

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
School of Energy Systems
Konetekniikan koulutusohjelma

Raine Maarnela

**ASENNUKSEN LAADUNHALLINTA SOODA- JA
VOIMAKATTILOISSA**

Tarkastajat: Professori Harri Eskelinen
DI Jussi Kupari

Ohjaajat: DI Jussi Kupari
DI Janne Grönmark
Laboratorioinsinööri Esa Hiltunen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
School of Energy Systems
Konetekniikan koulutusohjelma

Raine Maarnela

Asennushitsauksen laadunhallinta sooda- ja voimakattiloissa

Diplomityö

2018

93 sivua, 53 kuvaa, 17 taulukkoa ja 3 liitettä

Tarkastajat: Professori Harri Eskelinen
DI Jussi Kupari

Hakusanat: asennushitsaus, hitsauksenlaadunhallinta, soodakattila, voimakattila

Sooda- ja voimakattiloissa asennushitsauksen laadunhallinta on tärkeää, koska useiden hitsausvirheiden tapahtuessa vuosihuollon aikataulussa pysyminen on haastavaa. Aikataulujen venyminen voi aiheuttaa suunnitellun asennusajan ylityksen, joka johtaa lisäkustannuksiin. Tämän työn tarkoituksena on tunnistaa sooda- ja voimakattiloiden asennustyömailla hitsausvirheisiin johtaneita syitä hitsauskokeiden avulla ja selvittää millä toimenpiteillä hitsausvirheitä voitaisiin välttää.

Työn kirjallisuusosiossa perehdytään kattiloiden rakenteeseen ja asennushitsauksessa sovellettaviin standardeihin. Lisäksi kirjallisuusosuudessa selvitetään asennushitsauksissa käytettävät hitsausprosessit, terästen hitsattavuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä menetelmiä hitsauksen laadunhallintaan.

Työn tutkimusosuudessa keskitytään kahteen erilliseen hitsauskokeeseen. Hitsauskokeita varten rakennettiin koekappaleet, jossa käytettävät teräslaadut, hitsausprosessit ja lisäaineet jäljittelivät mahdollisimman tarkasti oikeita kattilan materiaaleja ja rakenteita. Hitsauskokeen kaikki hitsit tarkastettiin NDT menetelmällä ja osa hitseistä testattiin rikkovilla menetelmillä. Hitsauskokeiden tulosten perusteella päivitetään hitsaustyöohjeita parantamaan laadunhallintaa asennushitsauksissa.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
School of Energy Systems
Mechanical Engineering

Raine Maarnela

Quality management of site welding in recovery and power boilers

Master's thesis

2018

93 pages, 53 figures, 17 tables and 3 appendixes

Examiner: Professor Harri Eskelinen
M.Sc.Eng Jussi Kupari

Keywords: quality management of welding, power boiler, recovery boiler, site welding

The quality management of site welding is important when working with recovery and power boilers, as it is challenging to keep to schedules when several welding defects appear. Delaying from timetables can cause to delay from a planned installation time and that may lead to additional costs. The aim of this study is to identify the reasons behind welding defects on the installation site recovery and power boilers and, furthermore, to investigate what action needs to be taken in order to avoid welding defects.

The theoretical part of this research focuses on the structure of the boilers and the standards required for site welding. In addition, the theoretical part covers welding processes for site welding, factors affecting the weldability of steel, and ways of handling quality management in welding.

The empirical part focuses on two separate welding tests. In the welding tests the steel grades, welding processes, and filler materials were all as comparable as possible with the correct boiler materials and structures. Each of the welding tests was inspected using the NDT method and some of the welds were also tested using DT method. In order to improve quality management results of the welding tests will be utilised to update welding instructions.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Valmet Oy:lle 2017 ja 2018 välisenä aikana.

Tahdon kiittää Valmet Oy:n Jussi Kuparia sekä Janne Grönmarkia diplomityön ohjauksesta sekä opastuksesta voima- ja soodakattiloiden maailmaan. Kiitän myös Valmet Oy:n Rami Uusitaloa, jonka avustuksella diplomityö sai alkunsa, hitsaustyön suorittajaa Marko Muilua sekä muita Valmet Oy:n työntekijöitä jotka osallistuivat ja opastivat diplomityöhön liittyvissä asioissa.

Tahdon myös kiittää Varo Teollisuuspalvelut Oy:n Jussi Lähdeettä ja Jussi Vänskää kattila kierroksista, toimintaohjeista sekä tutkimusmateriaaleista.

Lisäksi haluan kiittää LUT:n professoria Harri Eskelistä ja laboratorioinsinööriä Esa Hiltusta diplomityön ohjauksesta sekä erikoislaboratoriomestaria Antti Heikkistä metallografisista näytteistä.

Helsingissä 26.5.2018

Raine Maarnela

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	10
2	KOHDEYRITYS JA SEN TARPEET TUTKIMUSTYÖLLE	11
3	SOODA- JA VOIMAKATTILOIDEN KORJAUS- JA MUUTOSTYÖT	12
3.1	Sooda- ja voimakattiloiden rakenne ja toimintaperiaate	13
3.2	Kattiloiden määräaikainen kunnossapito sekä huolto- ja muutostyöt.....	15
3.3	Työmaa-asennukset sekä hitsaustyöt	20
3.3.1	Ikkunapalan tiivistyshitsaus.....	23
3.3.2	Tulistimen sidehitsaus	26
4	ASENNUSHITSAUKSESSA KÄYTETTÄVÄT HITSAUSPROSESSIT	28
4.1	Puikkohitsauksen käyttö asennustyömaalla	28
4.2	TIG- hitsauksen käyttö asennustyömaalla.....	30
5	MATERIAALIEN HITSATTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	31
5.1	Seosaineiden vaikutus teräkseen ja teräksen hitsattavuuteen.....	31
5.1.1	Seostamattomat teräkset	32
5.1.2	Niukkaseosteiset teräkset.....	34
5.1.3	Ruostumattomat kompond-teräkset.....	35
5.2	Lämmöntuonti hitsauksen aikana	36
6	HITSAUKSEN LAADUNHALLINTA	38
6.1	Terästen kaarihitsaus ja hitsausvirheisiin perustuvat hitsiluokat.....	38
6.2	Hitsausohjeet	39
6.3	Hitsaajan pätevyyskokeet.....	39
7	TUTKIMUSOSUUS	40
7.1	Ikkunapalan tiivistyshitsaus	40
7.1.1	Materiaalit.....	41
7.1.2	Hitsausvälineistö	43

7.1.3	Lisäaineet.....	43
7.1.4	Hitsauskokeet.....	44
7.1.5	Koekappaleet	45
7.1.6	Hyväksymisen kriteerit.....	46
7.2	Tulistimen sidehitsaus.....	46
7.2.1	Materiaalit.....	47
7.2.2	Hitsausvälineistö	48
7.2.3	Lisäaine.....	48
7.2.4	Hitsauskokeet.....	49
7.2.5	Koekappaleet	49
7.2.6	Hyväksymisen kriteerit.....	50
8	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	50
8.1	Ikkunapalan tiivistyshitsauskoe.....	51
8.1.1	Tiivistyspalan valmistus ja hitsaus.....	52
8.1.2	Hitsauskoe 1.....	53
8.1.3	Hitsauskoe 2.....	54
8.1.4	Hitsauskoe 3.....	54
8.1.5	Hitsauskoe 4.....	55
8.1.6	Hitsauskoe 5.....	56
8.1.7	Hitsauskoe 6.....	57
8.1.8	Hitsauskoe 7.....	58
8.1.9	Hitsauskoe 8.....	59
8.1.10	Hitsauskoe 9.....	60
8.1.11	Hitsauskoe 10.....	61
8.1.12	Hitsauskoe 11.....	61
8.1.13	Hitsauskoe 12.....	62
8.1.14	Tunkeumanestetarkastus.....	65
8.2	TIG- hitsauksen tunkeumakoe.....	69
8.2.1	Hitsauskoe 1.....	69
8.2.2	Hitsauskoe 2.....	71
8.2.3	Hitsauskoe 3.....	72
8.2.4	Hitsauskoe 4.....	73
8.3	Tulistimen sidehitsauskoe	75

8.3.1	Hitsauskoe 1.....	77
8.3.2	Hitsauskoe 2.....	78
8.3.3	Hitsauskoe 3.....	79
8.3.4	Hitsauskoe 4.....	80
8.3.5	Hitsauskoe 5.....	81
8.3.6	Hitsauskoe 6.....	82
9	YHTEENVETO.....	83
	LÄHDEVIITTEET	88

LIITTEET

LIITE 1: Hitsauslisäaine Sandvik 31.27.4 LCuR

LIITE 2: Hitsauslisäaine Cromarod 309MoL

LIITE 3: Hitsauslisäaine NiCro 31/27

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

SYMBOLIT

I	Virta (ampeeria)
k	Terminen hyötysuhde
Q	Lämmöntuonti (kJ/mm)
U	Jännite (volttia)
v	Hitsausnopeus (mm/min)

ALKUAINEET

C	Hiili
Cr	Kromi
Cu	Kupari
Mn	Mangaani
Mo	Molybdeeni
Ni	Nikkeli
P	Fosfori
S	Rikki
Si	Pii
V	Vanadiini

LYHENEET

ASME	American society of Mechanical engineers
C _{ekv}	Hiiliekvivalentti
CE _{IW}	Hiiliekvivalentti (International Institute of Welding)
CEN	European Committee for Standardization (EN)
DT	Rikkova aineenکوetus (Destructive Testing)
EMEA	Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka
ISO	International Organization for Standardization
MIG	Metallikaari, aktiivinen kaasu (Metal-arc Active Gas)

MIG	Metallikaari, inerttinen kaasu (Metal-arc Inert Gas)
NDT	Rikkomaton aineenkoetus (Non Destructive Testing)
pWPS	Alustava hitsausohje (Preliminary Welding Procedure Specification)
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
TIG	Volframi, inerttinen kaasu (Tungsten Inert Gas)
WPQR	Hyväksyttämispöytäkirja (Welding Procedure Qualification Record)
WPS	Hitsausohje (Welding Procedure Specification)

1 JOHDANTO

Kiristyvässä kilpailutilanteessa kaupallisessa toiminnassa olevien sooda- ja voimakattiloiden seisokkiajat ovat lyhentyneet merkittävästi. Kattilahuollon aikana tuotantoa ei ole, jolloin huoltoajat yritetään minimoida tuottavuuden kasvattamiseksi. Kattiloiden huoltotyöt ovat usein suuritöisimpiä ja aikataulut ovat kiireellisiä, joten asennusvirheisiin ei ole aikaa. Lisäksi kattilatyöt ovat kriittisiä, koska tehdasta ei voida käynnistää ilman toimivaa kattilaa.

Sooda- ja voimakattilat ovat hitsattuja teräsrakenteita, jonka sisällä lämpötilat ovat korkeita (550 °C) ja korroosion sekä eroosion vaikutus voi olla voimakasta. Korroosion ja eroosion vaikutusta ei voida tarkalleen määrittää, koska ne ovat kattilakohtaisia sekä riippuvaisia kattilan operoinnista. Optimaalisessa tilanteessa kattilassa ei tapahdu korroosiota ja eroosiota, mutta se ei vastaa todellisuutta. Tämän seurauksena kattilaa joudutaan tarkastamaan ja huoltamaan kausittaisessa huoltoseisokissa, että kattilaa pystytään operoimaan seuraavaan huoltoseisokkiin asti. Kattilan huoltotöissä vaihdetaan vaurioituneet ja kuluneet osat tai nostetaan tuotantokapasiteettia uusilla rakenteilla. Nämä kaikki työt vaativat hitsausta, jolloin hitsaustyön ja hitsauksenlaadunhallinta pitää olla hyvällä tasolla.

