien koehitsien avulla hakea railomuoto jota käytetään. Orbitaali-TIG-hitsauksessahan railomuodon valintaan vaikuttavat käytettävä putkimateriaali, putken paksuus, hitsausasento ja hitsauslaitteisto.

Haastetta koehitsaukseen muodosti hitsattavan putken suuri seinämäpaksuus 4,5 mm.

Ruostumattoman austeniittisen teräksen $\varnothing 60,3 \times 2,0$ koehitsaus oli yksipalkkohitsausta ja nyt siirryttäessä putkikokoon $\varnothing 48,3 \times 4,5$, voidaan puhua jo monipalkkohitsauksesta. Tämä on huomattavasti vaikeampi toteuttaa.

Orbitaali-TIG-monipalkkohitsaukseen siirryttäessä tulee mukaan lisää säädettäviä parametrejä, joita ei hitsauslaitteistoon sisältynyt. Virtalähdettä ei ollut suunniteltu monipalkkotekniikan toteuttamiseen.

Puuttuvat parametrit, joita ilman jouduttiin toimimaan, olivat automaattinen kaaripituuden säätö (AVC) ja levitysliikemekanismi (OCS), jolla saadaan hitsauspoltinta liikuteltua hitsaussuuntaan katsottuna poikittain.

AVC:n ja OCS:n puuttuminen tuotti siis ongelmia, jotka täytyi ottaa huomioon (ks. kpl 8.2).

Levitysliikemekanismin puutteen vuoksi, jouduttiin valitsemaan kapea railokulma. Koska leveän railon täyttäminen ilman OCS-toimintoa olisi ollut mahdotonta.

Kaaripituuden säätötoiminnon puuttuminen (AVC) aiheutti taas sen, että jouduttiin tekemään eri ohjelmoinnit ja asetukset hitsin juuri-, väli- ja pintapalolle. Muuten olisi voitu ajaa koko hitsi läpi (2 - 3 kierrosta) yhdellä ohjelmalla.

12.4.3 Railokulma

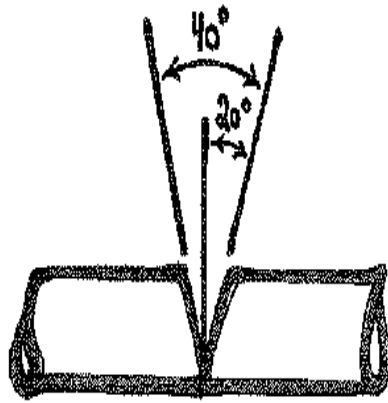
Kokeiltiin erilaisia railokulmia, joita olivat mm. V-railo 15° ja 20° viistekulmilla. Kokeita tehtiin ilman ilmarakoa tai pienen ilmaraon kanssa ja juuripinnan ollessa 1 - 2 mm. Juurisärmien sulaminen nousi ongelmalliseksi näillä railosovelluksilla.

Myös 15° viistekulmalla tehty V-railo ilman juuripintaa sekä ilmarakoa tuotti vajaan juuren.

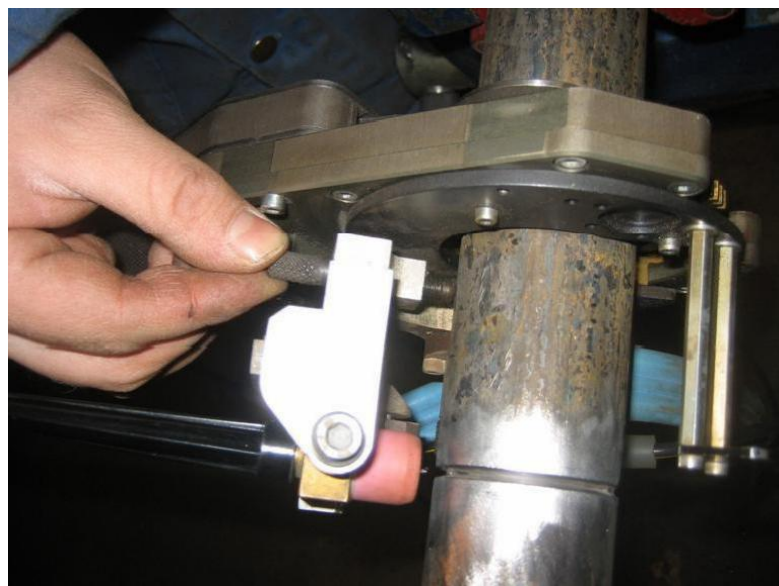
Kokeiltiin ajaa koetta myös 30° viistekulmalla tehtyyn V-railoon ilman ilmarakoa, jossa juuren muodostus oli suhteellisen hyvä. Mutta silloin pintapalon ajaminen ilman *vaaputustoimintoa* nousi ongelmaksi ja riski reunahaavan muodostukseen oli suuri.

Hitsattiin myös pienellä ilmaraolla (1mm) ja 20° viistekulmalla. Lyhyen kokeilun jälkeen näytti siltä että tällä railo tyypillä voisi saada hyvän juuripalon. Se vaatisi vain enemmän kokeiluja. Se hylättiin esivalmistelun vaikeuden vuoksi.

Päädyttiin näin monien kokeilujen jälkeen V-railoon ilman ilmarakoa, viistekulman ollessa 20° (kuvat 92 ja 93). Tämä osoittautui parhaaksi railomuodoksi lähteä hakemaan virheetön ja laadukas TIG-orbitaalihitsi käytössä olevalla laitteistolla.



Kuva 92. Putken S355J2H, EN10210 / \varnothing 48,3 x 4,5 koehitsauksessa käytetty railomuoto



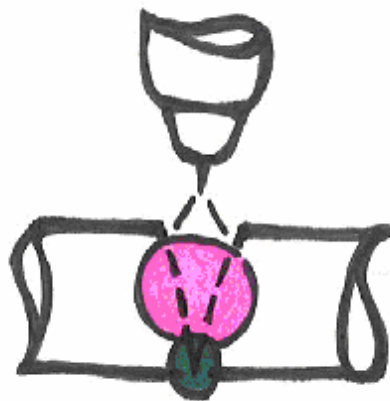
Kuva 93. Railokulma nähtävissä

12.4.4 Ongelmat

Hitsausprosessin aloituskohdan valitseminen tuotti vaikeuksia juuripalkoa ajaessa. Kokeiluhitseissä jalkoasento oli helpoiten toteutava, mutta siirryttäessä lakiosuudelle ongelmia alkoi ilmaantua.

Vajaa- / koverajuuri aiheutti päänvaivaa varsinkin kello 8 - 4 alueella ja tämän vuoksi päädyttiin aloittamaan hitsaus kello kuudesta. Näin pystytään aloittamaan hitsaus suuremmalla esilämmityksellä sekä virralla ja varmistamaan kunnollinen juuren muodostus putken lakiosuudelle.

Juuripalon hitsauksessa jouduttiin tilanteeseen, jossa osa kaaren sulatustehosta menee railon seinämien sulattamiseen (kuva 94).



Kuva 94. Hitsauskaaren sulatustehon leviäminen railon seinämille

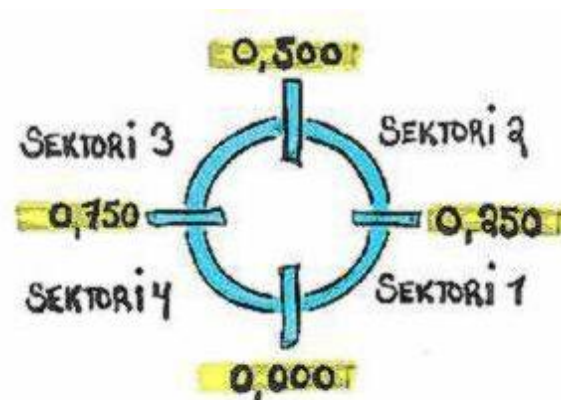
Tähän oli johtanut levityliikemekanismin (OCS) puuttuminen, jonka vuoksi olimme valinneet 20° viistekulman hitsausrailoksi. Onnistuneen juuri palon edellytys tällä railokulmalla oli hitsausvirran nostaminen korkeammalle mitä hitsausohje (WPS) käsin TIG-hitsauksessa ohjeisti.

Hitsattavan putken koko $\varnothing 48,3 \times 4,5$ tuotti myös omat ongelmansa. Putken pieni halkaisija vaikeutti sektoreiden ja niiden sisällä olevien parametrien luomista. Myös putken kova lämpeneminen toi mukanaan omat ongelmansa. Putken halkaisijan ollessa suurempi esim. (NS 60) sektoreiden ja eri parametrien muutokset olisivat olleet huomattavasti paremmin havaittavissa.

12.4.5 Sektoreiden ja parametrien luonti, juuripalko

Orbitaali-TIG-hitsausohjelmaa laatiessa voidaan hitsattava putki jakaa eri sektoreihin ja niiden sisälle oma ryhmänsä parametriarvoja (ks. kpl 12.2.4). Orbitaali-TIG-hitsauksessa olisi edullisinta, jos voitaisiin hitsata koko putki yhdellä sektoriajolla ja yhdellä ryhmällä parametriarvoja, mutta tämä on käytännössä mahdotonta.

Ohjelman luominen alkoi, kun railokulma ja aloituskohta oli päätetty. Ensiksi tehtiin 4 eri sektoria ja leikkauspisteet sekä niille vakioparametriarvot, joilla nähtiin vaikutus hitsaustulokseen (kuva 95). Tavoitteena oli saada juuripalosta mahdollisimman tasakokoinen ja tunkeumaltaan samanlainen joka puolelta putkea.



Kuva 95. Sektoreitten aloitusleikkauspisteet

Ensimmäisissä putken S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 koehitseissä havaittiin, että kappale alkoi lämmetä kovin heti aloituksen jälkeen. Tämän johdosta hitsausvirtaa ja langansyöttöä oli pienennettävä kello 2 - 10 alueelta liiallisen juurenpuolen tunkeuman estämiseksi. Tämän jälkeen ongelma korjaantui.

Lukuisten sektori- ja parametrimuutosten jälkeen saatiin hyvä juurenmuodostus. Ainoaksi ongelmaksi laadukkaan juurenpuolen luomisessa jäi ainoastaan sektorialue 0,800 - 1.000, jossa ei saatu juurikupua nousemaan täydellisesti, vaan hitsistä tuli siltä kohdin tasainen.

Lopulliseen juurenpuolen orbitaali-TIG-ohjelmaan tuli 5 eri sektoria. Taulukosta 14 nähdään ohjelman sektorijako ja niiden sisällä olevat parametriverot, joilla saatiin silmämääräisessä tarkastuksessa (VT) hyväksytty hitsi.