Diplomityön kirjallisuusosassa perehdytään sooda- ja voimakattiloiden rakenteisiin ja tutkitaan erilaisia kattilanvaurionmekanismeja. Lisäksi kattilaa pidetään painelaitteena, jolloin on tiedettävä, mitä eri standardeja kattilan muutos- ja korjaustöissä on noudatettava. Kattilan asennustöissä teräslitosten tekemiseen hitsaaminen on ainut hyväksytty tapa ja kirjallisuusosassa perehdytään asennustöissä käytettäviin hitsausprosesseihin ja niiden käyttöön asennushitsauksissa. Hitsaustyöskentelyn lisäksi on tärkeää ymmärtää terästen ominaisuudet ja niiden käyttäytyminen ennen hitsausta, hitsauksen aikana sekä hitsauksen jälkeen laadun varmistamiseksi. Kirjallisuusosassa tutkitaan myös, millä tavoilla hitsauksen laadunvarmistusta voidaan hallita.

Diplomityön tutkimusosuudessa hitsauskokeet rajataan ikkunapalan tiivistyshitsaukselle sekä tulistimen sidehitsaukselle. Tutkimusosuudessa käytetään samoja teräslaatuja ja

lisäaineita, mitä käytetään sooda- ja voimakattiloissa. Hitsauskokeet suoritetaan puikko-, sekä TIG- hitsauksella ja molemmat hitsauskokeet suoritetaan samalla hitsauskoneella. Koekappaleet rakennetaan kattilan rakenteiden mukaisesti, jolloin tuloksista saisi mahdollisimman totuudenmukaisia ja vertailukelpoisia. Hitsit tarkastetaan hitsauskokeiden jälkeen silmämääräisesti ja osalle hitseistä tehdään tunkeumanestetarkastus tai metallografiset tutkimukset. Kaikille koehitseille tehdään analyysi hitsauksen laadusta ja suorituksesta.

Työn tavoitteena on tunnistaa hitsausvirheisiin johtaneita syitä hitsauskokeiden avulla ja selvittää, millä toimenpiteillä hitsausvirheitä voisi välttää. Hitsauskokeiden tulosten sekä analyysien perusteella päivitetään kohdeyritykseen asennushitsausentyöohjeita parantamaan laadunhallintaa sooda- ja voimakattiloiden asennushitsauksissa. Työssä pyritään löytämään vastaukset, miten hitsausmenetelmät, lisäaineiden ominaisuudet ja ympäristötekijät vaikuttavat asennushitsauksen?

2 KOHDEYRITYS JA SEN TARPEET TUTKIMUSTYÖLLE

Valmet on yksi johtavista sellun, paperin ja energiateknologian toimittajista maailmassa, joka on keskittynyt teknologian, automaation ja palveluiden tuottamiseen sekä kehittämiseen. Lisäksi Valmet on monikulttuurinen yhtiö, joka toimii yli 30:ssä eri maassa, Valmetilla on yli 150 toimistoa ja yli 12 000 työntekijää. Valmet perustettiin, kun sellu-, paperi- ja energiantuotannon alat erkanivat Metso Oyj:stä joulukuussa 2013. Pääkonttori sijaitsee Suomen Espoossa. (Valmet 2017b, Valmet 2017c)

Valmet on jakautunut viiteen eri liiketoiminta-alueeseen globaalisti: Pohjois-Amerikka, Etelä-Amerikka, EMEA, Aasia ja Tyynenmeren alue sekä Kiina. Näillä alueilla Valmetilla on neljä liiketoimintaa:

- sellu ja energia
- huoltopalvelut
- automaatio
- paperi. (Valmet 2017a)

Noin kolmannes yrityksen liikevaihdosta perustuu huoltopalvelut liiketoimintaan. Yksi näistä osa-alueista on Energia- ja ympäristöalan palvelut. Energia- ja ympäristöalan asiakkaille toimitettavia palveluita ovat:

- Parannusprojektit
- Kunnossapito- ja huoltopalvelut
- Varaosat
- Erikoistuotteet
- Sopimusliiketoiminta
- Palamisen ja päästöjen hallinta
- Korroosion hallinta
- Kompetenssien kehittäminen (Grönmark, Kupari 2018)

Palveluita tarjotaan pääsääntöisesti voimalaitoksille ja sellutehtaan talteenottoon. Käytännössä tyypillisimpiä huollon- ja palveluntarjonnan kohteita ovat voima- ja soodakattilat, kaasuttimet sekä niihin liittyvät apulaitteet. Lisäksi toimintaa on viime vuosina laajennettu myös prosessiteollisuuden asiakkaisiin. (Grönmark, Kupari 2018)

Merkittävä osa energia- ja ympäristöalan palveluista muodostuu voima- ja soodakattiloiden parannusprojekteista sekä erityisesti soodakattiloiden vuosihuollon aikana suoritettavista vaativista painerungon kunnossapitotöistä. Laitteiden huoltoseisokit merkitsevät asiakkaille menetettyä tuotantoa, joten lyhyt seisokkiaika on useille asiakkaille rahallisesti merkittävä asia. Onnistumisen edellytys lyhytkestoisissa huoltoseisokeissa on huolellinen ja yksityiskohtainen esisuunnittelu sekä varautuminen vasta seisokin aikana havaittavien vaurioiden korjaamiseen. (Grönmark, Kupari 2018)

3 SOODA- JA VOIMAKATTILOIDEN KORJAUS- JA MUUTOSTYÖT

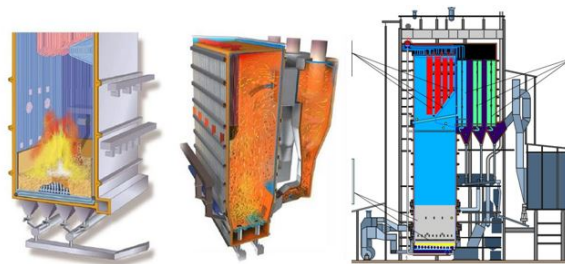
Sooda- ja voimakattiloiden rakenne ja pääasiallinen käyttötarkoitus eroavat toisistaan, vaikka molemmissa kattilatyypeissä seinärakenteet ovatkin samanlaiset. Kattiloiden käytön kannalta on tärkeää, että niissä suoritetaan määräajoin (n. 1-2 vuotta) huolto- ja kunnossapitotöitä, jolloin vaurioituneet osat vaihdetaan ja rikkoutuneet kohdat korjataan. Työmaa-asennukset suoritetaan asennuskohteessa ja ympäristöolosuhteet tuovat

ylimääräisiä haasteita. Asennustyömaalla ylimääräiset haasteet johtuvat kosteudesta, ympäristöön kertyneestä liasta, epäergonomisista työasennoista ja nopeammasta työtahdistista konepajaan verrattuna. (Kammerlind 2018a, s. 3-36)

3.1 Sooda- ja voimakattiloiden rakenne ja toimintaperiaate

Nykyaikana sooda- ja voimakattilat ovat runkorakenteeltaan ripustettuja kattiloita ja niiden paino lepää kokonaan kehyspalkkivahvisteisten putkiseinien varassa, eikä erillisrunkoa tarvita. Kattiloiden tukitaso sijaitsee yläpuolella ja kattilat kiinnitetään kannatuspilareihin sekä primääripalkkeihin, joiden varassa kattila riippuu ripustustangoistaan. Riippuvan kattilan alaosa on täysin irti maasta ja tämän myötä lämpölaajeneminen tapahtuu alaspäin. Ripustetun kattilan putkiseinät varustetaan kehyspalkeilla tulipesän painekuormien ja suurien seinäpintojen värähtelyn vuoksi. Kattilan koon vuoksi voimat ja rasitukset ovat suuria kattilan seinissä riippuvan rakenteen vuoksi. (Huhtinen et al 2004, s. 187-188)

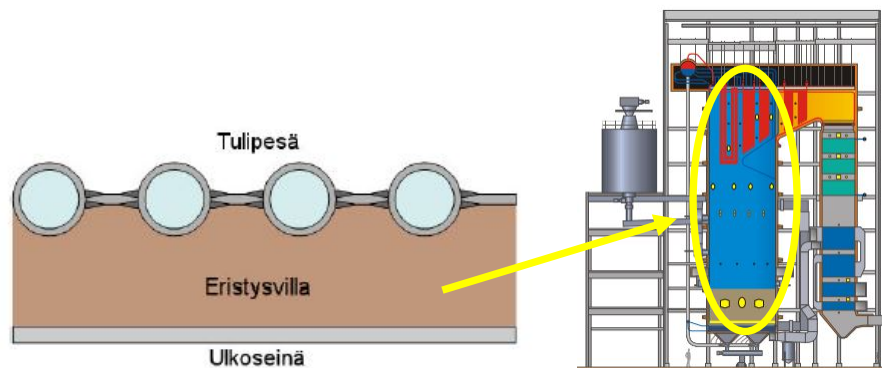
Voimakattiloita voidaan jakaa toimintaperiaatteeltaan leijupeti- (BFB) ja kiertopetikattiloiksi (CFB). Leijupetikattilassa on hiekkaa ja polttoaine syötetään petin päälle, missä polttoaine sekoittuu hiekkaan. Hiekassa polttoaineesta haihtuu palamiskaasuja, jolloin palamisprosessi tapahtuu petin päällä. Kiertopetikattilassa käytetään suurempaa leijutusnopeutta kuin leijupetikattilassa, jolloin selvää petin pintaa ei pysty erottamaan. Näin ollen osa hiekasta tempautuu savukaasujen mukaan ja tulipesästä poistuneet hiekat palautetaan takaisin tulipesään syklonin avulla. Palamattomat materiaalit ja tuhka poistetaan ajoittain molemmista kattilatyypeistä. Soodakattilan tulipesä ei sisällä hiekkaa laisinkaan ja palamaton materiaali, jota kutsutaan sulkasi, poistuu sulakouruja pitkin viherlipeäliuottajaan nestemäisenä (Kuva 1). (Huhtinen et al 2004, s. 157-168)



Kuva 1. Erilaiset kattilatyypit: Leijupeti (BFB)-, kiertopeti (CFB)- ja soodakattila. (Olfsson 2018, s. 13; Wallin 2018, s. 18)

Sooda- ja voimakattilan toimintaperiaatteet eroavat toisistaan pääasiallisen tarkoituksensa sekä polttoaineen vuoksi. Voimakattiloiden pääasiallinen tarkoituksensa on tuottaa sähköä tai lämpöä polttamalla fossiilisia tai biopohjaisia materiaaleja. Polttoaine syötetään mekaanisesti petin päälle kiinteänä materiaalina ja usein polttoaineena toimii puu, hiili tai kuori. Soodakattila kytkeytyy aina sellunvalmistusprosessiin ja tarkoituksensa on sellunkeitosta syntyvien keittokemikaalien talteenotto ja mustalipeän polttaminen. Polttoaine syötetään ruiskuttamalla tulipesään ja orgaanisen aineen palaessa jäljelle jäänyt epäorgaaninen aines otetaan talteen myöhempää käyttöä varten. Sivutuotteena soodakattila tuottaa höyryä sellunvalmistusprosesseihin sekä sähköä. (Huhtinen et al 2004, s. 157-168)

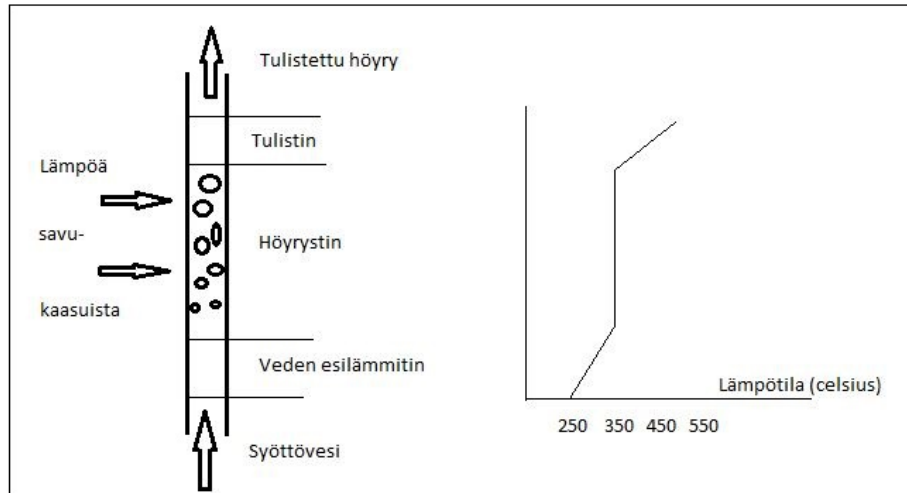
Nykyinen sooda- ja voimakattila rakenne perustuu hitsattuun rakenteeseen, jossa keittoputkisto muodostaa kaasutiiviin putkiseinämän tulipesän ympärille. Putkiseinämän rakenne valmistetaan höyrystinputkista ja väliin hitsatuista evistä, joita nykyään kutsutaan membraaniseinämäksi (Kuva 2). (Huhtinen et al 2004, s. 187)



Kuva 2. Membraaniseinämän rakenne kuvattuna ylhäältäpäin, jossa höyrystinputkien väliin on hitsattu eviä. (Huhtinen et al 2004, s. 187; Olofsson 2018, s. 19)

sooda- ja voimakattilat ovat höyrykattiloita, jotka kehittävät höyryä höyrystinputkistoon syötetystä vedestä. Kattilaseinän höyrystinputki on koko kattilan pituinen putki, joka alkaa kattilan alaosasta ja päättyy kattilan huipulla olevaan lieriöön. Vesi syötetään kattilan alaosasta höyrystinputkenputken sisälle, jossa sitä kuumennetaan höyrystyslämpötilaan, jonka jälkeen vesi muuttuu vesihöyryksi. Vesihöyryn lämpötilan noustessa alkaa vesihöyry nousta höyrystinputkenputken sisällä kohti kattilan huippua. Ennen kuin vesihöyry poistuu

kattilasta, vesihöyry lämmitetään korkeampaan lämpötilaan eli vesihöyryä tulistetaan ja tyypillinen höyrinpainne on 150-200 bar ja lämpötila 450-550°C:sta (Kuva 3). (Huhtinen et al 2004, s. 7)



Kuva 3. Höyrykattilan toimintaperiaate kuvattuna yhtenä putkena miten syöttövesi muuttuu tulistetuksi höyryksi. (Huhtinen et al 2004, s. 7)

Veden lämmittäminen höyrystyslämpötilaan ja höyryn tulistaminen tarvitsee energiaa, jota voidaan tuottaa polttamalla tulipesässä palavia materiaaleja. Polttoaine tarvitsee myös palamiseen palamisilmassa olevan hapen, jotta polttoaineeseen sitoutuneen kemiallinen energia saadaan muutetuksi lämpöenergiaksi. Lämpöenergia koostuu pääosin savukaasuista, joita hyödynnetään höyrystinputkien lisäksi erilaisissa höyryntuotannon lämmönvaihtimissa siirtämällä savukaasuista lämpöenergiaa tulistimiin, höyrystimeen, vedenesilämmittimeen sekä palamisilmanesilämmittimeen. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää kohdeyrityksen sooda- ja voimakattiloiden kattilarakenteessa. (Huhtinen et al 2000, s. 7)

3.2 Kattiloiden määräaikainen kunnossapito sekä huolto- ja muutostyöt

Sooda- ja voimakattilat määritellään painelaitteiksi, jolloin niiden korjaustöitä tulee käsitellä painelaitedirektiivien mukaisesti. Painelaitedirektiivi (953/1999) määritellään niin, että asennus-, korjaus- ja muutostöissä vaatimukset ovat samat kuin uusien painelaitteiden valmistuksessa. Korjaustöitä tekevillä henkilöillä on oltava asianmukainen

pätevyys ja liitokset tulee tehdä pätevyityjen menetelmien mukaisesti. Liitokset on aina valmistettava pysyviksi esimerkiksi hitsaamalla niin, että ne voidaan irrottaa vain rikkovilla menetelmillä. (Tukes 2018)

Kattilan valmistuksessa seurataan valmistusmaan direktiivejä sekä standardeja. EN standardi on yksi käytetyimmistä painelaitteastian valmistusstandardeista, mikä on Eurooppalaisessa standardisoimisjärjestössä CEN:issä vahvistettu tunnus. Kattilan asennushitsauksessa ovat seuraavat hitsauksen valmistusstandardit tärkeitä:

- SFS EN ISO 5817- Hitsaus- Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat.
- SFS EN ISO 9606 osat 1 & 4 Hitsaajan pätevyyskokeet, teräs & nikkeli ja nikkelizeokset.
- SFS EN ISO 15614-1 Hyväksyntä menetelmäkokeelle, teräs & nikkeli ja nikkelizeokset.
- SFS EN 12952 osa 5: Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Paineellisten osien valmistus.
- SFS EN 12952 osa 6: Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Kattilan paineenalaisten osien valmistuksen aikainen tarkastus, dokumentointi ja merkintä. (Anderson 2018, s. 3-5; Standardit ja julkaisut 2018)

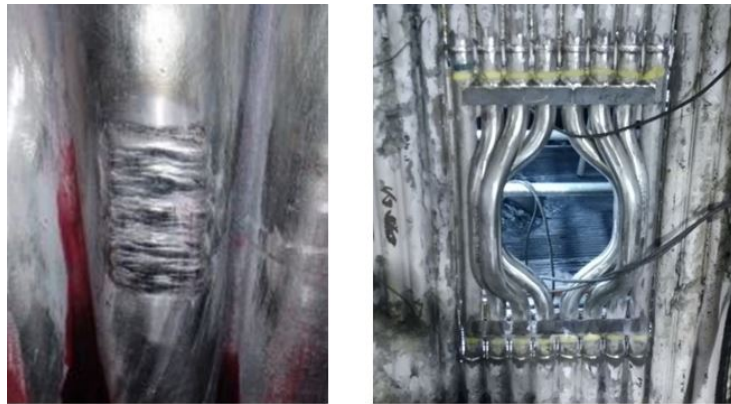
Toinen valmistuksessa käytettävä painelaitteen valmistusstandardi on ASME (American society of Mechanical engineers). ASME:n tärkeimmät hitsausstandardit kattilanvalmistuksessa ovat:

- ASME I Boiler and Bressure vessel Code
- ASME V Non Destructive examination
- ASME IX- Welding, Brazing and Fusing qualifications. (Anderson 2018, s. 18)

EN:n ja ASME:n suurimmat erot liittyvät valmistajan tuotevastuuseen. EN ja ASME-standardeissa on säädetty, kuinka tulee suorittaa hitsaajanpätevyystesti, miten hitsausmenetelmät hyväksytään sekä kuinka hitsit tulee tarkastaa. (Anderson 2018, s. 16)

Kattilan tarkastuksessa havaitun vaurion korjaavat toimenpiteet aloitetaan selvittämällä vauriomekanismi ja sen laajuus. Vauriomekanismin selvityksen avulla pyritään estämään

vaurion uusiutuminen materiaalin valinnalla tai tekemällä muita korjaavia muutostöitä vaurion estämiseksi. Vaurion laajuuden ollessa pieni ja syntymekanismi ei ole uusiutuva voidaan suorittaa paikallinen korjaus. Jos vaurion laajuus on suuri tai joudutaan tekemään rakenteellisia muutoksia, korjauksen laajuus voi vaihdella yhdestä putkesta kokonaiseen seinäpaneelin vaihtoon. Höyrystinputken pinnoitteen kuluessa tai vahingoittuessa pinnoite pitää korjata. Pinnoitteen korjaaminen tehdään päällehitsaamalla. Jos pinnoitetta ei voida korjata tai höyrystinputken seinämäpaksuus on ohentunut alle suunnitteluarvon, täytyy höyrystinputki vaihtaa (Kuva 4). Korjaustyöt suoritetaan aina kattilan metallirakenteissa hitsaamalla. (Nafari 2018, s. 2-3)



Kuva 4. Vasemmassa kuvassa havaittu pinnoitteen kulumista, johon on suoritettu päällehitsaus. Oikeassa kuvassa on vaihdettu ilma-aukkopaneeli. (Nafari 2018, s. 2)

Vauriokorjausten lisäksi kattiloihin voidaan tehdä asiakkaan toivomuksesta päivitys, jolloin kattilan tuotantokapasiteettia tai käyttövarmuutta nostetaan. Päivityksissä tehtävät muutokset voivat sisältää esimerkiksi:

- ilma-aukko ja ilmanohjausmuutoksia
- nuohoimen lisäyksiä
- kompond-rajan nostoa. (Grönmark, Kupari 2018)

Kattilan käyttötarkoituksesta johtuen seisokkien pituus voi vaihdella muutamasta päivästä viikkoihin. Lämpöä tuottavien voimakattiloiden käyttöaste kesäisin on matala verrattuna talveen, jolloin kesään ajoittuva vuosihuollon kesto ei ratkaisevasti vaikuta kattilan käyttöön. Vastaavasti soodakattilan jokainen seisokkipäivä on omistajalle merkittävä, koska tuotantoa ei ole ja käyttöasteen pitäisi olla jatkuvasti korkealla. Tällöin

seisokkiajasta halutaan mahdollisimman lyhyt, jolloin korjaus-, huolto sekä muutostyöt on suoritettava mahdollisimman tehokkaasti. (Metsä Groupin Viesti 2014, s. 12)

Kattiloiden jatkuva käyttämisen ja poltosta johtuvien vaativien olosuhteiden vuoksi kattilan sisäosat kuluvat lämpöpintojen likaantumisen, korroosion ja eroosion seurauksena. On tärkeää, että kattilaa pystytään käyttämään tehokkaasti ilman ylimääräisiä alasajoja, jolloin kattila vaatii määräaikaista huoltoseisokkeja. Huoltamattoman kattilan käyttövarmuus on alhaisempi ja vaurioituneen kattilan käytöstä voi aiheutua työturvallisuus- sekä ympäristöriski. (Huhtinen et al 2004, s. 209-214)

Lämpöpintojen likaisuus heikentää lämmönsiirtoa. Voimakas likaantuminen saattaa aiheuttaa savukaasujen kanavoitumista ja siten aiheuttaa materiaalin ylikuumentumista lämmönsiirtimen muissa osissa. Lisäksi yhden lämmönsiirtimen likaantuminen saattaa aiheuttaa savukaasuvirrassa myöhemmin sijaitsevan lämmönsiirtimen ylikuumentumisen. Vakavan ylikuumentuminen voi aiheuttaa laiterikkoja lämmönsiirtimissä. Lämpötilan noustessa teräksen kimmokerroin laskee ja lämpötilan noustessa riittävän korkealle kuormaan nähden aiheuttaa lämmönsiirtimeen virumista (Kuva 5). (Ala-Outinen et al 2001, s. 9; Huhtinen et al 2004, s. 209; Mäkelä 2018, s. 20)



Kuva 5. Ylikuumentumisen seurauksena kaksi ensimmäistä tulistinputkea keskeltä ovat viruneet ja kattilan jäähtyessä taipuneet sivuille. (Mäkelä 2018)

Metallin reagoidessa ilman kanssa muodostuu usein metallin päälle oksidikerros, jota kutsutaan metallin hapettumiseksi eli korrodoitumiseksi. Syntynyt metallioksidikerros heikentää metallin ja hapen välistä reaktiota, jolloin hapettuminen eli korrosio vähenee. Korroosion nopeus on riippuvainen hapen kyvystä läpäistä oksidikalvon. Kattilan osapaine voi kuitenkin olla liian alhainen, jotta puhdas rauta kykenisi muodostamaan hapen kanssa oksidikalvoa eikä rauta pysty suojautumaan korroosiota vastaan. Rikkiä sisältävässä ympäristössä edellä mainittu korroosion muodostus ei päde. Jos rikki läpäisee oksidikerroksen, muodostuu metallisulfidia. Metallisulfidi heikentää oksidikerrosta ja tekee muodostuneen oksidikerroksen huokoiseksi ja helposti hilseileväksi (Kuva 6). Lisäksi jos natriumkloridi pääsee muodostamaan kaasumaisen rikin kanssa oksidikerroksen päälle sulaa natriumsulfaattia, metallia suojaava oksidikerros hajoaa. (Huhtinen et al 2004, s. 211-212; Nafari 2018, s. 5; Tuthill, Avery 1993, s. 41-42)



Kuva 6. Tulistinputken sulfidoituminen oksidikerroksen sijaan. (Nafari 2018, s. 5)