Taulukko 14. Orbitaali-TIG-ohjelma putken Ø 48,3 x 4,5 juuripalolle

S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5										
Juuripalko										
LANKA 0,8 mm AUTROD 12.51							HITSAUSTYÖKALU PRB 17-49		SUOJA-	
SEKTORI	SEKTORIN ARVO	HUIPPU-VIRTA	PERUS-VIRTA	HUIPPU-AIKA	PERUS-AIKA	PYÖRIMIS-LIIKE	HUIPPU-LANKA cm/min	PERUS-LANKA cm/min	KAASU esi- ja jälki-virtaus	ESILÄMMITYS
1	0	136	100	0,21	0,23	150	50	50	2,0s	10,0s
2	0,25	123	90	0,21	0,23	160	40	35		
3	0,5	120	105	0,21	0,23	170	40	40		
4	0,8	110	100	0,21	0,23	160	40	35		
5	1,02	0A/9,0s	0A/9,0s	0,21	0,23	160	10	10	4,0s	
6										
7										
8										

12.4.6 Sektoreiden ja parametrien luonti, väli- ja pintapalko

Seuraavaksi lähdettiin luomaan ohjelmaa pintapalolle. Palot jouduttiin siis ajamaan erikseen, eri asetuksilla, koska käytössä ei ollut kaaripituuden säätömekanismiä (AVC). Tämä toiminto olisi mahdollistanut ohjelman teon yhteen menoon. Aloituskohta pidettiin vakiona eli kello kuudessa, leikkauspisteen ollessa 0,000.

Pintapalolle parametriveroja hakiessa huomattiin, että putken yläkohdan täyttäminen muodostui ongelmaksi. Kello 10 - 13 kohtaan oli juurta hitsatesassa kuuma sula muodostanut sen verran ison uran ja railon levenemisen, että sitä oli pelkällä lisäaineen lisäyksellä vaikeata täyttää.

Tämän vuoksi monien kokeilujen jälkeen tehtiin pintapalolle ohjelma, jota käytettiin myös välipalon hitsaamiseen. Näin saatiin hitsausrailo täyttymään ja silmämääräisessä tarkastuksessa havaittiin hitsin muodon täyttävän vaatimukset (liite 3).

Väli- ja pintapalon ohjelmassa on 6 eri sektoria (taulukko 15), joissa langansyöttö on suurimmillaan juuri jalko-osuudella. Viimeinen sektori (1,060) kiertää valmiin hitsin päälle ja näin saadaan laadukas lopetuskohta.

Taulukko 15. Orbitaali-TIG-ohjelma putken Ø 48,3 x 4,5 väli- ja pintapalolle

S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5										
Väli- ja pintapalko										
LANKA 0.8 mm AUTROD 12.51							HITSAUSTYÖKALU PRB 17-49		SUOJA-	
SEKTORI	SEKTORIN ARVO	HUIPPU-VIRTA	PERUS-VIRTA	HUIPPU-AIKA	PERUS-AIKA	PYÖRIMIS-LIIKE	HUIPPU-LANKA cm/min	PERUS-LANKA cm/min	KAASU esi- ja jälki-virtaus	ESILÄMMITYS
1	0	130	100	0,21	0,23	150	40	40	2,0s	10,0s
2	0,25	120	100	0,21	0,23	150	55	50		
3	0,5	115	95	0,21	0,23	170	75	75		
4	0,7	100	85	0,21	0,23	160	30	30		
5	0,9	100	85	0,21	0,23	150	30	15		
6	1,06	0A/9,0s	0A/9,0s	0,21	0,23	150	10	10	12,0s	
7										
8										

12.4.7 Havainnot

Parametrien laadinnassa vaikeutena oli parametrien monilukuisuus ja se että niitä ei voinut etukäteen teoriassa pitkälti määritellä. Ne oli vain konkreettisesti etsittävä kokeellisesti useiden koekappaleiden avulla (kuva 96).



Kuva 96. Osa putken S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 koehitseistä

Prosessin aikana tarkastettiin sulan käyttäytymistä ja tarkennettiin epäkohdat muuttamalla hitsausparametrejä seuraavaa hitsausaamaa varten. Tärkeimmät parametrit, joita muuttaen pyrittiin hyvään hitsaustulokseen, olivat huippuvirta, perusvirta, langansyöttönopeus ja kappaleen pyörimisnopeus.

Valmiin orbitaali-TIG-hitsin saaminen kahdella palolla putkelle S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 olisi varmastikin mahdollista, mutta se vaatisi laajaa kokeilutyötä, jotta pystyttäisiin selvittämään eri parametrien vaikutukset toisiinsa.

Kokeilluista railomuodoista saatiin paras juurenmuodostus aikaan 30° viistekulmalla tehtyyn V-railoon ilman ilmarakoa, mutta pintapalon ajaminen ilman OCS-toimintoa olisi ollut todella vaikeata (kuva 97).



Kuva 97. 30° viistekulmalla tehtyyn V-railoon ajettu juuripalko ilman pintapalkoa

Raja viistekulmalla onkin juuri tässä, jos aikoo hitsata 4,5 mm:n aineenpaksuutta käytetyllä laitteistolla. Monipalkotekniikkaan siirtyessä olisikin hankittava siihen soveltuva virtalähde ja hitsaustyökalu.

12.4.8 Käsin TIG-hitsaus vs. orbitaali-TIG-hitsaus

Käytössä olevalla laitteistolla valmiin orbitaali-TIG-hitsin kaariaika kolmella eri palolla saumattomalle ja seostamattomalle teräsputkelle S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 on 9:58 (kuva 98)(liite 3).

Esiasetus, joka muodostuu pihdin uudelleen asettamisesta aloituskohtaan väli- ja pintapalolle, vie aikaa noin 30 sekuntia. Eli kokonaisaika asetuksi-
neen on n. 11 minuuttia, joka verrattuna käsinhitsaukseen (n.40 min.) on yli kolme kertaa nopeampaa (kuva 99).



Kuva 98. Saumattoman ja seostamattoman teräsputken (NS40) kokonaisaika asetuksiin orbitaali-TIG-hitsaten on n. 11 minuuttia



Kuva 99. Saumattoman ja seostamattoman teräsputken (NS40) kokonaisaika käsin-TIG-hitsaten on n. 40 minuuttia

Juuripalon hitsaamiseen kului aikaa orbitaalilla 3 minuuttia 8 sekuntia, joka oli myös yli kolme kertaa nopeampaa kuin käsin-TIG-hitsaten (12 min.)

Nopeus orbitaali-TIG-hitsauksen puolesta lisääntyy luonnollisesti huomattavasti, kun siirrytään suuremman halkaisijan omaaville putkille.

Täytyy myös huomioida, että putkikoon \varnothing 48,3 x 4,5 hitsaus on monipalkohitsausta, johon tulee mukaan lisää säädettäviä parametrejä verrattuna yksipalko- eli ohutseinämäisten putkien orbitaali-hitsaukseen (ks. kpl 8.1), joita ei hitsauslaitteistoon sisällynyt. Virtalähdettä ei ollut suunniteltu monipalkotekniikan toteuttamiseen.

Automaattisen kaaripituuden säätötoiminnon (AVC) puuttumisen takia, jouduttiin esiasetus tekemään turhaan jokaisen palkokerroksen jälkeen aina uudestaan. Muuten olisi voitu ajaa koko hitsi läpi yhdellä ohjelmalla, joka olisi nopeuttanut kokonaisprosessia.

Eduista ja hyödyistä koskien orbitaali-TIG-hitsausta verrattuna käsinhitsaukseen (ks. kpl 4.2), moni asia puolsi orbitaalin käyttöä. Yksi tärkeimmistä nopeuden ja laadun lisäksi oli ergonomia (kuva 100). Orbitaali-TIG-hitsaukseen siirryttäessä hitsaustyö muuttuu vähemmän rasittavaksi ja kuormittavaksi kuin perinteisesti käsin-TIG-hitsaten.



Kuva 100. Työasennot muuttuvat orbitaali-TIG-hitsauksen myötä huomattavasti vähemmän kuormittaviksi.

12.4.9 Pätevyysalue

Menetelmäkoe-standardin SFS-EN 288-3 (EN ISO 15614-1) mukaan pätevyysalue kattaa ryhmän 1 – 1 teräkset, joilla on sama tai alempi ohjeellinen myötölujuus [35, s. 372.]

Menetelmäkoe (WPT), joka on suoritettu aineenpaksuudella t , kattaa taulukon 16 pätevyysalueen. Putken ulkohalkaisijan ollessa D , se kattaa taulukon 17 mukaiset halkaisija-alueet [35, s. 374].

Taulukko 16. Päittäishitsien ja hitsiaineiden aineenpaksuuksien pätevyysalueet [35, s. 376]

Koekappaleen aineenpaksuus t	Pätevyysalue	
	Yksipalkohitsaus	Monipalkohitsaus
$t \leq 3$	$0,7t \dots 1,3t$	$0,7t \dots 2t$
$3 < t \leq 12$	$0,5t$ (3 min.)... $1,3t^a$	$3 \dots 2t^a$
$12 < t \leq 100$	$0,5t \dots 1,1t$	$0,5t \dots 2t$
$t > 100$	Ei sovellu	$50 \dots 2t$

^a Kun on annettu iskutiheysvaatimuksia, eikä iskukokeita ole suoritettu, pätevyysalueen yläraja on 12 mm.

Taulukko 17. Putken ja haaraputken halkaisijan pätevyysalueet [35, s. 376]

Koekappaleen halkaisija D^a , mm	Pätevyysalue
$D \leq 25$	$0,5D \dots 2D$
$D > 25$	$\geq 0,5D$ (väh. 25 mm)

HUOM. Suorakaideputkessa D tarkoittaa pienemmän sivun leveyttä.

^a D on putken tai haaraputken ulkohalkaisija.

Aker Yardsin Helsingin koehitsaamossa luotu alustava hitsausohjelma (pWPS) saumattomalle ja seostamattomalle teräsputkelle S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 (liite 4), kattaisi standardin EN ISO 15614-1 edellyttämien testien läpäisyn mukaan pätevyysalueen:

- § monipalkohitsaten aineenpaksuuksille 3 mm – 9 mm
- § monipalkohitsaten ulkohalkaisijoille 25 mm - 96,6 mm.

12.5 Hitsauskokeiden analyysi

Hitsattavien putkien pitää olla huolellisesti puhdistettuja ennen railon valmistusta. Esimerkiksi rasvat, öljyt ym. voivat huomattavasti vaikeuttaa hitsaus-tapahtumaa.

AISI 316 L:n railonvalmistuksen esivalmistelu ei eronnut käsinhitsauksen esivalmistelusta. Kuitenkin täytyy huomioida että hitsattiin alle 3 mm:n seinämäpaksuuksia ja näin riitti, että putket olivat puhtaat ja sahausjälki suora. Hitsaus tapahtui I- railoon ilman ilmarakoa.

Paksuseinäisemmän seostomattoman teräksen hitsauksessa railon valmistus vaatii mekanisoidun esivalmistuksen. Orbitaali-TIG-hitsauksessa kone tekee vain sen mitä sille on ohjelmoitu, eikä se pysty reagoimaan vaihtelevaan ilmarakoon tai railokulmaan. Hitsaus tapahtui Ø 48,3 x 4,5 teräsputkella 20 asteen viistekulmalla tehtyyn V-railoon.

Elektrodin teroituskulman täytyy pysyä vakiona. Elektrodin kulman muuttamisella käytön aikana oli hitsaustapahtumaan yllättävän suuri vaikutus. Kulman muutos vaikutti kaaren leveyteen ja tunkeumaan. Kaari lähti myös helposti *vaeltamaan*, jos elektrodi oli epätasaisesti teroitettu.