Kattiloissa vaikuttava eroosio on peräisin savukaasuissa kulkevien kovien hiukkasten ja partikkeleiden aiheuttamista kulumista. Eroosionnopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- törmäysnopeus
- törmäyskulma
- partikkelin massa
- kokojakauma
- konsentraatio
- kovuus
- putkistomateriaali. (Huhtinen et al 2004, s. 213)

Erosion ongelmallisuus ei ole yhtä haastava kuin korroosiolla ellei polttoaine sisällä kuluttavia partikkeleita. Jos polttoaine sisältää kuluttavia partikkeleita, niin eroosio on otettava huomioon suunnitteluvaiheessa (Kuva 7). Eroosion vaikutusta voidaan pienentää:

- laskemalla virtausnopeutta
- rakentamalla suuret savu- ja virtauskanavat
- käyttämällä suojaavia muurauksia
- lisäämällä putkisuojia erityisesti höyrynuohoimien vaikutusalueelle
- rakentamalla putkistot mahdollisimman suoriksi estämään pyörteiden muodostumista. (Das & al 2005, 583-585; Huhtinen et al 2004, s. 213)



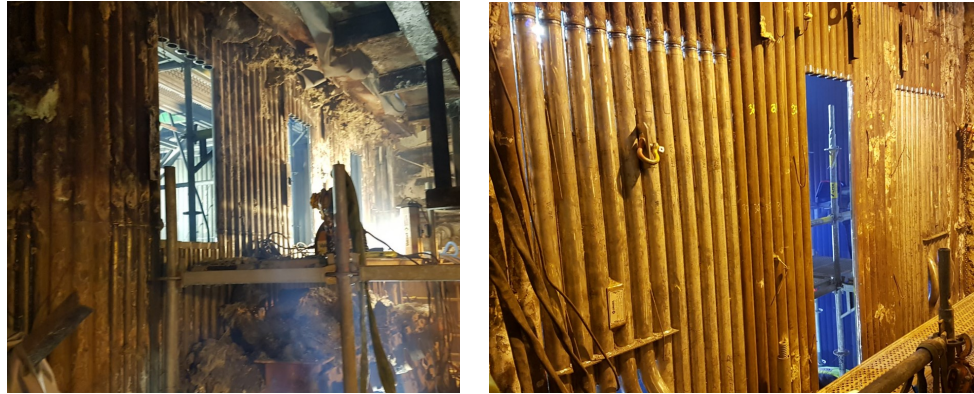
Kuva 7. Leijupetikattilan seinähöyrystinputki kattilan nokan vierestä, joka on nuohoimen puhalluksen seurauksena kärsinyt eroosiosta. (Nafari 2018, s. 3)

3.3 Työmaa-asennukset sekä hitsaustyöt

Kattiloiden työmaa-asennukset suoritetaan aina tehdasalueella, vaikka esirakennettuja osia voidaan valmistaa konepajoilla. Olosuhteet kattilahuoneessa eivät ole aina ihanteellisia johtuen pölyävistä eristemateriaaleista sekä ilmankosteudesta, mikä usein tiivistyy metallin pinnalle aiheuttaen virheen mahdollisuuksia hitseihin. Voimakattilan hitsiä häiritsevä tekijä kattilahuoneessa on rikki, jota usein löytyy ilmasta ja pinnoilta koska polttoaineet sisältävät rikkiä noin 0-3 % pois lukien venäläinen maakaasu sekä puu. Soodakattilassa rikin määrä on vielä suurempaa, sillä polttoaine pohjautuu natriumin ja rikinkierto, kun rikinmäärä mustalipeässä on 5,5-6 %. (Huhtinen et al 2004, s. 38 ja 45; Kammerlind 2018b, s. 3)

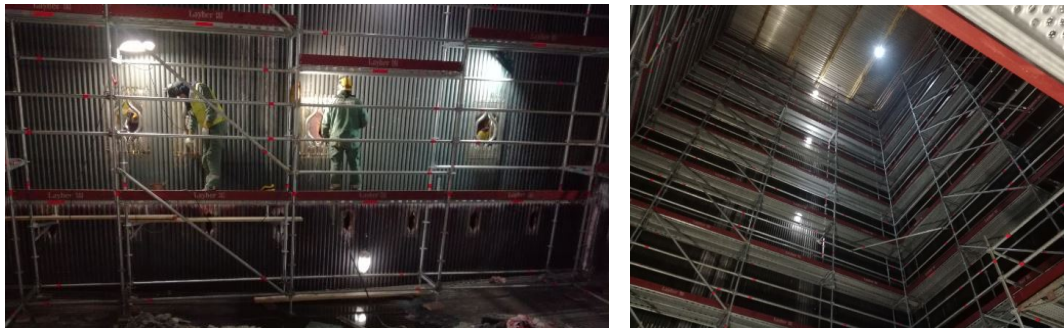
Lisäksi kattilan rakenne aiheuttaa ”savupiippu ilmiön”, jolloin ilmavirtaus on jatkuva ja sen vaikutus membraaniseinämien pienissä aukoissa on häiritsevää hitsauksen kannalta. Ilmavirta liikuttaa hitsauksen aikana suojakaasua pois hitsausalueelta, jolloin hitsi voi hapettua ja hitsiin syntyy huokosia. (Aga 2013b, s. 6; Lahtinen 2018)

Membraaniseinän esiin saanti vaati tulipesän ulkopuolelta eristeiden purkua. Eristeenä toimii kivivilla joka pois otettuna aiheuttaa suurta pölyämistä työsuoritusalueella ja vaikka eristetyöt on suoritettu jopa vuorokausi ennen työmaa-asennuksia, villan pölyämistä voi olla vielä havaittavissa tasoilla ja pinnoilla (Kuva 8). (Kammerlind 2018b, s. 2-3)



Kuva 8. Työskentelyä alueella missä eristeet ovat poistettu. (Kupari 2018)

Kattilan suuresta korkeudesta johtuen työskentely voi tapahtua kymmenien metrien korkeudella kattilarakennuksen lattiatasolta katsottuna. Työskentely korkealla vaatii massiivisia telineitä, jotka tarvittaessa voidaan rakentaa kattilan pohjalta kattoon asti. Telinejaon vuoksi tasoa ei usein saada työsuorituspisteen kohdalle tai asennettava osa on niin suuri, että työergonomia ei ole aina paras mahdollinen (Kuva 9). (Kammerlind 2018b, s. 3-4)



Kuva 9. Asennushitsausta telinetyöskentelynä sekä koko kattilan kattavat telineet.

Hitsaustyöt suunnitellaan pääsääntöisesti etukäteen. Painelaitedirektiivi (953/1999) määrää, että hitsit tulee suorittaa pätevien menetelmien mukaisesti ja hitsauksen suorittajalla täytyy olla asianmukainen pätevyys. Laadunvalvontaa suoritetaan seuraamalla kirjallisia menettelyohjeita jotka edellyttävät laatujärjestelmästandardeja (SFS EN ISO 15614-1). Hitsauksentyöohjeiden käytöllä luodaan perusta, että hitsit ovat vaatimusten mukaisia, mutta eivät silti poissulje virheiden mahdollisuutta. Hitsauksentyöohje eli WPS:n tulisi sisältää seuraavat asiat:

- perusaine
- ainepaksuus
- railonmuoto ja railon valmistus
- hitsausprosessi
- hitsausaineet
- hitsausparametrit
- työlämpötilat ja lämpökäsittelyt. (Lepola, Ylikangas, 2016, s. 239)

Hitsaustyönsuorittajan pätevyys voidaan todentaa hitsaajan pätevyyskokeella, joka perustuu SFS EN ISO 9606-1 standardiin. Hitsaajanpätevyyskokeessa testataan hitsaajan taitoa hitsata ohjeiden mukaisesti. Mikäli hitsauksen suoritus ei vastaa annettua ohjeistusta, niin koe hylätään ja vaaditaan uusi pätevyyskoe. Hitsauskokeen SFS EN 9606-1 pätevyyskokeen oleelliset muuttujat ovat:

- hitsausprosessi
- tuotemuoto
- hitsilaji
- lisäaineryhmä
- lisäainetyyppi
- aineenpaksuus
- hitsautumissyvyys
- putken ulkohalkaisija
- hitsausasento
- hitsin yksityiskohdat. (Lepola, Ylikangas, 2016, s. 245-252)

Asennushitsauksen työnlaatua tarkastetaan NDT menetelmien avulla. Tarkastuksen avulla pystytään varmistamaan asennustyön vaatima laatutaso ja painelaitteen turvallisuus sekä standardit määrittävät mitä tarkastusmenetelmää tulee hitsaustyöhön käyttää. Usein käytetyt NDT:n tarkastusmenetelmät ovat:

- silmämääräinen tarkastus
- tunkeumanestetarkastus
- radiografinen tarkastus
- ultraäänitarkastus
- magneettijauhetarkastus
- pyörrevirtatarkastus (Johansson, Olsson 2018, s. 2-6)

Osassa kohdeyrityksen kattiloissa tehtävistä asennustöistä määritellään kriittiseksi, vaikka työt ovat yleisiä ja tyypillisiä seisokissa tehtäviä töitä. Edellä mainittuihin töihin voidaan lukea ikkunapalan tiivistyshitsaus sekä tulistimen sidehitsaus. Kyseiset työt kuuluvat seisokeissa kriittisiin hitsaustyösuorituksiin johtuen laadullisista tekijöistä ja vaikeasti hitsattavista materiaaleista. Lisäksi työt suoritetaan työmaaolosuhteissa, mikä nostaa työn vaatimustasoa verrattuna konepajaympäristöön. (Grönmark, Kupari 2018)

3.3.1 Ikkunapalan tiivistyshitsaus

Ikkunapalan tiivistyshitsauksella tarkoitetaan aukkoa membraaniseinässä höyrystinputkien liituskohdassa, joka täytetään evänpalalla. Evänhitsausta kutsutaan ikkunapalan tiivistyshitsaukseksi. Ikkunapalan tiivistyshitsaus tekee kattilan seinistä yhteneväisiä ja tiiviitä (Kuva 10). Aukontarkoitus on mahdollistaa höyrystinputkien päittäinen ympärihitsaus. Koska tämä on kattilaseinien huoltotöissä viimeinen työvaihe, esivalmistelut konepajoilla eivät ole mahdollisia. Hitsaustyöt joudutaan aina suorittamaan työmaalla työmaaolosuhteissa. (Kupari, Savinainen 2017)



Kuva 10. Vasemmalla höyrystinputket ovat päittäisliitetty ja aukko on ikkunapalakoossa. Keskellä evä eli ikkunapala on asennettu paikoilleen. Oikealla evä on hitsattu ja membraaniseinämästä on saatu yhtenäinen.

Tarve ikkunapalahitsaukselle lähtee kattilaseinän avauksella, jolloin höyrystinputki katkaistaan ja vaihdetaan uuteen. Ennen kuin ikkunapalan tiivistyshitsausta voidaan hitsata, täytyy suorittaa putkien asennustyö. Asennustyö aloitetaan tekemällä viisteet asennettavien höyrystinputkien päihin ja kiinnittämällä höyrystinputket linjaan pienillä hitseillä (Kuva 11). (Kupari, Savinainen 2017)



Kuva 11. Viistetty höyrystinputki ja höyrystinputkien sovittaminen linjaan, jonka jälkeen hitsataan paikoilleen silloitushitsaamalla.

Linjauksen jälkeen höyrystinputket hitsataan ja kiinnityksen jälkeen evät hitsataan ikkunapalakovun. Ikkunapalakovun tarkoitus on mahdollistaa höyrystinputken päittäisliitos. Kattilatyypistä riippuen höyrystinputki voi olla pinnoitettu syövyttäviä olosuhteita vastaan. Tämä asia täytyy myös huomioida höyrystinputken pinnoitushitsauksessa. Pinnoitettu höyrystinputki täytyy hitsata pinnoitteen vuoksi kahdella eri lisäaineella, kun pinnoittamaton voidaan hitsata käyttämällä yhtä lisäainetta. (Kupari, Savinainen 2017)

Soodakattilan höyrystinputken päittäisliitos on asennustyön yksi kriittisimmistä kohdista missä ei sallita hitsausvirheitä vuodosta johtuvien sula-vesi-räjähdyksvaaran vuoksi. Tämän takia jokainen ympärihitsaus varmennetaan soodakattiloissa NDT tarkastuksella käyttämällä röntgenkuvausta. Jos hitsien sisällä tai juuressa havaitaan hitsausvirheitä kuten halkeama, huokosia tai vajaa juuritunkema, virheellinen hitsi hiotaan auki ja hitsaustyö suoritetaan uudelleen. Tämä toistetaan tarvittaessa niin monta kertaa, että jokainen hitsiliitos on virheetön (Kuva 12). (Kupari, Savinainen 2017)



Kuva 12. Höyrystinputkienliitos tehty ympärihitsaamalla ja hitsin röntgentarkastus.

Ikkunapala valmistetaan ruostumattomasta teräs- tai komponeevästä. Ikkunapala mitoitetaan oikean pituiseksi, asennetaan paikoilleen ja hitsataan. Hitsaus aloitetaan tulipesän puolelta ja hitsauksen jälkeen hitsauksen laatu tarkastetaan silmämääräisesti. Jos hitsit ovat silmämääräisen tarkastuksen jälkeen hyväksyttävät, hitsataan ikkunapala kattilan ulkopuolelta. Ulkopuolen hitseille suoritetaan myös silmämääräinen tarkastus. (Kupari, Savinainen 2017)

Koska membraaniseinämän täytyy olla kaasutiivis, silmämääräisellä tarkastuksella tätä ei voida havaita. Kaasutiiveyden varmistaminen suoritetaan tunkeumanestetarkastelulla. Jos kehitteeseen alkaa muodostua punaista, hitsit eivät ole kaasutiiviitä vaan sisältävät säröjä, reikiä tai halkeamia. Värjäytymän koosta riippuen voidaan arvioida hitsausvirheiden koko. Virheet korjataan, jonka jälkeen tarkastus uusitaan korjatuille kohteille. (Kupari, Savinainen 2017)

3.3.2 Tulistimen sidehitsaus

Tulistinsiteiden tarkoitus on pitää tulistinputket yhtenä elementteinä, koska nopeasti virtaavat savukaasut pyrkivät heiluttelemaan niitä. Jos tulistinputken side on vaurioitunut ja savukaasut pääsevät heiluttamaan tulistinputkea, liikkuminen aiheuttaa tulistinputken yläosan väsymisvauriota kuormitusten jännitysvaihteluista. (Salmi 2017, s. 55)

Savukaasut sisältävät lisäksi pieniä hiukkasia, joita tempautuu savukaasujen mukaan palavasta materiaalista. Tulistinputken ollessa pois elementtilinjasta hiukkaset aiheuttavat eroosiota, mikä ohentaa putken seinämää ja pahimmillaan aiheuttaa tulistinputkeen vuodon. Sivulla oleva tulistinputki häiritsee myös savukaasujenvirtausta aiheuttaen pyörteilyä savukaasunvirtauksiin. Vapaana oleva tulistinputki on myös altis nuohoimen painepuhdistuksille, jolloin nuohoimen höyrynpaine voi työntää tulistinputkea toiseen tulistinputkeen päin aiheuttaen mekaanisia vaurioita. (Lahtinen 2018)

Tulistinputkien siteet ovat happamissa olosuhteissa, jolloin korroosiovauriot ovat siteissä yleisiä. Korroosiovauriot voivat olla vähäisiä kuten siteiden irtoaminen toisistaan tai pahimmassa tapauksessa lähes koko side on korroosion vaikutuksesta hävinnyt (Kuva 13). Tulistinputkien siteiden korjauksissa uutta sidettä ei laiteta vanhan siteen päälle, vaan side korjataan asentamalla uusi side vanhan siteen ylä- tai alapuolelle. (Lahtinen 2018; Mäkelä 2018, s. 22)

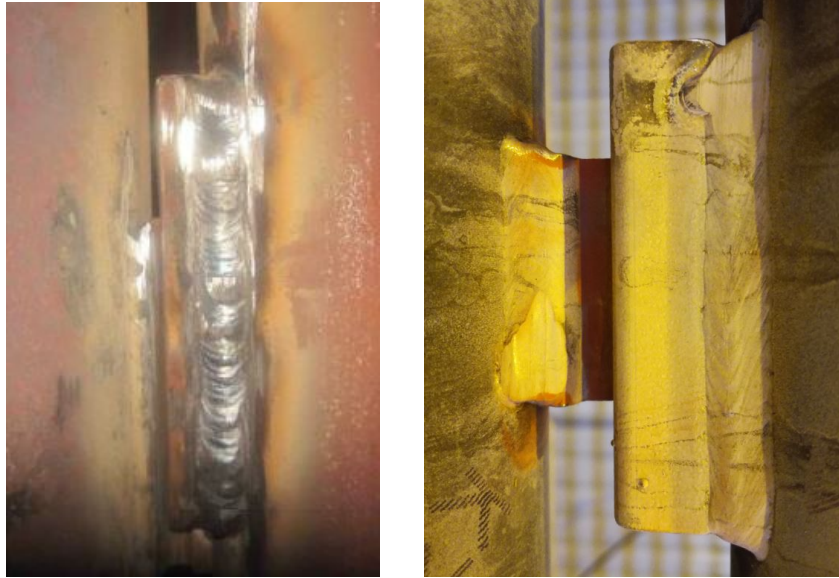


Kuva 13. Siteiden korroosiovaurioita, jolloin tulistinputket pääsevät liikkumaan. (Mäkelä 2018, s. 22; Tarkastusraportti RB3 2016, s. 27)

Polttoaineesta savunkaasujen mukana noussut materiaali palaa kiinni tulistinputkiin ja vaikeuttaa asennushitsausta merkittävästi, sillä siteiden asennuksessa puhtauden kanssa täytyy olla erittäin huolellinen. Hitsaustyöt aloitetaan asennusalueen putsauksella käyttämällä hiontaa. Hionnassa putken perusainetta tulisi poistaa mahdollisimman vähän, koska materiaalin poistaminen heikentää tulistinputkea. (Lahtinen 2018)

Osa tulistinputkien materiaaleista tarvitsee esilämmitystä ennen hitsausta, jotta jäähtyminen olisi riittävän hidasta. Esilämmitys tehdään nestekaasupolttimella, mitä on nopea käyttää ja helppo siirrellä kattilan sisällä verrattuna lämmitysmattoihin. Tulistinputken sidehitsaus tehdään siteiden molemmille puolille ja hitsaus tulee suorittaa yhdellä kaaren sytytyksellä per puoli. Hitsauksessa tulee kiinnittää huomiota kaaren sytytykseen. Sytytysjälki on hyvä jäädä hitsin alle, koska sytytysjälki on usein syöpymisen alkukohta. Valokaaren sammutuksessa hitsinpäähän voi syntyä lopetuskraatteri, joka aiheuttaa säröjä. Lopetuskraatteri voidaan estää oikeanlaisella hitsin lopetuksella tai hiomalla kraatteri pois. (Lahtinen 2019; Lepola, Ylikangas 2016, s. 240-242)

Hitsit tulee aina tarkastaa silmämääräisesti heti hitsaustyön jälkeen. Jos hitsissä havaitaan virhe, tulee virhe poistaa ja hitsaustyö suorittaa uudelleen. Silmämääräisellä tarkastelulla ei voida havaita mikrosäröjä, joita on syntynyt hitsauksen aikana, siksi side tulee vielä erikseen tarkastaa tunkeumanestetarkastuksella (Kuva 14). Tunkeumanestetarkastelun jälkeen säröttömät hitsit hyväksytään ja säröt hiotaan sekä hitsataan uudelleen. (Lahtinen 2018)



Kuva 14. Hitsattuja tulistinputkensiteitä, joista oikeanpuoleiselle on tehty tunkeumanestetarkastus. (Tarkastusraportti RB2 2016, 30)

4 ASENNUSHITSAUKSESSA KÄYTETTÄVÄT HITSAUSPROSESSIT

Asennushitsaus on aina työmaalla suoritettava hitsaustyö, jolloin olosuhteet konepajaan verrattuna ovat paljon haasteellisemmat. Kosteus, likaisuus ja pölyisyys vaikuttavat hitseihin hitsausvirheiden muodossa ja ahtaat tilat karsivat mahdollisia hitsausprosesseja. Yleisimmät kattiloiden asennuksilla käytettävät hitsausprosessit ovat puikkohitsaus, MAG-täytelankahitsaus ja TIG-hitsaus. Näistä MAG-täytelankahitsaus on vähiten käytetty ja usein korvataan puikkohitsauksella tai TIG-hitsauksella, koska MAG-täytelanka vaatima puhtaus ja kosteettomuus ovat haastavia saavuttaa. Väärissä olosuhteissa MAG-täytelanka hitsauksella hitseihin tulee helposti hitsausvirheitä, joista yleisimmät ovat huokosia. (Lahtinen 2018)

4.1 Puikkohitsauksen käyttö asennustyömaalla

Puikkohitsauksen etuna asennustyömaalla on hitsauskoneen liikuteltavuus, koska hitsauskone on pienikokoinen ja lisälaitteet ovat yksinkertaisia. Suojakaasun tuottaminen pulloista on tarpeetonta hitsin valmistamiseen, jolloin suuria suojakaasupulloja ei tarvita.

Puikkohitsauksessa käytetään määrämittäisiä puikkoja, jotka sisältävät kaksi kerrosta joista sisäkerros toimii lisääineena ja päällyste hitsin suojana. Hitsauksen aikana puikon sulaessa päällysteestä syntyy kaasua ja sulaa kuonaa, jotka kuljettavat sulan lisääineen hitsiin ilman, että happi pääsee vaikuttamaan hitsisulaan. Puikko tulisi valita hitsaustyöhön siten, että metallinen sydänlanka vastaisi hitsattavaa perusainetta. Päällysteen seosaineiden valinta vaikuttaa hitsausominaisuuksiin. (Esab 2018a; Lepola, Ylikangas 2016, s. 49)

Hitsauspuikkojen oikeanlainen säilytys vaikuttaa hitsin laatuun, sillä lisääineet ovat arkoja kosteudelle. Varastoidut puikot tulisi kuivata ennen käyttöä kuivausuunissa ja kuivauksen jälkeen säilyttää säilytyskaapissa. Säilytyskaapista otetut puikot pidetään puikkosäiliössä asennustyömaalla ja otetaan puikkosäiliöstä vasta käyttöhetkellä. Käyttämättömät puikot palautetaan puikkosäiliöstä säilytyskaappiin tai kuivausuuniin. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 50)

Asennustyömaalle hitsauskohteisiin on aina toimitettava WPS, jotta hitsausparametrit olisivat oikealla tasolla ja painelaitekorjauksendirektiivit täyttyisivät. Silti hitsaustyön suorittajan on hyvä tarkastella myös itse hitsausvirtaa hitsauksen aikana, koska oikea hitsausvirta vaikuttaa merkittävästi hitsin laatuun. Hitsausvirran sopivuus voidaan todeta hitsaamalla yhtämittaisesti 5cm pituinen matka ja samalla seurata puikon väriä:

- virta on oikea kun puikontuppi on tummanpunainen
- virtaa on liikaa kun puikontuppi kellertää
- virtaa on liian vähän kun puikko ei muuta väriä ollenkaan. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 54)

Puikkohitsauksen etu, verrattuna kaasukaarihitsausmenetelmiin, on mahdollisuus hitsata sisä- ja ulkotiloissa, koska ilmanvirtaus ei haittaa hitsausprosessia. Kaasukaarihitsausmenetelmissä ilmavirta voi kuljettaa suojakaasua pois hitsaustapahtumassa, jolloin hitsi voi hapettua. Puikkohitsauksessa suojakaasu ja kuona muodostuvat puikon päällysteestä johon ilmavirta ei vaikuta. Lisäksi puikkohitsauksessa hitsausprosessi tapahtuu puikon päässä ja hitsiä ei tarvitse suojata hitsaimen tai hitsauspistoolin päästä tulevalle suojakaasulle kuten TIG- tai MAG- täytelankahitsauksessa jolloin ulottuvuus on suurempi. (Esab 2018a; Lepola, Ylikangas 2016, s. 60, 78 ja 130)