Elektrodin teroitukseen pitää mekanisoidussa hitsauksessa käyttää siihen tarkoitettua teroituslaitetta. Hitsausparametrit pysyvät vakioina ja muuttumattomina, jos ohjelmaa ei säädetä, mutta volframielektrodin kulma on yksi parametri, ja tämän vuoksi elektrodin kulumista täytyy seurata.

Lisäaineen syötössä täytyy huolehtia, että lanka ei pääse kiertymään. Samalla tärkeäksi asiaksi muodostui lisäainelangan asema hitsisulaan nähden. Lisäainelangan tulo on suunnattava keskelle railoa tarkasti, samalla tapaa kuin elektrodin asema railoon nähden.

Lisäainelanka täytyy myös suunnata keskelle sulaa, eikä liiaksi työkappaleeseen tai elektrodiin.

Kun siirrytään I-railosta V-railoon, täytyy siltahitsit *heftata* ilman lisäainetta. Näin minimoidaan sulan käyttäytymisen muutokset niiden kohdalla. Kaikista paras olisi, jos käytettäisiin kiinnittimiä siltahitsien asemasta.

Hitsausoperaattorin on oltava motivoitunut, tarkka ja huolellinen.

13 TESTAUKSET JA NIIDEN TULOKSET

Saumattoman ja seostamattoman teräsputken S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 orbitaali-TIG-hitsauksen jälkeen hitsausliitos tarkastettiin menetelmästandardin SFS-EN 288-3 (EN ISO 15614-1) mukaisesti. Testaus käsitti rikkomattoman (NDT) ja rikkovan aineenkoetuksen taulukon 18 mukaan.

Taulukko 18. Koekappaleiden testaus [35, s. 356]

Koekappale	Testaus	Testauksen laajuus	Alahuomautus	
Läpihitsattu päittäisliitos – Kuva 1 ja Kuva 2	Silmämääräinen tarkastus	100 %	–	
	Radiografia tai ultraäänitarkastus	100 %	a	
	Pintahalkeamien tarkastus	100 %	b	
	Poikittainen vetokoe	2 koesauvaa	–	
	Poikittainen taivutuskoe	4 koesauvaa	c	
	Iskukoe	2 sarjaa	d	
	Kovuuskoe	vaadittu	e	
	Makrohietkimus	1 hie	–	
Läpihitsattu T-liitos – Kuva 3	Silmämääräinen tarkastus	100 %	f	
	Pintahalkeamatarkastus	100 %	b ja f	
	Läpihitsattu putken haaraliitos – Kuva 4	Ultraäänitarkastus tai radiografia	100 %	a, f ja g
	Kovuuskoe	vaadittu	e ja f	
	Makrohietkimus	2 hiettä	f	
Pienahitsit – Kuva 3 ja Kuva 4	Silmämääräinen tarkastus	100 %	f	
	Pintahalkeamatarkastus	100 %	b ja f	
	Kovuuskoe	vaadittu	e ja f	
	Makrohietkimus	2 hiettä	f	

^a Ultraäänitarkastusta ei suoriteta, kun $t < 8$ mm eikä perusaineryhmille 8, 10, 41...48.
^b Tunkeumanestetarkastus tai magneettijauh tarkastus. Epämagneettisille materiaaleille, tunkeumanestetarkastus.
^c Taivutuskokeet, ks. 7.4.3.
^d 1 sarja hitsiaineesta ja 1 sarja muutosvyöhykkeeltä, kun aineenpaksuus ≥ 12 mm ja iskusitkeysvaatimukset määritetty. Tuotestandeissa saatetaan vaatia iskukokeita myös, kun aineenpaksuus on alle 12 mm. Testauslämpötilan valitsee valmistaja, ottaen huomioon sovellutuksen tai tuotestandardin, mutta sen ei tarvitse olla alempi kuin materiaalispesifikaatiossa. Lisätestit ks. 7.4.5.
^e Ei vaadita perusaineille: -alaryhmä 1.1, ja ryhmät 8, 41...48.
^f Määritetyt testit eivät anna tietoa hitsausliitoksen mekaanisista ominaisuuksista. Kun tällaiset ominaisuudet ovat oleellisia sovellutuksen kannalta, tehdään lisäkokeita, esim. päittäishitseille.
^g Ultraäänitarkastusta ei vaadita, kun putken ulkohalkaisija ≤ 50 mm.
 Jos ulkohalkaisija on yli 50 mm eikä ultraäänitarkastusta ole mahdollista toteuttaa teknisesti, suoritetaan radiografinen kuvaus edellyttäen, että liitosmuoto antaa järkevän tuloksen.

Rikkomaton aineenkoetus (NDT) tehtiin Polartest Oy:n toimesta ja rikkova aineenkoetus Helsingin ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratoriossa.

13.1 Rikkomaton aineenkoetus

NDT, eli *Nondestructive testing* tarkoittaa rikkomatonta aineenkoetusta eli rakenneaineiden tai komponenttien tutkimista niitä rikkomatta. Rikkomaton aineenkoetus on sarja tarkastusmenetelmiä, joilla voidaan löytää hitsisaumoista ja materiaaleista halkeamia, säröjä, sulkeumia, liitosvirheitä ja muita poikkeamia. [33.]

13.1.1 VT-tarkastus (SFS-EN 970)

Perusmenetelmänä NDT-tarkastuksessa on aina silmämääräinen tarkastus (VT), jossa tarkastetaan hitsin ulkonäkö, mitat ja mahdolliset pintavirheet kuten reunahaavat, kylmäjuoksut, halkeamat ja riittämätön tunkeuma. Tarkastus suoritetaan optisten apuvälineiden kanssa tai ilman niitä. [2, s. 34.]

Silmämääräisessä tarkastuksessa havaittiin hitsin täyttävän VT-tarkastuksen vaatimukset (kuva 101).



Kuva 101. VT-tarkastuksessa todettu hyvämuotoinen hitsi

13.1.2 RT-tarkastus (SFS-EN 1435, SFS-EN 12517)

VT-tarkastuksen jälkeen koehitsille suoritettiin radiografinen tarkastus Polar-test Oy:n toimesta (kuva 102).



Kuva 102. RT-tarkastuksessa käytetty teollisuuskuvaukseen tarkoitettu röntgenputki

Radiografisessa (RT), tarkastuksessa tutkittavaan hitsiin kohdistetaan ionisoivaa säteilyä ja filmillä tallennetaan kohteen läpäisseen säteilyn voimakkuus [2, s. 39].

Filmi asetetaan tarkastettavan kappaleen toiselle puolelle (kuva 103). Vastakkaiselta puolelta suunnataan röntgensäteilyä kohteen läpi ja kuva projisoi-
tuu filmille (kuva 104). Filmi kehitetään, jonka jälkeen voidaan tarkastella mahdollisia virheitä. [34.]



Kuva 103. Filmin asennus hitsausliitoksen vastakkaiselle puolelle



Kuva 104. Hitsausliitoksen RT-tarkastus

RT-tarkastuksessa hitsausliitoksessa ei havaittu pinta- eikä sisäisiä virheitä (liite 5).

13.1.3 MT-tarkastus, (SFS-EN 1290, SFS-EN 1291)

Magneettijauhetarkastus (MT) soveltuu magneettisten aineiden pintatarkastukseen. Sen toiminta perustuu magnetoituvien partikkeleiden kerääntymiseen magnetoidun kappaleen epäjatkuvuuskohtiin muodostuvaan vuotokenttään. [34].

Magneettijauhetarkastus paljastaa hyvin jopa puristuksessa olevat kapeat epäjatkuvuuskohdat, etupäässä halkeamat. Tarkastuksessa voidaan käyttää joko värillistä tai fluorisoivaa jauhetta (kuvat 105, 106, ja 107). [34].



Kuva 105. Kontrastivärin ruiskutus



Kuva 106. Magneettijauheen ruiskutus



Kuva 107. Magnetointi sektoreittain, ruiskuttaen samalla magnetoituvia partikkeleita hitsin pintaan

MT-tarkastuksessa hitsissä ei havaittu virheitä (liite 6) ja hitsin pinnan laatu täytti standardin EN 1291 vaatimukset (taulukko 19).

Taulukko 19. Suositeltavat tarkastusparametrit [36, s. 134]

Hyväksymisraja	Pinnan laatu	Tarkastusaine
1	Hieno pinta ¹⁾	Fluoresoiva tai värillinen kontrastiväriillä
2	Sileä pinta ²⁾	Fluoresoiva tai värillinen kontrastiväriillä
3	Yleispinta ³⁾	Värillinen kontrastiväriillä tai fluoresoiva

¹⁾ Hieno pinta
Hitsin kupu ja perusaine ovat sileät ja puhtaat, eikä niissä esiinny huomioon otettavaa reunahaavaa, aaltomaisuutta tai roiskeita. Pinnan laatu on tyypillinen hitsille, jotka on tehty automaattisella TIG-hitsauksella, jauhekaarihitsauksella (täysin mekanisoitu) ja puikkohitsauksella suurmittoisuuspuikoilla.

²⁾ Sileä pinta
Hitsin kupu ja perusaine ovat kohtuullisen sileät pienehköllä reunahaavalla, aaltomaisuudella ja roiskeisuudella. Pinnan laatu on tyypillinen hitsille, jotka on tehty puikkohitsauksella pystyhitsauksena alaspäin ja MAG-hitsauksella käyttäen argonpitoista suojaakaasua.

³⁾ Yleispinta
Hitsin kupu ja perusaine on käsittelemättä. Pinnan laatu on tyypillinen hitsille, jotka on tehty puikkohitsauksella tai MAG-hitsauksella missä tahansa hitsausasennossa.

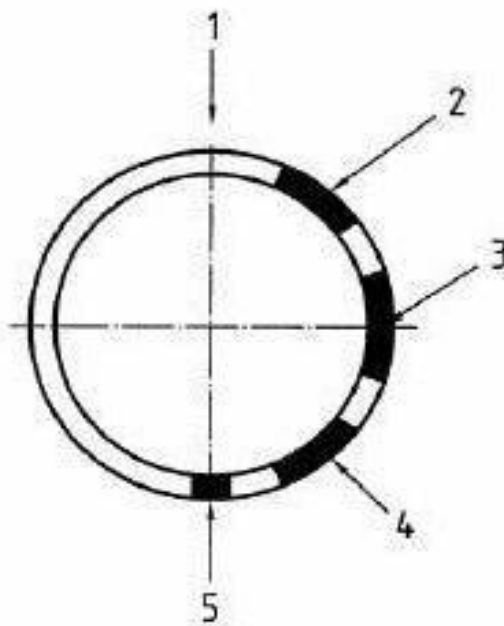
13.2 Ainetta rikkova aineenkoetus

Materiaalien erilaisten ominaisuuksien toteamiseksi on kehitetty koemene-
telmiä, jotka ovat pitkälti standardoituja. Näin mittauskerrat ovat vertailukel-
poisia. [37, s. 15.]

Ainetta rikkovilla tarkastusmenetelmillä tutkitaan ja testataan hitsausliitos-
alueella tapahtuvia kiderakennemuutoksia sekä testataan hitsatun rakenteen
kuormituskestävyyttä [3, s. 68].