Haittapuolena puikkohitsauksessa ovat lyhyet lisäaineet, jolloin hitsauksen aloituskohtia tulee paljon sekä hitsaustyön jälkeen kuona on poistettava. Kuona tulee poistaa huolellisesti hitsin päältä ja päästä, että voi jatkaa seuraavaa hitsiä. Hitsin jatkuva puhdistaminen hidastaa hitsaustyötä ja vähentää tuottavuutta. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 56)

4.2 TIG- hitsauksen käyttö asennustyömaalla

TIG- hitsauksen käyttö asennustyömaalla on yleistä, koska TIG- hitsausprosessi soveltuu kaikkien hitsattavien metallien hitsaukseen. TIG- hitsauslaitteiston siirrettävyys ei kuitenkaan ole samaa tasoa puikkohitsauslaitteiden kanssa, koska laitteiston koko on suurempi. TIG- hitsauksen etu puikkohitsaukseen on sulamaton elektrodi, joka antaa mahdollisuuden hitsata ilman lisäainetta, koska valokaari ja lisäaineen tuonti ovat erillään. Kun hitsausenergiaa ja lisäaineen syöttöä voidaan säätää toisistaan riippumatta, TIG- hitsaukselle ominaista on hyvä sulan ja tunkeuman hallinta. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 121)

Hitsausnopeus määräytyy hitsattavan perusaineen mukaan. Hitsauksen aikana perusaineen täytyy sulaa riittävästi, jotta hitsin muodosta tulee oikea. Liian suuri hitsausnopeus aiheuttaa liitosvirheitä ja liian hidas tarpeetonta kuumenemistä hitsausalueella. Sopiva hitsausnopeus on noin 100-300mm/min mikä on puikkohitsaukseen nähden hitaampaa, mutta TIG- hitsausta ei tarvitse keskeyttää lisäaineen vaihdossa. Työmaa-asennuksissa on rajallinen aikataulu, jolloin TIG- hitsauksen suurimpiin etuihin kuuluu puhdas hitsi. Hitsi ei vaadi hitsausten jälkeen erillisiä jälkikäsittelyjä kuten kuonanirrotusta tai hiontaa. (Esab 2018b; Lepola, Ylikangas 2016, s. 136)

TIG- hitsauksessa lisäaineen vaihto voidaan tehdä taukovirtatoiminnolla. Tällä toiminnolla hitsaaja voi kytkeä esisäädettyä hitsausvirtaa alemman hitsaustehon. Taukovirran aikana hitsausalue ei pääse jäähtymään keskeytyskohdasta, koska valokaari palaa koko ajan. Hitsaaja voi taukovirtatoiminnon aikana lisäksi muuttaa omaa asentoaan tai muuttaa otetta lisäainelangasta. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 124)

Käsin syötettävä TIG- hitsauslangat ovat määräpituaisia, suoria lisäainelankoja joiden pituus on 1000mm. Lisäainelankoja säilytetään kuivassa ja tasalämpöisessä paikassa valmistajan pakkauksissa. Hitsauskäyttöön pyritään ottamaan pieni erä kerrallaan, koska lisäainelankojen käsittelyssä on noudatettava erityistä puhtautta. Epäpuhtaudet langassa kuten öljy, ruoste tai maali aiheuttaa mahdollisia hitsausvirheitä. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 134)

Suojakaasuna TIG- hitsauksessa käytetään inerttiä kaasua, minkä tehtävä on suojata hitsiä hapettavalta ilmalta, sekä muodostaa ionisoitunut alue valokaarelle. Suojakaasun tulee virrata mahdollisimman tasaisesti ja häiriöttömästi, jotta voidaan tuottaa laadukasta hitsiä. Mikäli ilmavirta häiritsee suojakaasutusta hitsille ja ilman happi pääsee vaikuttamaan sulaan hitsiin, hitsi hapettuu ja hitsiin tulee huokosia. Asennustyömaalla ei aina pystytä vaikuttamaan ulkoisiin tekijöihin kuten ilmanvirtauksiin, joten ilmavirtauksien estämiseksi tarvitsee välillä rakentaa lisäsuojaa hitsattavan alueen ympärille. (Aga 2013a, s. 4; Lahtinen 2018; Lepola, Ylikangas 2016, s. 130)

5 MATERIAALIEN HITSATTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Sooda- ja voimakattiloissa materiaalien valinta poikkeaa hieman toisistaan johtuen kattilassa poltettavasta polttoaineesta sekä kattilan sisällä olevasta korrodoivista olosuhteista. Kattila on rakennettu eri teräslaaduista ja asennushitsauksessa on tärkeää tuntea hitsattava materiaali ja sen ominaisuudet hyvän hitsin aikaansaamiseksi. Tällöin on huomioitava hitsattavan perusmateriaalin ja hitsauksen lisäaineen kemialliset koostumukset sekä lämmöntuonti hitsauksen aikana. (Jörgenssen 2018, s. 5; Korinko, Malane 2001, s. 61-62; Lepola, Ylikangas 2016, 212)

5.1 Seosaineiden vaikutus teräkseen ja teräksen hitsattavuuteen

Terästä seostamalla seosaineilla voidaan vaikuttaa teräksen erityisominaisuuksin ja sopivilla seostuksilla saadaan käyttötarkoitukseen sopivaa materiaalia. Kun terästä seostetaan käyttötarkoitukseen, niin kaikki seosaineet eivät vaikuta hitsaamiseen positiivisesti, vaan voivat vaikeuttaa hitsausta oleellisesti (*Taulukko 1*). Kattiloissa käytettävät teräkset ovat yleisesti:

- Seostamattomat teräkset
- Niukkaseosteiset teräkset
- Ruostumattomat kompond-teräkset. (Jörgenssen 2018, s 5; Metallinjalostajat ry 2003, s. 7; Seppälä 2007, s. 14)

Taulukko 1. Yleiseen hitsaukseen vaikuttavat teräksen seosaineet. (Lepola, Ylikangas 2016, p. 212)

Seosaine	Lujuus	Sitkeys	Kuumalujuus/ Virumislujuus	Hitsattavuus
Hiili	+	-	+	-
Mangaani	+	-	+	+
Pii	+	+		+
Fosfori	+	-	+	-
Rikki	-	-	-	-
Molybdeeni	+	-	+	-
Kromi	+	-	+	-
Nikkeli	+	+	+	+
Alumiini	+	+		+
Vanadiini	+	+	+	+

5.1.1 Seostamattomat teräkset

Kattiloissa käytettävä teräslaatu, missä on ainoastaan hiiltä, mangaania ja piitä kutsutaan seostamattomaksi teräkseksi. Hiili on seostamattoman teräksen vaikuttavin alkuaine, mikä aiheuttaa teräksen karkenemista nopeissa jäähtyöksissä, kuten hitsauksen jälkeinen jäähtyys. Hiilen määrän kasvaessa teräksen seosaineena herkkyys karkenemiselle kasvaa myös. Karkeneminen johtuu kiderakenteen muutoksesta, joka muuttuu kovaksi martensiitti rakenteeksi. Martensiitin syntyy liittyy myös taipumus vetyhalkeiluun. Seostamaton teräs sisältää eri määriä epäpuhtauksia kuten rikkiä, fosforia sekä typpeä. Epäpuhtaudet vaikeuttavat hitsauksen suoritusta aiheuttamalla hitsausvirheitä. (Seppälä 2007, p. 14)

Hiilikvivalenttikaavalla (1) voidaan arvioida erilaisten seostamattomien terästen hitsattavuutta ennen hitsausta. Laskettu arvo kertoo, kuinka hyvin terästä voidaan hitsata ja

tarvitsee ennen hitsausta suorittaa toimenpiteitä estääkseen kylmähalkeilua. (Seppälä 2007, p. 14)

$$CE_{IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} (\%), \quad (1)$$

missä CE_{IIW} on hiiliekvivalentti, C on hiili, Mn on mangaani, Cr on kromi, Mo on molybdeeni, V on vanadiini, Ni on nikkeli ja Cu on Kupari. (Seppälä 2007, p. 14)

Kaavan tuloksesta voidaan tehdä karkea arvio hitsauksen toimenpiteille:

- alle 0,40 %, hyvä hitsattavuus
- 0,40 - 0,45 %, hyvä hitsattavuus niukkavetyksillä lisäaineilla
- yli 0,45 %, tarvitaan esilämmitys. (Seppälä 2007, p. 14)

Hiiliekvivalenttiarvon noustessa täytyy tehdä alustavia toimenpiteitä estääkseen hitsausvirheen mahdollisuutta. Yleisin hitsausvirhe on vetyhalkeilu mikä tarkoittaa kylmähalkeilua. Kylmähalkeilun taipumusta voidaan vähentää:

- Käyttämällä niukkahiilistä terästä sekä lisäainetta tai hitsataan austeniittisella lisäaineella.
- Jos lujuusvaatimukset sallivat, voidaan käyttää alilujaa pehmeää lisäainetta.
- Estämällä vedyn pääsyä sulaan, kun käytetään niukkavetyisiä ja kuivia emäksisiä lisäaineita sekä huolehtimalla ettei hitsausalueella ole kosteutta.
- Laskemalla jäähtymisnopeutta käyttämällä esilämmitystä tai suoritetaan vedynpoistohehkutus. (Seppälä 2007, p. 14)

Seostamattomille teräksille tarvitsee harvoin tehdä esilämmitystä, koska nykyaikaiset seostamattomat rakenneteräkset ovat niukkahiilisiä. Esilämmitystarve voidaan silti tarkastaa laskemalla hiiliekvivalentti. Mutta jos esilämmitys täytyy tehdä, on hyvä tietää perusmateriaalin koostumus vähentääkseen hitsausvirheen mahdollisuutta. (Seppälä 2007, p. 14-15)

5.1.2 Niukkaseosteiset teräkset

Kattiloissa käytettävät niukkaseosteiset teräslaadut ovat kuumalujia teräksiä, joilla on hyvät lujuusominaisuudet korkeissa käyttölämpötiloissa. Kuumalujan teräksen pääseosaineet ovat molybdeeni ja kromi, mitkä lisäävät käyttölämpötilan nostoa jopa 650 °C:een asti sekä parantavat korroosionkestävyyttä. Korroosionkestävyyttä tarvitaan, koska hapettuminen on hyvin voimakasta yli 550 °C:n lämpötiloissa. (Esab 2009, s. 4)

Hitsattavuuden kannalta kuumalujilla teräksillä on karkenemistaipumus, mihin liittyy kylmähalkeilu. Kuumalujia teräksiä voidaan hitsata perusainetta vastaavalla lisäaineella, mutta perusaineelle tarvitaan esilämmitys hitsinlaadun varmistamiseen. Esilämmitys voidaan laskea hiiliekvivalentin (2) mukaan ja verrata sitä Wintertonin esilämmityksen tarpeeseen (Taulukko 2). Mitä korkeampi hiiliekvivalentti sitä helpommin teräs karkenee. (Esab 2009, s. 6; Lepola, Ylikangas 2016, s. 218; Seppälä 2007, s. 15)

$$C_{ekv} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{10} + \frac{Ni}{20} + \frac{Mo}{50} + \frac{V}{10} + \frac{Cu}{40} (\%), \quad (2)$$

missä C_{ekv} on hiiliekvivalentti, C on hiili, Mn on mangaani, Cr on kromi, Ni on nikkeli, Mo on molybdeeni, V on vanadiini ja Cu on kupari. (Seppälä 2007, s. 15)

Taulukko 2. Wintertonin esilämmityksen tarve niukkaseosteisten terästen hitsattavuuteen. (Seppälä 2007, s. 15)

Hiiliekvivalentti [%]	Lisäainetyyppi/ Menetelmä	Esikuumennus [°C]
alle 0,40	ei merkitystä	ei
0,40-0,80	Rutiilipuikko Emäspuikko	100-200 ei
0,48-0,55	Rutiilipuikko Emäspuikko Austeniittinen MAG- hitsaus	200-350 100-200 ei ei
yli 0,55	Emäspuikko Austeniittinen MAG- hitsaus	200-350 ei ei