Kuvassa 108 nähdään EN ISO 15614-1 osoittamat putken päittäisliitoksen
koesauvojen irrotuspaikat merkattuna ainetta rikkovia testauksia varten [35,
s. 360].

1. kiinteä putken yläpinta
2. alue, josta irrotetaan 1 vetokoesauva ja taivutuskoesauvat
3. alue, josta irrotetaan isku- ja lisäkoesauvat, jos vaaditaan
4. alue, josta irrotetaan 1 vetokoesauva ja taivutuskoesauvat
5. alue, josta irrotetaan 1 makrohie ja 1 kovuuskoesauva



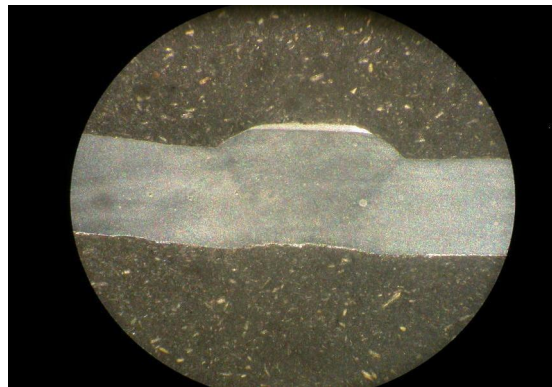
Kuva 108. Koesauvojen sijainti putken päittäisliitoksessa [35, s. 360]

13.2.1 Makrohietutkimus (SFS-EN 1321)

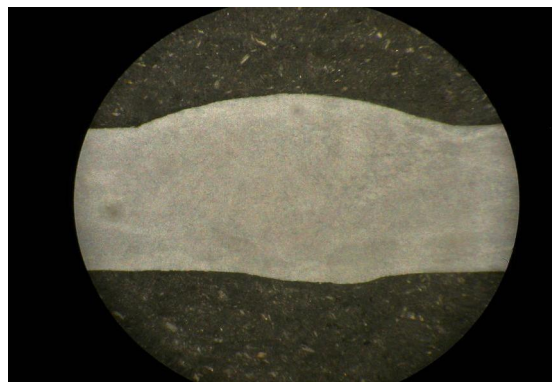
Makrohietutkimusta käytetään hitsausliitosten makroskooppisten ominaisuuksien selvittämiseen. Se tehdään tavallisesti poikkileikkauspinoille koesauvoista, jotka on otettu hitsin pituussuunnan suhteen kohtisuorasti. [38, s. 167.]

Makrohietutkimuksella tutkittiin hitsausliitoksen sulatunkeumarajat, palkojen rakenteet, muutosvyöhykkeet ja mahdolliset hitsausvirheet. Hitsausseamojen poikkileikkauksesta valmistettua makrohietä tarkasteltiin mikroskoopilla, näyte oli hiottu ja syövytetty standardin EN 1321 mukaan.

Orbitaali-TIG-hitsatun putken koesauvojen makrohietarkastuksessa sulatunkeumaraja, palkorakenne ja muutosvyöhyke täyttivät hitsiluokan B (vaativa) vaatimukset (kuvat 109 ja 110).



Kuva 109. Makrohiekuva orbitaalihitsin lakiasennosta



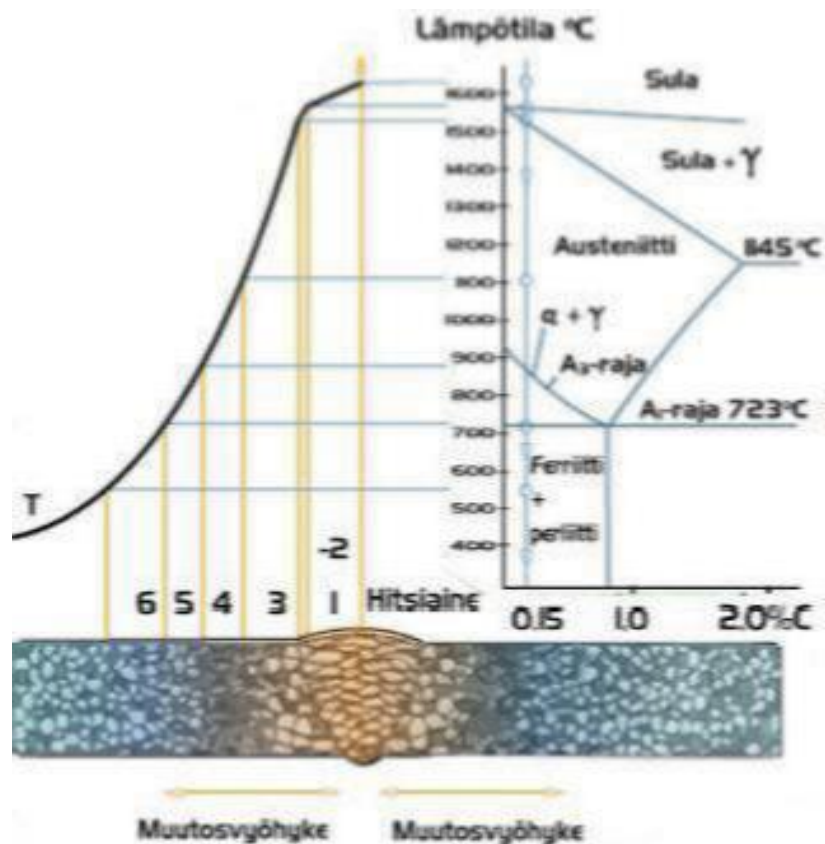
Kuva 110. Makrohiekuva orbitaalihitsin jalkoasennosta

13.2.2 Kovuusmittaus (SFS-EN 1043-1)

Hitsausliitoksen eri kohtiin syntyy hitsausprosessin aikana erilaisia mikrorakenteen omaavia vyöhykkeitä [39].

Kuvassa 111 nähdään hitsausliitoksen vyöhykkeet teräksessä, jonka hiilipitoisuus on 0,15 %.

1. hitsiaine
2. sularaja
3. karkearakenteinen vyöhyke
4. hienorakeinen vyöhyke
5. osittain austenitoitunut vyöhyke
6. karbidien palloutumisvyöhyke



Kuva 111. Kaaviollinen kuva hitsausliitoksen vyöhykkeistä teräksessä [39]

Kovuuskokeiden tavoitteena on arvioida hitsausliitoksen kovuusarvojen vaihtelualue [35, s. 368].

Kovuusmittaukset suoritettiin SFS-EN ISO 15614-1 (*koesauvojen sijainti päittäishitsauksen koekappaleessa*) kohdan 5 koesauvasta tehdystä makrohieestä. Kovuusmittaus suoritettiin käyttäen Vickerskoetta HV10 (kuva 112).



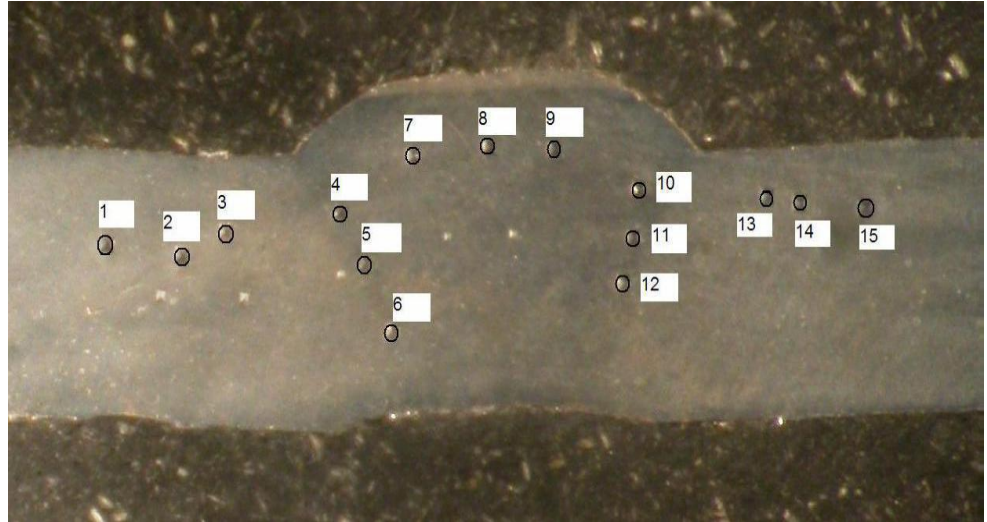
Kuva 112. Vickerskoe HV10

Vickersin kovuuskokeessa pyramidin muotoista timanttikärkeä painetaan tietyllä voimalla mitattavaan pintaan ja mitataan mikroskoopilla syntyneen painuman halkaisijat. Yleisimmät kovuusmittaukseen käytetyt laitteet käyttävät 1, 2, 5, 10, 30, 50 ja 100 kg massoja. [40.]

Mitattavia alueita standardin EN 1043 - 1 mukaisesti olivat [35, s. 368]

1. *hitsi*, 3 yksittäistä pistettä
2. *muutosvyöhyke (HAZ)*, 3 yksittäistä pistettä kummaltakin vyöhykkeeltä
3. *perusaine*, 3 yksittäistä pistettä hitsin kummaltakin puolen

Kuvasta 113 nähdään koesauvasta otetusta makrohieesta Vickers-kokeen HV10 mittauskohdat ja taulukosta 20 mittaustulokset.



Kuva 113. Vickers-kovuuskokeen mittauskohdat

Taulukko 20. Mitatut kovuusarvot

1. 116	4. 154	7. 162	10. 154	13. 119
2. 117	5. 151	8. 158	11. 148	14. 116
3. 113	6. 149	9. 162	12. 147	15. 115

Kovuuskokeiden tulokset täyttävät hitsiluokan B (vaativa) vaatimukset (taulukko 21).