Ennen hitsausta hitsattava-alue tulee puhdistaa huolellisesti ja varmistaa, että alue on kuiva. Hitsaus tulee suorittaa suoralla kuljetuksella, mutta jos tarvitaan levityслиikettä, niin liikkeen tulee olla tasainen ja molemmilla puolilla pysähtelevä. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 218)

5.1.3 Ruostumattomat komppound-teräkset

Kattiloissa käytetään ruostumatonta komppound-terästä, mikä on seostamattoman teräksen ja ruostumattoman teräksen yhdistelmä. Komppound-teräs valmistetaan seostamattomasta teräksestä, jonka päälle valssataan 1200 °C:n lämpötilassa ruostumattomasta teräksestä 1,5 – 2mm paksu pinta. Komppound-teräksen hyöty on seostamattoman teräksen ominaisuudet hyvällä korroosion kestävyydellä. Pinnoitteena oleva ruostumaton teräs on austeniittinen, koska austeniittinen teräs on hyvin hitsattavissa. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 213-214 ja 231)

Austeniittisen teräksen pääseosaineet ovat kromi ja nikkeli. Seostamalla teräkseen yli 12 % kromia parantaa korroosionkestoa ja nikkelin lisäyksellä teräs saadaan pysymään austeniittisena. Kun terästä seostetaan suurilla määrillä kromia ja nikkeliä teräksestä tulee tulenkestävä ja vastaavasti molybdeeni lisää teräksen syöpymiskestävyyttä. Austeniittinen teräs on helpoin hitsattava materiaali ruostumattomien terästen ryhmästä ja teräksen ominaisuuksiin kuuluu, ettei se ole magneettinen. Lisäksi austeniittinen teräs on karkenematon. (Korinko, Malane 2001, s. 61-62; Lepola, Ylikangas 2016, p. 213; Metallinjalostajat ry 2003, s. 6)

Kromi reagoi ilman hapen kanssa luoden suojaavan oksidikalvon teräksen pinnalle, mitä kutsutaan passivoinniksi. Oksidikalvon vahingoittuessa pinta korjautuu itsestään hapettavissa olosuhteissa. Syitä pinnan vahingoittumiselle voi aiheutua hitsauskaaren sytytyksestä, roiskeista tai hiontanaarmuista. On hyvin tärkeää, että happi pääsee kosketuksiin pinnan kanssa, koska ilman teräksen ja hapen yhdistymistä oksidikalvoa ei muodostu ja korroosionkestoa ei synny. Joten on tärkeää työskennellä huolellisesti, kun käsitellään tai hitsataan ruostumatonta terästä. (Korinko, Malane 2001, s. 61-62; Lepola, Ylikangas 2016, p. 213)

Ruostumatonta komppound-terästä hitsataan materiaalien mukaan. Seostamaton teräs hitsataan perusmateriaalia vastaavalla lisäaineella, mikä päällystetään yliseostetulla lisäaineella. Ruostumaton teräs hitsataan vastaavalla lisäaineella, jolloin hitsauksessa on otettava huomioon samat tekijät, kuin ruostumattoman teräksen hitsauksessa. (Korinko, Malane 2001, s. 61-62; Lepola, Ylikangas 2016, p. 232)

Kuumahalkeamat ovat riski, kun hitsataan austeniittista terästä. Halkeilun riskiä voidaan vähentää valitsemalla hitsauksenlisäaine, että lopullinen hitsi sisältää 5 % ferriittiä. Piin vaikutusta kuumahalkeiluriskeihin voidaan vähentää, kun hitsi sisältämä piin määrä on $\sqrt{\text{pii}} \% < 0,22 \%$. Lisäksi lisäaine joka sisältää noin 6 % mangaania vähentää kuumahalkeilun riskiä. (Avery, Parson 1995, s. 47; Korinko, Malane 2001, s. 61-62; Seppälä 2007, p. 33)

Lämpötilan ollessa 450 - 900 °C:ta austeniittisessa teräksessä, kromi ja hiili saavuttavat sellaisen liikkuvuuden teräksen rakenteessa, että ne voivat muodostaa kromikarbideja. Kromikarbidit vaikuttavat raerajoilla, jolloin raerajan ympärille voi muodostua kromiköyhiä alueita. Nämä alueet menettävät korroosion vastustuskyvyn, mikä on niin kutsuttua raerajakorroosio ja tämä tuhoaa austeniittisen rakenteen hyvin nopeasti. (Korinko, Malane 2001, s. 61-62; Lepola, Ylikangas 2016, p. 215; Seppälä 2007, p. 33)

Raerajakorroosion estämiseksi on mahdollista tehdä kolme toimenpidettä:

- vähentämällä vapaanhiilen määrää perusmateriaalissa ja lisäaineessa.
- käyttämällä materiaalia, mikä on seostettu vahvasti kromilla, ettei kromin vähentyminen raerajoilla aiheuta ruostumattomuuden menetyksiä.
- käyttämällä jälkihehkutusta ja vesisammutusta, jolloin kromikarbidit liukenevat takaisin matriisiin. (Seppälä 2007, p. 33)

5.2 Lämmöntuonti hitsauksen aikana

Hyvään hitsin lopputulokseen vaaditaan, että hitsauksen lämmöntuonti on mitoitettu oikein, koska hitsauksen aikana materiaalin mikrorakenne muuttuu. Tärkeintä olisi yrittää säilyttää alkuperäiset teräksen mekaaniset ja kemialliset ominaisuudet sekä muuttaa niitä vain niin vähän kuin mahdollista. Lämmöntuonnilla tarkoitetaan valokaaresta hitsiin

siirtynyttä lämpö määrää hitsinpituudelle. Lämmöntonin määrään vaikuttavia tekijöitä ovat hitsausteho, hitsausnopeus ja hitsausprosessi. Materiaalin valmistajat antavat usein lämmöntonin suosituksia eri materiaaleille, jolloin kaavan avulla voi määrittää hitsausarvoja. Parametrit voidaan laskea kaavasta, kun tiedetään hitsausprosessi (*Taulukko 3*). (Lepola, Ylikangas, 2016, p. 212; Mascalo et al 2016; Packard 2012)

$$Q = k \times \frac{U \times I \times 60}{v \times 1000}, \quad (3)$$

missä Q on lämmönton (kJ/mm), k on terminen hyötysuhde, U on kaaren jännite (V), I on hitsausvirta (A) ja v on hitsausnopeus (mm/min).

Taulukko 3. Terminen hyötysuhde eri hitsausprosesseille. (Lepola, Ylikangas 2016, p. 212)

Hitsausprosessi	k
Jauhekaarihitsaus	1
Puikkohitsaus	0,8
MIG/ MAG- hitsaus	0,8
MIG/ MAG- täytelankahitsaus	0,8
TIG- hitsaus	0,6
Plasma hitsaus	0,6

Hitsauksessa on tärkeää keskittyä lämmöntonin, mutta on myös tärkeää kontrolloida jäähtymisnopeutta. Kontrollioimaton jäähtyminen aiheuttaa monia ongelmia hitsiin ja perusmateriaaliin, koska hitsaus muuttaa perusmateriaalin mikrorakennetta. Nopea jäähtyminen tapahtuu, kun hitsausalue on paljon kuumempi kuin ympäröivä perusmateriaali. Lämpö alkaa siirtyä hitsatulta alueelta, kun hitsi on valmis ja hitsi jäähtyy liian nopeasti. (Packard 2012)

Nopea jäähtyminen aiheuttaa muodonmuutoksia, materiaali karkenee, ja laskee muokattavuutta. Hitsin ja perusmateriaalin välille syntyy sisäisiä jännityksiä, mitkä vaikuttavat hitsattavan alueen mekaanisiin ominaisuuksiin haitallisesti ja voi johtaa kylmähälkeeseen. Samantyylinen jännitys voi aiheutua, kun hitsauksen jälkeen hitsatut materiaalit alkavat jäähtyä ja vetäytyvät pois hitsauskohdasta. (Mascalo et al 2016; Packard 2012)

Lisäksi, HAZ alueelle voi ilmestyä kylmähalkeamia eli vetyhalkeamia. Vetyhalkeama aiheutuu hitsisulaan joutuneesta vedystä sekä martensiitin muodostuksesta. Vetyhalkeamia voidaan estää käyttämällä esilämmitystä, jolloin lämpötilaero on pienempi ja lämmönsiirtyminen hitsistä on vähäisempää. (Mascalò et al 2016; Packard 2012)

Ohuen materiaalin liian suuri lämmöntuonti paikallisesti voi johtaa muodonmuutoksiin hitsauksen jälkeen, kun materiaali alkaa jäähtyä. Ongelma voidaan poistaa kiinnittämällä hitsattava materiaali alustaan tai esitaivuttaa osaa vastakkaiseen suuntaan ennen hitsausta. Lisäksi pitämällä hitsausajan lyhyenä, niin ylimääräinen lämpö ei ehdi siirtyä hitsattavaan materiaaliin. (Packard 2012)

6 HITSUKSEN LAADUNHALLINTA

Hitsauksen laadunhallinta ja hitsausprosessien tunteminen asennustyössä on tärkeää hitsausvirheiden välttämiseksi. Täydellistä hitsin laadunvarmistusta hitsaustyöstä ei ole mahdollista suorittaa rikkomatta hitsattua rakennetta. Laadunvarmistamisen takia hitsausprosessin tulee olla hallittua jo suunnittelusta lähtien. Hitsauksen laadunvarmistuksessa voidaan käyttää apuna hitsausstandardeja, hitsausohjeita sekä hitsaajien pätevyyskokeita. (Kiwa Inspecta 2018)

6.1 Terästen kaarihitsaus ja hitsausvirheisiin perustuvat hitsiluokat

Terästen kaarihitsauksessa laadullisten vaatimusten yhdenmukaistamiseksi hitsit on luokiteltu standardissa SFS-EN ISO 5817. Standardissa sovelletaan seostamattomille ja seostetuille teräksille, nikkeli ja nikkelioksille, titaani ja titaanioksille sekä seuraaville sulahitsausprosesseille:

- metallikaari ilman suojakaasua
- jauhekaarihitsaus
- metallikaasukaarihitsaus
- kaasukaarihitsaus sulamattomalla elektrodilla
- plasmakaarihitsaus

- kaasuhitsaus (vain teräksille). (Lepola, Ylikangas 2016, s. 235)

6.2 Hitsausohjeet

Hitsaustyöohjeisiin kuuluu alustava hitsausohje (pWPS) ja varsinainen hitsausohje (WPS), joita tarvitaan suunnittelun perustaksi, hitsaustyönaikana ja laadunvalvontaan. Hitsausohjeiden hyväksyntää varten laaditaan ensin alustava hitsausohje, joka voidaan hyväksyä varsinaiseksi hitsausohjeeksi jollakin seuraavista dokumentaatiotavoista:

- testatut hitsausaineet SFS-EN ISO 15610
- aikaisempi hitsauskokemus SFS-EN ISO 15611
- standardimenetelmä SFS-EN ISO 15612
- esituotannollinen koe SFS-EN ISO 15613
- menetelmäkokeet SFS-EN ISO 15614- 1/8. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 239-240)

Kun menetelmäkoe on suoritettu tietyistä työstä, on varmistettava, minkä standardin mukaisesti on toimittu. Edellä mainitusta standardikokeista vain SFS-EN ISO 15614 mukainen menetelmäkoe on kattava. Menetelmäkokeesta laaditaan aina hyväksyttämispöytäkirja (WPQR), mikä sisältää tiedon käytössä olleesta menettelytavasta. Tämän tiedon perusteella voidaan määritellä ovatko suoritukset riittäviä kattamaan vaatimukset. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 240)

6.3 Hitsaajan pätevyyskokeet

Hitsaustyö on vaativa prosessi ja työn laatu riippuu paljon hitsaajan ammattitaidosta ja hitsaajan pätevyyskokeella voidaan selvittää hitsaajan osaaminen tiettyyn hitsaustyöhön. Pätevyyskoetta hitsaajan pätevoittämisen lisäksi voidaan myös käyttää hitsausmenetelmien hyväksymiseen edellyttäen, että kaikki asianmukaiset vaatimukset täyttyvät. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 240)

Pätevyysalueen määräytymisen yleissääntönä voidaan sanoa, että koehitsaus ei anna pelkästään koeolosuhteita vastaavaa pätevyyttä. Se antaa myös pätevyyden hitsata kaikkia helpompia hitsauksia edellyttäen, että hitsaajalla on harjoitusta ja teollisuuskokemusta pätevyysalueelta. Pätevyysalue määritellään kokeessa sovellettavan standardin SFS-EN ISO 9606-1 mukaisesti. Hitsaajan pätevyyskokeessa testattavat asiat näkyvät aina voimassa

olevissa standardeissa, jolloin onkin seurattava, mikä standardi on hitsaushetkellä käytössä. (Lepola, Ylikangas 2016, s. 240)

7 TUTKIMUSOSUUS

Työn tutkimusosuudessa tarkastellaan ikkunapalan tiivistyshitsausta ja tulistimen sidehitsausta. Hitsauskokeissa muutettiin hitsiin vaikuttavia tekijöitä sekä hitsejä tutkittiin NDT ja DT menetelmillä. Tutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa muuttujien pohjalta, mitkä muutokset johtivat hitsausvirheisiin ja minkälaisiin hitsausvirheisiin. Kokeiden suunnittelussa hyödynnettiin voimassaolevia asennushitsauskäsitysohjeita, joita käytettiin muunnellusti hitsaustyön suorituksissa. Kaikki hitsauskokeet tehtiin erillisinä kokeina ja niillä ei ollut vaikutusta toisiinsa.