Taulukko 21. Suurimmat sallitut kovuusarvot (HV 10) [35, s. 368]

Teräsryhmät CR ISO 15608	Lämpökäsittelemätön	Lämpökäsittely
1 ^a , 2	380	320
3 ^b	450	380
4,5	380	320
6	–	350
9.1	350	300
9.2	450	350
9.3	450	350

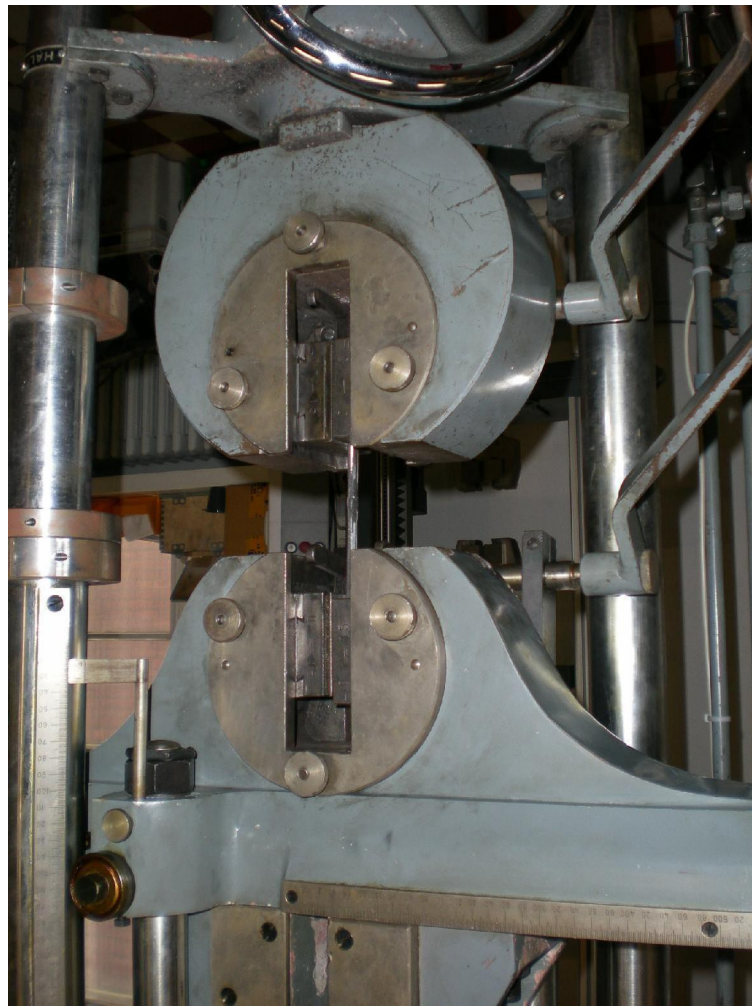
^a Jos kovuuskokeita vaaditaan.

^b Terästen $R_{eH} > 890 \text{ N/mm}^2$ osalta määritetään erityiset arvot.

13.2.3 Poikittainen vetokoe (SFS-EN 895)

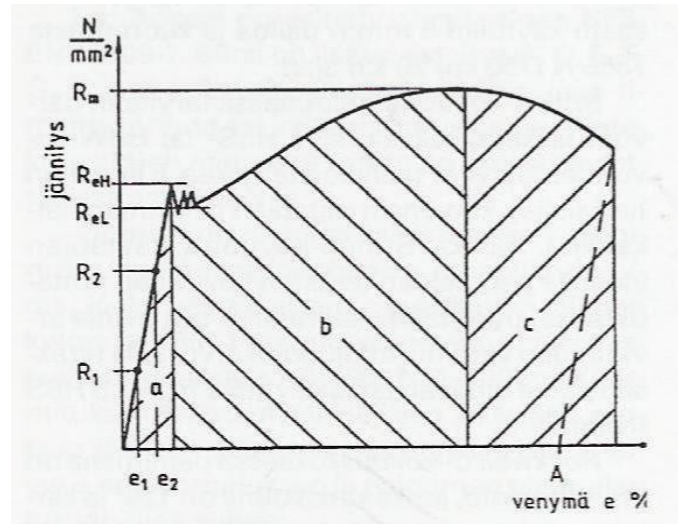
Elastinen muodonmuutos on pysymätöntä muodonmuutosta eli jännityksen poistuessa kappale palaa alkuperäiseen muotoonsa ja mittoihinsa. Mekaanisen jännityksen ylittäessä materiaalin myötörajan, materiaalin muodonmuutoksen sanotaan olevan plastista. Plastinen muodonmuutos on pysyvää toisin kuin elastinen muodonmuutos, joka häviää kun kuormitus poistetaan. Toisin sanoen kun kuormitus poistetaan, plastinen muodonmuutos jää materiaaliin. [41.]

Vetokokeen periaate standardin EN 895 mukaan on, että poikittain hitsausliitokseen nähden otettua koesauvaa kuormitetaan jatkuvalla ja kasvavalla vetokuormalla kunnes se murtuu (kuva 114) [38, s. 34].

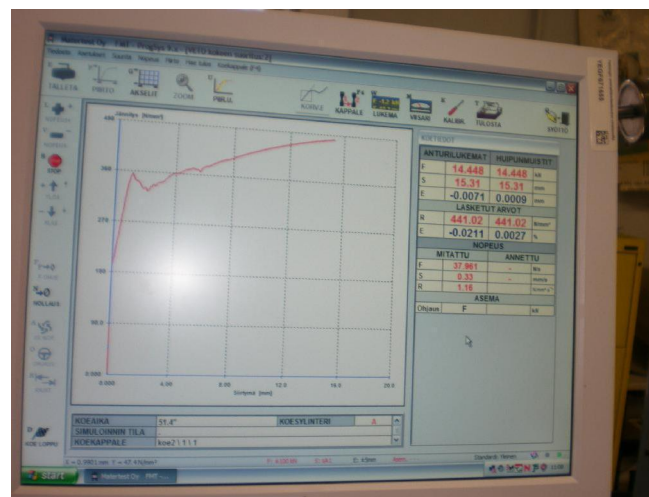


Kuva 114. Orbitaali-TIG-hitsatun putken $\varnothing 48,3 \times 4,5$ hitsistä otetun koesauvan poikittainen vetokoe

Vetokokeen avulla voidaan helposti määrittää aineen myötöraja, murtolujuus ja murtovenymä. Kuvissa 115 ja 116 nähdään metallin tyypillinen jännitys-venymäkäyrä.



Kuva 115. Jännitysvenymäkäyrä [37, s. 17]



Kuva 116. Jännitysvenymäkäyrä piirtymässä koesauvan vetokokeessa

Murtolujuuden tulee täyttää normaalitapauksessa perusaineelle asetettu vähimmäisvaatimus, jonka vaatimuksen orbitaali-TIG-hitsatusta seostamattomasta teräsputkesta S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 otetut vetosauvat täyttivät (liitteet 7 ja 8).

13.2.4 Taivutuskoe (SFS-EN 910)

Taivutuskokeen periaate on SFS-EN 910 mukaan, että hitsausliitoksesta poikittain otettuun koesauvaan aiheutetaan taivuttamalla pysyvä muodonmuutos [38, s. 62].

Taivutintelaä painetaan hitaasti ja tasaisella kuormituksella koesauvaa kohti, jolloin tarkkaillaan koesauvan vedon puoleista pintaa mahdollisten virheiden varalta (kuvat 117 ja 118). Aineenpaksuuden ollessa alle 12 mm, testataan kaksi juuritaivutussauvaa ja kaksi pintataivutussauvaa [35, s. 366].



Kuva 117. Orbitaali-TIG-hitsistä otetun koesauvan taivutus alkamassa



Kuva 118. Taivutintelaä painaa koesauvaa tasaisella kuormalla

Poikittaisen juuri- ja pintataivutussauvan paksuuden tulee olla sama kuin perusaineen paksuus hitsausliitoksen läheisyydessä [38, s. 74].

Koesauvan pinnat koneistetaan niin, että hitsin korkea kupu poistuu kokonaan, sekä vedonpuoleisen pinnan reunat pyöristetään mekaanisella menetelmällä [38, s. 84].

Taivutuskokeen aikana koesauvoihin ei saa syntyä missään suunnassa yli 3 mm suuruisia avoimia vikoja [38, s. 96].

Orbitaali-TIG-hitsatun seostamattoman teräsputken S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 taivutuskokeen koesauvat ja testaus tehtiin standardin EN 910 mukaisesti ja testauksessa ei havaittu avoimia vikoja.

13.3 Tulosten analyysi

Saumattoman ja seostamattoman teräsputken S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 orbitaali-TIG-hitsauksen jälkeen hitsausliitos tarkastettiin menetelmä-koe-standardin SFS-EN 288-3 (EN ISO 15614-1) mukaisesti (ks. kpl 13).

Rikkomaton aineenkoetus (NDT) tehtiin Polartest Oy:n toimesta Aker Yardsin Helsingin telakalla ja rikkova aineenkoetus Helsingin ammattikorkeakoulu *Stadian* materiaalitekniikan laboratoriossa.

Rikkomattomassa aineenkoetuksessa hitsausliitoksen S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 mahdollisia hitsausvirheitä tarkastettiin

- § silmämääräisessä tarkastuksessa (VT) (SFS-EN 970)
- § radiograafisella kuvauksella (RT) (SFS-EN 1435, SFS-EN 12517)
- § magneettijauhetarkastuksessa (MT) (SFS-EN 1290, SFS-EN 1291).

Ainettava rikkovassa (kuvat 119 ja 120) tarkastuksessa hitsausliitoksen testaus suoritettiin seuraavilla menetelmillä:

- § makrohietutkimuksella (SFS-EN 1321)
- § kovuuskokeella (SFS-EN 1043-1)
- § poikittaisella vetokokeella (SFS-EN 895)
- § poikittaisella taivutuskokeella (SFS-EN 910).

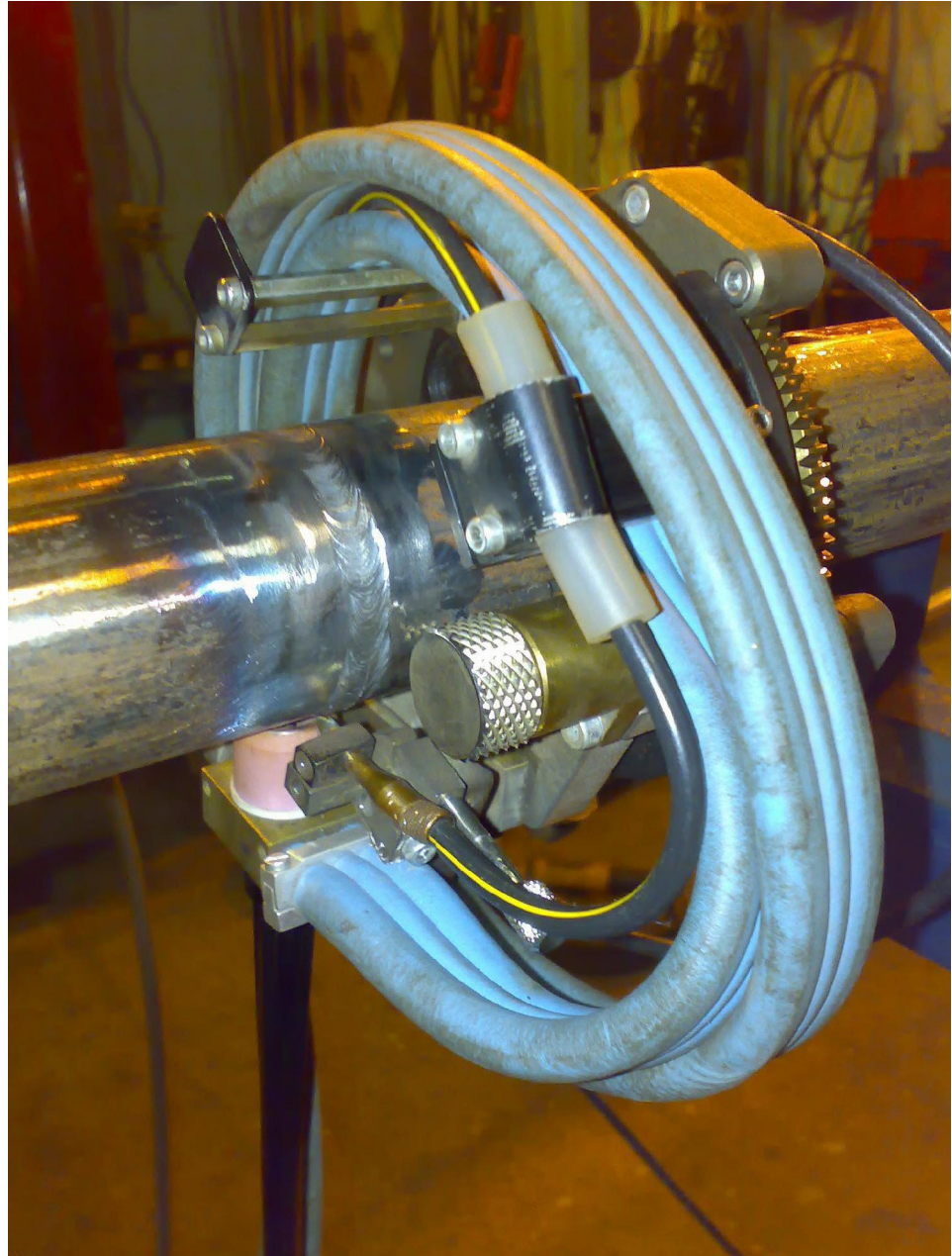


Kuva 119. Hitsausliitoksen leikkauskappaleita



Kuva 120. Koekappaleen koesauvoja

NDT- ja ainetta rikkovat aineenkoetukset onnistuivat hyvin. Orbitaali-TIG-hitsatun (kuva 121) saumattoman ja seostamattoman teräsputken S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 hitsausliitos täytti menetelmästandardin SFS-EN 288-3 (EN ISO 15614-1) vaatimukset.



Kuva 121. Saumattoman ja seostamattoman teräsputken S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 orbitaali-TIG-hitsausta Aker Yardsin Helsingin koehitsaamossa

14 YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tavoitteena oli entisenä Helsingin telakan konevarustelun putkihitsaajana ja nykyisenä rungonkoonnin hitsaustyönjohtajana herätellä henkiin orbitaali-TIG-hitsauksen käyttömahdollisuuksia Aker Yardsin telakoilla.

Orbitaalihitsauslaitteiden tuomat mahdollisuudet ovat lisääntyneet nykyaikana ja samalla putkihitsauksien laatu telakoilla heikentynyt. Tähän osasyynä lienee ammattitaitoisten hitsaajien vähentyminen ja ikääntyminen sekä hitsien vaativuuden kasvu.

Tuotannon mekanisointi ja automatisointi ovat olleet jo vuosia pysyvä kehityssuunta hitsauksessa käytettäessä sekä kevyitä kuljettimia että pitkälle kehitettyjä robottiratkaisuja. Hitsauksen mekanisoinnilla, erityisesti kevytmekanisoinnilla voidaan varsin pienin taloudellisin panoksin parantaa hitsauksen tehokkuutta, laatua ja työympäristöä.

TIG-hitsaus on yleisin menetelmä hitsattaessa kiinteäasentoisten paineenalaisten putkien päittäisliitoksia mekanisoidusti. Prosessilla pystytään näin vastaamaan hitsin sisäisen virheettömyyden lisäksi myös juuren ja kuvun mittaan, sekä muotoon kohdistuviin vaatimuksiin.

Insinööriyö on jaettu kolmeen eri osaan. Ensimmäisessä osassa kerrotaan teoretietoa aivan *ruohonjuuritasolta* lähtien koskien TIG- ja orbitaali-TIG-hitsausta.

Toisessa osassa tutustutaan käytännönläheisesti orbitaalilaitteiston toimintaan koehitsauksien avulla.

Kolmannessa eli projekti-osuudessa tarkoituksena oli löytää koehitsien avulla oikeat hitsausparametrit tasalaatuisen sekä virheettömän hitsausliitoksen aikaansaamiseksi ja suorittaa siinä onnistuessani virallisen menetelmäkokeen sisältämät rikkova ja rikkomaton aineenkoetus.

Projektiosuus onnistui hyvin. Orbitaali-TIG-hitsatun saumattoman ja seostamattoman teräsputken S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5 hitsausliitos täytti menetelmästandardin SFS-EN 288-3 (EN ISO 15614-1) vaatimukset.

Näin on näytetty toteen, että Aker Yardsin Helsingin koehitsaamossa luotu alustava hitsausohjelma (pWPS) (liite 8) täytti virallisen menetelmäkokeen sisältämät ainetta rikkomattoman (NDT) ja ainetta rikkovan aineenkoetuksen sisältämät vaatimukset.

Tässä työssä luotua alustavaa hitsausohjelmaa (pWPS) noudattaen voidaan luotettavasti tehdä koehitsi valvojan läsnä ollessa. Kun ohjetta (pWPS) noudatetaan, on erittäin todennäköistä, että se läpäisee standardin EN ISO 15614-1 edellyttävät testaukset.

Työ onnistui mielestäni hyvin, nyt on olemassa *tietopankki* koskien mekani-soitua TIG-hitsausta, jota voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi kouluttaessa ”tulevia” orbitaali-TIG-hitsausoperaattoreita Aker Yardsin telakoilla.

Projektityön tuloksena saatiin yksiselitteiset hitsausohjeet, joita käyttämällä saadaan laadullisesti onnistunut hitsi ja tarvittaessa se hyväksyä ja muuttaa hitsausohjeeksi (WPS).

VIITELUETTELO

- [1] Aker Yards. *Yritysprofili*. [verkkodokumentti, viitattu 11.04.08]. Saatavissa: <http://www.akeryards.com/aboutus/localakeryardssites/akeryards,finland/fi/yritysprofili/>
- [2] Lukkari, Juha. *Hitsaustekniikka. Perusteet ja kaarihitsaus*. Helsinki: Oy Edita AB.1998.
- [3] Lepola, Pertti – Makkonen, Matti. *Hitsaus ja teräsrakenteet*. Porvoo: Wsoy. 1998.
- [4] Lukkari, Juha. Putkien mekanisoitu TIG-hitsaus. *Hitsaustekniikka 4/03*, s. 11-28.
- [5] Pöllänen, Ilkka. *Pienten putkien päittäisliitoksen koneellinen TIG-hitsaus*. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. 1983.
- [6] Hyssy, Esko - Mikkola, Seppo, TIG- hitsaus. *Hitsaustekniikka 4/94*, s. 52 - 55.
- [7] Lukkari, Juha. Ruostumattomien putkien TIG-hitsien juurensuojaus. *Hitsaustekniikka 3/03*, s. 5 - 9.
- [8] Katainen, Harri – Mäkinen, Armas. *Hitsaustekniikka 2*. Porvoo: WSOY.1982.
- [9] Pienten kiinteäasentoisten putkien mekanisoitu TIG-hitsaus. *MET - Tekninen tiedotus 14/85*. Metalliteollisuuden kustannus oy. 1985.
- [10] YIT. *Lisätietoja orbitaalihitsauksesta*. Esite.
- [11] Lukkari, Juha. Putkihitsauksessa orbitaaliaikaan. *Hitsaustekniikka 3/04*, s. 29.
- [12] Korhonen, Mika - Luukas, Mikko. Putkien mekanisoitu kapearailo-TIG-hitsaus. *Hitsaustekniikka 2/99*, s. 55.
- [13] Monipalkohitsaus orbitaalilaitteilla. *Teknohaus - asiakaslehti 1/05*, s. 5.
- [14] Teknohaus. *Paineastiat ja -putkistot ja niiden hitsaaminen*. [verkkodokumentti, viitattu 27.02.08]. Saatavissa: http://webd.savonia-amk.fi/projektit/markkinointi/hit/users/materials/commonmaterial/seminars/Paineastiat_ja_putkistot/2005-11-1_Orbitaalihitsauslaitteet_ja_sovelluksia_Teppo_Viherv%C3%A4.pdf
- [15] Lukkari, Juha. Paksuseinäisten ruostumattomien putkien orbitaali-TIG-hitsaus. *Hitsaustekniikka 2/04*, s. 29 - 31.
- [16] TIG-hitsaus. *Kunnossapitokoulu n:o 50: Kunnossapitolehti 5/99*, s. 17.
- [17] Teknohaus. *Hitsaustekniikka*. [verkkodokumentti, viitattu 27.02.08]. Saatavissa: <http://www.teknohaus.fi/>
- [18] Esab. *Aristo MechTig C2002i*. Valmistajan tuote - esite.

- [19] Potkua orbitaalihitsaukseen. *Hitsausuutiset 1/08*, s. 22 - 23.
- [20] Esab. *Mechanized TIG*. [verkkodokumentti, viitattu 30.03.08]. Saatavissa: http://products.esabna.com/EN/home/welding_automation/welding_automation_secondary/g/display_id.id4367f61806fbf7.50032483/path.welding_automation_mechanized_tig
- [21] Jämsen, Timo, Teknohaus Oy. Re: *Asennuskuvia työmaalta*. [sähköpostiviesti] Vastaanottaja Marko Karppinen. Lähetetty 18.04.2008 [viitattu 20.04.08].
- [22] Lukkari, Juha. Orbitaali kiertää putken ympäri. *Hitsausuutiset 3 - 4/2003*, s. 3 - 6.
- [23] Polysoude. *Polycar 60/ Polycar 130*. Valmistajan tuote - esite.
- [24] Teknohaus. *Hitsauksen läpimenoaikojen tehostaminen*. [verkkodokumentti, viitattu 20.04.07]. Saatavissa: <http://www.teknohaus.fi/Tiedostot/Hitsauksen%20%E4pimenoaikojen%20lyhent%E4minen.pdf>
- [25] Palkio, Raimo. *Putkihitsauksen mekanisointi. Putkistohitsaus*. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. Helsinki. 1980, s. 2 - 3.
- [26] Esab. *Mekanisoitu TIG-hitsaus. Orbitaalihitsauksella parempiin tuloksiin*. Esite.
- [27] Esab. *Prowelder LTS*. Ohjelmointikäsikirja.
- [28] Työnjohtaja Kalevi Selvisen haastattelu. 10.04.08. Aker Yards Oy, Helsinki.
- [29] Gustafsson, Jukka - Veikkolainen, Mikko – Nykänen, Eero. Hitsauksen mekanisointi ja automatisointi kehittyvät laivanrakennuksessa. *Hitsaustekniikka 4/02*, s. 8.
- [30] Työsuunnittelija Tommi Järvenpään ja Hitsausoperaattori Niklas Törnströmin haastattelu. 26.02.08. Aker Yards Oy, Turku.
- [31] Esab. Prowelder 160, prowelder 250. Käyttöohjeet.
- [32] Kuusinen, Jere. Zenair CH 701 project. [verkkodokumentti, viitattu 18.04.08]. Saatavissa: <http://www.bit.spt.fi/jere.kuusinen/bend.htm>
- [33] Åström, Thomas, Pohjola konserni. *NDT-menetelmät*. [verkkodokumentti, viitattu 19.04.08]. Saatavissa: http://www.pohjola.fi/MuutSivut/tulostus/Turvallisuus/Alasivu_Tulostus?strGuid=%7B8ED80333-0EE4-489F-8D06-F49AFE4A87A9%7D
- [34] Latvala, Kari, Inspecta. *NDT-tarkastukset ja uudet tuotestandardit*. [verkkodokumentti, viitattu 17.04.08]. Saatavissa: http://www.shy-hitsaus.net/Latvala_NDTtarkastukset04.pdf
- [35] Suomen standardisoimisliitto SFS. Hitsaus. Osa 1. *Hitsauksen laadunhallinta*. Maaliskuu 2005.

- [36] Suomen standardisoimisliitto SFS. Hitsien tarkastus. Osa 1. *Rikkomaton aineenkoetus* .Syyskuu 2001.
- [37] Koivisto, Kaarlo ym. *Konetekniikan materiaalioppi*. Helsinki:Oy Edita Ab. 2001.
- [38] Suomen standardisoimisliitto SFS. Hitsien tarkastus. Osa 2. *Rikkova aineenkoetus* .Huhtikuu 1999.
- [39] Tampereen ammattikorkeakoulu. *Kuumavalssatut rakenneteräkset*. [verkkodokumentti, viitattu 27.04.2008]. http://www.tamk.fi/terasrakenteet/terasmateriaalina/rakenneterakset/kuumavals/teraksen_ominaisuudet/hitsattavuus_mat.htm
- [40] Wikipedia. *Vickers- kovuus*. [verkkodokumentti, viitattu 27.04.2008]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kovuus>
- [41] Eklund, Markus. *Koteloitujen komponenttien yleisimmät vauriomekanismit*. [verkkodokumentti, viitattu 28.04.08]. Saatavissa: <http://www.ept.tkk.fi/Teaching/S1133150/eklund.doc>

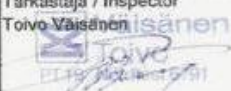
AISI 316 L:n RT-tarkastusraportti

Aker Yards		RÖNTGENTARKASTUSRAPORTTI				Nro No. 395			
Helsinki		X-ray inspection report				Sivu Sheet 1			
Laiva Ship		Asiakas Client Aker Yards Oy		Pirustusno. Drawing no.					
Tarkastuskohde Inspection object Hitsauskohteita				Tarkastusohje Procedure		Vitestand. Reference stand. SFS-EN 1435			
Tarkastuslaajuus Examination range <input checked="" type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/> Muu Other				Luokituslaitos Classification Society <input type="checkbox"/> LR <input type="checkbox"/> DNV <input type="checkbox"/> GL <input type="checkbox"/> RINA <input type="checkbox"/> RMRS					
Kuvasluokka Exam. class <input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B		Aine Material Ss		Rallo Groove I		Hits.men. Weld. method WPS nro WPS no.			
Laite Apparatus <input checked="" type="checkbox"/> Rtg <input type="checkbox"/> Muu Other		Focus mm 3,0x3,0	Max kV 200	Max mA 4,5	SFD mm 750	Indikaattori Indicator <input type="checkbox"/> 10FE <input type="checkbox"/> 13FE <input checked="" type="checkbox"/> Muu Other			
Filmi Film <input type="checkbox"/> C3 <input type="checkbox"/> C4 <input checked="" type="checkbox"/> C5		Vahv.levy Film screen 0,027		Indikaattorin sijoitus Indicator location <input checked="" type="checkbox"/> Filmin puoli Film side <input type="checkbox"/> Sätelylähteen puoli Source side					
Hyväksymisraja Acceptance criteria SFS-EN 25817 B									
Kivän tunnus Identification		Paksuus Thickness	kV / min	IQI	RTG- luokka / Vikä Class IIV / Defect	Hyv. Acc.	Hyl. Rej.	Hitsaajan nro Welder's no.	Huomautuksia Remarks
MK A		60 x 2,0	151 / 22s	W18	-	x		-	Karppinen M.
B		60 x 2,0	151 / 22s	W18	-	x		-	Karppinen M.
Kuvauspäivämäärä Date of the test 28.3.2008					Tarkastuspäivämäärä Check date 28.3.2008				
Allekirjoitukset Signatures									
Kuvaaja Technical Toivo Väisänen HT ID: Norstis/6791		Luokittelija Interpreti Toivo Väisänen HT ID: Norstis/6791		Valvoja/Supervisor		Luokituslaitos Classification society		Asiakas Client	

Vikatyytit Type of defects

- | | |
|---|--|
| 100 = Halkeama/Crack | 401 = Liitosvirhe/Lack of fusion |
| 104 = Kraatterihalkeama/Crater crack | 402 = Vajaa hitsautumissyvyys/Lack of penetration |
| 2011 = Huokonen/Gas pore | 500 = Virheellinen muoto/Imperfect shape |
| 2012 = Tasainen huokoisuus/Uniformly distributed porosity | 5011 = Jatkuva reunaavaa/Continuous undercut |
| 2013 = Huokosryhmä/Clustered porosity | 5012 = Katkonainen reunaavaa/Intermittent undercut |
| 2014 = Huokosjono/Linear porosity | 5013 = Juurenpuoleinen reunaavaa/Shrinkage groove |
| 2015 = Pitkänomainen huokonen/Elongated porosity | 502 = Korkea kupu/Excess weld metal |
| 2016 = Madonreikähuokonen/Worm-hole | 504 = Korkea juurikupu/Excess penetration |
| 2017 = Avohuokonen/Surface pore | 5041 = Paikallinen korkea juurikupu/Local excess penetration |
| 202 = Kutistumisolontelo/Shrinkage cavity | 506 = Valuma/Overlap |
| 2024 = Imuontelo, paippi/Crater pipe | 507 = Tasomainen sovitusvirhe/Linear misalignment |
| 300 = Sulkeuma/Solid inclusion | 509 = Vajonnut hitsi/Sagging |
| 301 = Kuonasulkeuma/Slag inclusion | 511 = Vajaa kupu/Incompletely filled groove |
| 302 = Juoksutesulkeuma/Flux inclusion | 515 = Vajaa juuri/Root concavity |
| 303 = Oksidisulkeuma/Oxide inclusion | 516 = Huokoisuus juuressa/Root porosity |
| 304 = Metallisulkeuma/Metallic inclusion | 517 = Uudeleenaloitusvirhe/Poor restart |
| 3041 = Volframisulkeuma/Tungsten inclusion | 601 = Sytytysjälki/Stray arc |
| 3042 = Kuparisulkeuma/Copper inclusion | 602 = Roiskeet/Spatter |

AISI 316 L:n tunkeumanestetarkastuspöytäkirja

Aker Finnyards		TUNKEUMANESTETARKASTUSPÖYTÄKIRJA		Nro No. 1	
Helsinki		Liquid penetrant inspection report		Sivu Sheet 1/1	
Laiva Ship		Asiakas Client		Piirustus nro Drawing no	
Tarkastuskohde Inspection object					
HITSAUSKOE Ø 60x2,0 MK / Marko Karppinen					
Tarkastusohje Procedure P205010 rev.A		Hyväksymisstandardi Acceptance standard SFS-EN 1289 / 2X		Viitestandardi Reference stand. SFS-EN 571-1	
Osan tunnus Part identification		Mitat Dimensions		Lämpökäsittely Heat treated	
<input checked="" type="checkbox"/> Hitsi Weld				<input type="checkbox"/> Kyllä Yes <input checked="" type="checkbox"/> Ei No	
<input checked="" type="checkbox"/> Perusaine Base material		Aine Material Ss		Esipuhdistus Precleaning Wire brush	
Tunkeumaneste Penetrant		Levitystapa Application		Vaikutusaika Penetrating time	
<input checked="" type="checkbox"/> Värillinen Coloured ArdroxP6R		<input checked="" type="checkbox"/> Aerosoli Aerosol <input type="checkbox"/> Upotus Immersion		15	
<input type="checkbox"/> Fluoresoiva Fluorescent		<input type="checkbox"/> Pensseli Brush			
Ylimääräisen tunkeumanesteen poisto Removal of excess penetrant					
<input checked="" type="checkbox"/> Liuottimella With solvent Ardrox 9PR5					
<input checked="" type="checkbox"/> Vedellä With water					
Kehitys Developing Kehite Developer		Ardrox 9D1B		Levitystapa Application	
Vaikutusaika Developing time				<input checked="" type="checkbox"/> Aerosoli Aerosol	
				<input checked="" type="checkbox"/> Muu Other	
				<input type="checkbox"/> Yleis General <input checked="" type="checkbox"/> Kohde Spot	
				<input type="checkbox"/> UV-valo Black light	
Lisätietoja Supplementary data					
Tarkastustulos Inspection result					
<input checked="" type="checkbox"/> Täyttää vaatimukset Meets the requirements		<input type="checkbox"/> Ei täytä vaatimuksia Doesn't meet the requirements		Pvm Date 28.3.2008	
Allekirjoitukset Signatures					
Tarkastaja / Inspector Toivo Väisänen		Valvoja / Supervisor		Luokituslaitos / Classification society	
					
				Asiakas / Client	

Orbitaali-TIG-hitsausohjelma (NS40)

SAUMATON JA SEOSTAMATON TERÄS (NS40)										
S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5										
Juuripalko										
LANKA 0,8 mm AUTROD 12.51							HITSAUSTYÖKALU PRB 17-49		SUOJA- KAASU	
SEKTORI	SEKTORIN ARVO	HUIPPU- VIRTA	PERUS- VIRTA	HUIPPU- AIKA	PERUS- AIKA	PYÖRIMIS- LIIKE	HUIPPU- LANKA cm/min	PERUS- LANKA cm/min	esi- ja jälki- virtaus	ESILÄM- MITYS
1	0	136	100	0,21	0,23	150	50	50	2,0s.	10,0s
2	0,25	123	90	0,21	0,23	160	40	35		
3	0,5	120	105	0,21	0,23	170	40	40		
4	0,8	110	100	0,21	0,23	160	40	35		
5	1,02	0A/9,0s.	0A/9,0s.	0,21	0,23	160	10	10	4,0s.	
6										
7										
8										

S355J2H, EN10210 / Ø 48,3 x 4,5

Väli- ja pintapalko

LANKA 0,8 mm AUTROD 12.51

HITSAUSTYÖKALU PRB 17-49

SUOJA-
KAASU

SEKTORI	SEKTORIN ARVO	HUIPPU- VIRTA	PERUS- VIRTA	HUIPPU- AIKA	PERUS- AIKA	PYÖRIMIS- LIIKE	HUIPPU- LANKA cm/min	PERUS- LANKA cm/min	esi- ja jälki- virtaus	ESILÄM- MITYS
1	0	130	100	0,21	0,23	150	40	40	2,0s.	10,0s.
2	0,25	120	100	0,21	0,23	150	55	50		
3	0,5	115	95	0,21	0,23	170	75	75		
4	0,7	100	85	0,21	0,23	160	30	30		
5	0,9	100	85	0,21	0,23	150	30	15		
6	1,06	0A/9,0s.	0A/9,0s.	0,21	0,23	150	10	10	12,0s.	
7										
8										

Juuripalon kaariaika ---> 3:08

Väli- ja pintapalon kaariaika ---> 2 x 3:25


Yhteensä 9:58 min

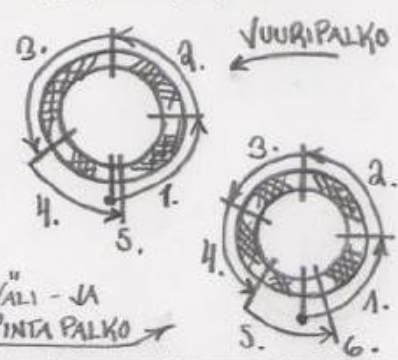
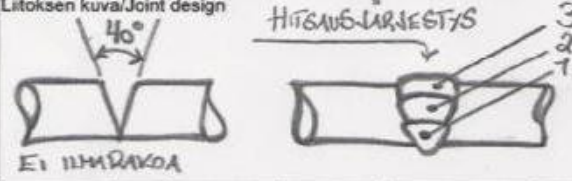
Alustava hitsausohjelma (pWPS)

**ALUSTAVA HITAUSOHJE
(PWPS)**

PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION

11.05.2008


Aker Finnyards 

Hitsausprosessi Welding Process	T41 TIG-HITAUS - GTAW		Seostetuin perusaine Most alloyed base material	S355J2H						
Menetelmäkoe WPQR	-		Tuotelaji Type of product	PUTKET / PIPES						
Vaatimukset Requirements	-		Liitosmuoto Joint type	PÄTTÄISLIITOS / BW						
Hitsausasento Welding position	PG, PF, PUTKEN YMPÄRI / AROUND THE PIPE		Materiaalin paksuus Material thickness	4.5 mm						
Lisäaine Consumable	AUTROD 12.51 Ø0.8		Putken halkaisija Pipe diameter	Ø 48.3 mm						
Perusaineen merkintä EN Luokitus / Classification	S355 J2H, EN 102 10		A-mitta / Throat thickness	Yksipalkko / Single pass	- mm					
Suojakaasu Shielding gas	ARGON	Kaasun virtaus Gas flow	12 l/min		Monipalkko / Multi pass					
Juurituki Backing	-	Juurijauhe Root flux	-		Esilämmitys / Preheating / moisture removal					
Juurikaasu Root Gas	ARGON	Kaasun virtaus Gas flow	3 l/min		Välipalkolämpötila Interpass Temp.					
Poittimen kulma ja sivuttaisliike / Torch angle and weaving										
Palko/Bead	T(työntö/push)	V(veto/pull)	Kulma/Angle	Sivuttaisliike / Weaving						
-			-							
Muita tietoja / Volframielektrodi / Tyyppi / Koko Other info / Tungsten electrode / Type / Size			Hitsausjärjestys/Welding Sequences							
Ø 2.4 mm PUNAINEN / RED WT 20										
Railonvalmistus / Groove preparation LYRSINTÄ / SORVAUS TAI VASTAAVA MENETelmä JODA PYSTYTÄÄN TEKEMÄÄN SOVELTUVA RAILO										
Liitoksen kuva/Joint design										
										
Asento/ Position	Palko Bead No.	Lisäaine- indeksi Filler Metal Index	Puikon/ langan halk. Electrode/ Wire diam.	Virta Current A	Jännite Voltage V	Napaisu us Polarity AC/DC	Langan syöttö- nopeus / Wire feed speed m/min	Vapaalan- kapitus Stick-out length mm	Kuljetus- nopeus Travel speed cm/min	Hitsause- nergia Arc energy kJ/cm
VUURI- PALKKO	1.		0,8	136 / 100	13.6	DC-	50 / 50			
	2.		0,8	123 / 90	13.1	DC-	40 / 35			
	3.		0,8	120 / 105	12.7	DC-	40 / 40			
	4.		0,8	110 / 100	11.5	DC-	40 / 35			
	5.		0,8	0 / 100	10.7	DC-	10 / 10			
VÄLI- VA PINTA- PALKKO	1.		0,8	130 / 100	13.4	DC-	40 / 40			
	2.		0,8	120 / 100	13.2	DC-	55 / 50			
	3.		0,8	115 / 95	12.6	DC-	75 / 75			
	4.		0,8	100 / 85	12.4	DC-	30 / 30			
	5.		0,8	100 / 85	12.3	DC-	30 / 15			
	6.		0,8	0 / 85	11.5	DC-	10 / 10			

Röntgentarkastusraportti

Aker Yards		RÖNTGENTARKASTUSRAPORTTI				Nro No. 398		
Helsinki		X-ray inspection report				Sivu Sheet 1		
Laiva Ship		Asiakas Client		Piirustusno. Drawing no.				
Tarkastuskohde Inspection object Hitsauskoe Marko Karppinen				Tarkastusohje Procedure		Viitestand. Reference stand. SFS-EN 1435		
Tarkastuslaajuus Examination range <input checked="" type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/> Muu Other				Luokituslaitos Classification Society <input type="checkbox"/> LR <input type="checkbox"/> DNV <input type="checkbox"/> GL <input type="checkbox"/> RINA <input type="checkbox"/> RMRS				
Kuvausluokka Exam. class <input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B		Aine Material Fe		Rallo Groove V		Hits.men. Weid. method WPS nro WPS no.		
Laitte Apperatus <input checked="" type="checkbox"/> Rtg <input type="checkbox"/> Muu Other		Focus mm 3,0x3,0	Max kV 200	Max mA 4,5	SFD mm 750	Indikaattori Indicator <input checked="" type="checkbox"/> 10FE <input type="checkbox"/> 13FE <input type="checkbox"/> Muu Other		
Filmi Film <input type="checkbox"/> C3 <input type="checkbox"/> C4 <input checked="" type="checkbox"/> C5		Vahv.levy Film screen 0,027		Indikaattorin sijoitus Indicator location <input checked="" type="checkbox"/> Filmin puoli Film side <input type="checkbox"/> Säteilysähteen puoli Source side				
Hyväksymisraja Acceptance criteria SFS-EN 25817 B								
Kuvan tunnus Identification	Paksuus Thickness	kV / min	IQI	RTG-luokka / Vikat Class IIW / Defect	Hyv. Acc.	Hyl. Rej.	Hitsaajan nro Welder's no.	Huomautuksia Remarks
Koe3	A	48,3x4,5	190/0,9	W15				
	B			515,504				
Kuvauspäivämäärä Date of the test 15.4.2008				Tarkastuspäivämäärä Check date 15.4.2008				
Allekirjoitukset Signatures								
Kuvaja Risto Savolainen		Luokittelija/Interpreti Risto Savolainen		Valvoja/Supervisor		Luokituslaitos Classification society		Asiakas Client
<p><i>Risto Savolainen</i></p>								
<p>Vikatyytit Type of defects</p> <p>100 = Halkeama/Crack 104 = Kraatterihalkeama/Crater crack 2011 = Huokonen/Gas pore 2012 = Tasainen huokoisuus/Uniformly distributed porosity 2013 = Huokosryhmä/Clustered porosity 2014 = Huokosjono/Linear porosity 2015 = Pitkänomainen huokonen/Elongated porosity 2016 = Madonreikähuokonen/Worm-hole 2017 = Avohuokonen/Surface pore 202 = Kutistumisontelo/Shrinkage cavity 2024 = Imuontelo, psippi/Crater pipe 300 = Sulkeuma/Solid inclusion 301 = Kuonasulkeuma/Slag inclusion 302 = Juoksesulkeuma/Flux inclusion 303 = Oksidisulkeuma/Oxide inclusion 304 = Metallisulkeuma/Metallic inclusion 3041 = Volframisulkeuma/Tungsten inclusion 3042 = Kuparisulkeuma/Copper inclusion</p> <p>401 = Liitosvirhe/Lack of fusion 402 = Vajaa hitsautumissyvyys/Lack of penetration 500 = Virheelinen muoto/Imperfect shape 5011 = Jatkuva reunahaava/Continuous undercut 5012 = Katkonainen reunahaava/Intermittent undercut 5013 = Juurenpuoleinen reunahaava/Shrinkage groove 502 = Korkea kupu/Excess weld metal 504 = Korkea juurikupu/Excess penetration 5041 = Paikallinen korkea juurikupu/Local excess penetration 506 = Valuma/Overlap 507 = Tasomainen sovitusrvirhe/Linear misalignment 509 = Vajonnut hitsi/Sagging 511 = Vajaa kupu/Incompletely filled groove 515 = Vajaa juuri/Root concavity 516 = Huokoisuus juuressa/Root porosity 517 = Uudelleenaloitusvirhe/Poor restart 601 = Sytytysjälki/Stray arc 602 = Roiskeet/Spatter</p>								

Magneettijauhetaarkastuspöytäkirja

Aker Yards Helsinki		MAGNEETTIJAUHETARKASTUSPÖYTÄKIRJA Magnetic particle inspection report		Nro No. Sivu Sheet 1/1	
Laiva Ship		Asiakas Client		Piirustus nro Drawing no	
Tarkastuskohde Inspection object Hitsauskoe Marko Karppinen Tunnus KOE3					
Tarkastusohje Procedure Q-CR-HUT-032		Hyväksymisstandardi Acceptance standard SFS-EN 25817/C		Viitestandardi Reference stand. EN 1290	
Osan tunnus Part identification <input checked="" type="checkbox"/> Hitsi Weld <input type="checkbox"/> Perusaine Base material		Mitat Dimensions 48,3x4,5 Aine Material Fe		Lämpökäsitelty Heat treated <input type="checkbox"/> Kyllä Yes <input checked="" type="checkbox"/> Ei No Puhdistusmenetelmä Cleaning method Harjattu	
Kontrastiväri / Contrast Bycotest 104		Magneettijauhe / Magnetic particle <input type="checkbox"/> Kuiva Dry <input type="checkbox"/> Värillinen Coloured <input checked="" type="checkbox"/> Märkä Wet <input type="checkbox"/> Fluoresoiva Fluorescent		Bycotest 103 Valaistus Illumination <input checked="" type="checkbox"/> Yleis General <input type="checkbox"/> Kohde Spot <input type="checkbox"/> UV-valo Black light	
Napamagnetointi Magnetic flow <input checked="" type="checkbox"/> Ies Yoke <input type="checkbox"/> Kela Coil <input type="checkbox"/> Yleispenkki Bench		Magnetointimenetelmä Magnetization method <input checked="" type="checkbox"/> Vaihtovirta AC <input type="checkbox"/> Tasavirta DC		Virtamagnetointi Current flow <input type="checkbox"/> Kohtio Prod Virta Current Kohtioeläisyys Prod distance <input type="checkbox"/> Apujohdin Threading bar Virta Current <input type="checkbox"/> Yleispenkki Bench	
Magneettikenttä Magnetizing field <input checked="" type="checkbox"/> Kokettu Verified <input type="checkbox"/> Mitattu Measured		Jäännösmagnetismi Demagnetization <input type="checkbox"/> Poistettu Performed <input checked="" type="checkbox"/> Ei poistettu Not performed			
Lisätietoja Supplementary data					
Tarkastustulos Inspection result		<input checked="" type="checkbox"/> Täyttää vaatimukset Meets the requirements		<input type="checkbox"/> Ei täytä vaatimuksia Doesn't meet the requirements	
Allekirjoitukset Signatures					
Tarkastaja / Inspector Risto Savolainen		Valvoja / Supervisor		Luokituslaitos / Classification society	
				Asiakas / Client	
Pvm Date 15.4.2008					