Tutkimuksen hitsauskoe suoritettiin Valmetin koehitsaamossa Lapualla. Hitsauskokeet suoritettiin yhdellä hitsaajalla, jottei käsinhitsauksesta aiheutuva hitsausjälki muuttuisi kokeiden välissä ja kokeet olisivat keskenään helpommin vertailtavissa. Koejärjestelyissä pyrittiin saamaan olosuhteet mahdollisimman lähelle asennustyömaan olosuhteita. Lisäksi koekappaleet olivat oikeissa kattiloissa käytettäviä materiaaleja.

7.1 Ikkunapalan tiivistyshitsaus

Ikkunapalan tiivistyshitsauksessa keskityttiin muutamaasi eri hitsausprosessin muuttujiin, kuten:

- hitsauslisäaineisiin
- hitsausparametreihin
- korvaavaan hitsausprosessiin
- hitsausasentoon
- ilmapinnan aiheuttama suojakaasun siirtyminen hitsin pinnalta hitsauksen aikana.

Hitsaustyössä tarkasteltiin lisäaineen vaikutusta hitseihin vertailemalla kahta eri lisäainetta. Tarkastuksessa keskitytään silmämääräiseen hitsien hitsausvirheiden tarkastukseen sekä vertailtiin keskenään lisäaineiden eroavaisuuksia hitsauksen aikana.

Vaihtamalla hitsausvirtaa tutkittiin lämmöntuonnin vaikutuksia hitseihin. Lämmöntuontiin vaikuttavia tekijöitä oli hitsausvirran suhde hitsausnopeuteen. Hitsausnopeus oli riippuvainen perusaineen sulamisesta hyvän liitoksen aikaan saamiseksi.

Osa hitsauskokeista hitsattiin TIG- hitsauksella ja tarkoitus oli tutkia voiko TIG- hitsauksen korvata puikkohitsauksella. Tutkimuksen syy on puikkohitsauksen nopeus TIG- hitsaukseen nähden, mutta ongelmaksi voi syntyä tunkeuman hallittavuus puikkohitsauksessa verrattuna TIG- hitsaukseen.

Pystyhitsaus alaspäin on vaikea hallita etenkin käyttämällä puikkohitsausta ja osa puikkojen valmistajista jopa suosittelee, että vältetään hitsausta alaspäin. Sulan hallinta alaspäin hitsauksessa on haasteellista kuonan takia, jolloin hitsausnopeus nousee ja hitsauskuvun muoto muuttuu kuperasta koveraksi, mikä heikentää hitsin lujuutta. Tutkimuksessa arvioitiin, kuinka paljon pystyhitsaus alaspäin lisäsi hitsien hitsausvirheitä.

Koska voima- ja soodakattilat ovat korkeita rakennuksia, niin kattilassa on usein vetoa. Vedon aiheuttama ilmavirran liike häiritsee merkittävästi suojakaasun toimintaa TIG- hitsauksen aikana, kun suojakaasu liikkuu pois hitsin päältä eikä suojaa hitsiä hapettumiselta. Hitsauskokeessa tutkittiin, miten ilmavirran liike vaikutti suojakaasun toimintaan hitsauksen aikana.

Lopuksi tutkittiin TIG- hitsauksen tunkeumaa, kun hitsattiin kompond-terästä pienahitsillä. Tarkoitus oli tutkia hitsauksen lämmöntuonnin vaikutusta hitsin tunkeumaan, joka tarkastettiin metallografisella tutkimuksella.

7.1.1 Materiaalit

Membraaniseinämän höyrystinputkeksi valittiin Sandvik Sanicro 38 ruostumaton kompond-teräs. Ruostumaton kompond-teräs sisältää kaksi kerrosta, jotka ovat eri materiaaleista (Kuva 15).



Kuva 15. Sanicro 38 putki, missä on havaittavissa seostamaton teräs sisällä ja seostettu teräspinnoite.

Pinnoitemateriaali on seostettua 825 austeniittista ruostumatonta terästä, millä on korkea korroosionkesto. Teräs on vahvasti seostettu kromilla ja nikkellillä, mikä voidaan todeta kemiallisesta koostumuksesta (*Taulukko 4*). Sisäkerroksen materiaali on seostamatonta P265GH terästä, mitä käytetään paineestioissa noin 300 °C lämpötiloissa (*Taulukko 5*). Yhdistämällä nämä kaksi materiaalia yhteen saadaan putki, jolla on hyvät mekaaniset korroosionkesto ominaisuudet. Yleisesti Sanicro 38 käytetään moderneissa soodakattiloissa tulipesän pohjassa sekä kattilaseinien alaosassa. (Knowenergy 2018; Sandvik 2018a; Oakley Steel 2018)

Taulukko 4. Sandvik Sanicro 38 pinnoitteen kemiallinen koostumus (%). (Sandvik 2018a)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
max 0,03	max 0,50	0,8	20	38,5	2,6	1,7	0,8

Taulukko 5. Sandvik Sanicro 38 sisäkerroksen kemiallinen koostumus (%). (Sandvik 2018a)

C	Si	Mn	P	S
max 0,18	max 0,3	0,7	max 0,03	Max 0,03

Eväksi valittiin samaa materiaalia, mitä Compound-teräksen pinnoite on, eli seostettua 825 austeniittista ruostumatonta terästä. Hitsaussuorituksen kannalta on hyvä käyttää samaa materiaalia höyrystinputkessa ja evässä, koska hitsin kemialliset ominaisuudet saadaan näin paremmaksi. Kun membraaniseinän pinta on valmistettu seostetusta 825

austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä, saadaan hyvä korroosionkesto koko seinälle sulaa, palavaa mustalipeää ja syövyttäviä kaasuja vastaan soodakattilassa. (Sandvik 2018a)

Kompound-teräksen sisemmän kerroksen hiilielivalentti saadaan kaavasta (1) ja hiilielivalentin tulos on 0,3 %, jolloin hitsattavuus on hyvä eikä tarvitse lisätoimenpiteitä. Sandvik on ilmoittanut Sanicro 38 maksimilämmöntuonniksi 1 kJ/mm. Käyttämällä laskukaavaa (3) arvoilla (*Taulukko 6*) saadaan lämmöntuonniksi 0,26 kJ/mm ja hitsausparametreja hienosäätämällä ei päästä ylittämään 1 kJ/mm.

Taulukko 6. Hitsausparametrit lämmöntuonnin laskentaan.

U (V)	I (A)	v (mm/min)	k
25	65	300	0,8

7.1.2 Hitsausvälineistö

Hitsauskoe suoritettiin teollisuuskäyttöön suunnitellulla Kempin valmistamalla MasterTig 4000 hitsausvirtalähteellä. Hitsauskoneella hitsattiin TIG- hitsauksen lisäksi myös puikkohitsaukset. hitsaustyöt suoritettiin molemmilla hitsausprosesseilla tasavirralla. Muutokset hitsausprosessien välillä oli hitsaimen vaihto puikonpidikkeeseen, suojakaasun käyttö vain TIG hitsauksessa ja napaisuuden vaihto. TIG- hitsauksessa negatiivinen napa oli hitsaimessa ja puikkohitsauksessa hitsauspöydässä. Suojakaasuna käytettiin Aga:n valmistamaa inerttiä Mison suojakaasua, mikä sisälsi 99,98 % argonia ja 0,02 % typpioksidia.

7.1.3 Lisäaineet

Puikkohitsauskokeet suoritettiin kahden valmistajan lisäaineilla, joiden kemiallinen koostumus vastasi toisiaan. Tarkoitus oli tutkia, onko lisäaineiden hitsattavuudessa eroja. Hitsauslisäaineiksi valittiin:

- Sandvik 27.31.4.LCuR (*Taulukko 7*)
- Lincoln Electric NiCro 31/27 (*Taulukko 8*). (Lincoln Electric 2018; Sandvik 2018b)

Taulukko 7. Sandvik 27.31.4.LCuR kemiallinen koostumus(%). (Sandvik 2018b)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
max 0,025	0,8	1	27	31	3,5	1,5

Taulukko 8. Lincoln Electric NiCro 31/27 kemiallinen koostumus(%). (Lincoln Electric 2018)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe
0,02	0,9	0,8	27,1	31	3,5	0,9	bal

Hitsauskokeessa hitsattiin myös TIG- hitsauksella. Lisäaineeksi valittiin ainoastaan Sandvik 27.31.4.LCuR ja lisäaineen kemiallinen koostumus on täysin sama kuin vastaavalla Sandvikin puikolla.

7.1.4 Hitsauskokeet

Ikkunapalan tiivistyskokeessa hitsattiin 12 eri hitsauskoetta, joissa muunneltiin hitsausparametreja, lisäainetta, hitsausprosessia sekä hitsausasentoa (Taulukko 9). Hitsauskokeissa pidettiin päämuuttujana hitsausvirtaa. Hitsausvirran alin arvo oli 50 ampeeria ja ylin 80 ampeeria ja virran säädöt tehtiin 5 ampeerin välein.

Taulukko 9. Ikkunapala tiivistyshitsauksen hitsauskokeen muuttujat.

Hitsauskoe	Virta (A) Puikkohitsaus	Puikonlisäaine*	Virta (A) TIG- hitsaus	TIG- lisäaine	Pystyhitsausasento puikkohitsauksessa
1	65	Sandvik	-	-	Ylöspäin
2	55	Sandvik	120	Sandvik	Ylöspäin
3	70	Sandvik	120	Sandvik	Ylöspäin
4	60	Sandvik	120	Sandvik	Ylöspäin
5	50	Lincoln Electric	120	Sandvik	Ylöspäin
6	60	Lincoln Electric	120	Sandvik	Ylöspäin
7	70	Lincoln Electric	120	Sandvik	Ylöspäin
8	80	Lincoln Electric	120	Sandvik	Alaspäin
9	60	Sandvik	120	Sandvik	Ylöspäin
10	80	Sandvik	120	Sandvik	Alaspäin
11	70	Sandvik	120	Sandvik	Alaspäin
12	70	Lincoln Electric	120	Sandvik	Alaspäin

*Lisäaineiden tarkemmat tiedot liitteinä.

TIG- hitsauksen tunkeumakokeessa hitsattiin neljä eri hitsauskoetta, jossa muunneltiin hitsausparametreja. Tunkeuman syvyyttä säädeltiin hitsausvirralla, joka aloitettiin 120 ampeerista ja nostot tapahtuivat 30 ampeerin välein aina 180 ampeerin asti (Taulukko 10).

Taulukko 10. TIG- hitsauksen tunkeumakokeen muuttujat.

Hitsauskoe	Virta (A) TIG-hitsauksessa	TIG- lisäaine	Pystyhitsausasento
1	120	Sandvik	Ylöspäin
2	150	Sandvik	Ylöspäin
3	180	Sandvik	Ylöspäin
4	180	Sandvik	Alaspäin

7.1.5 Koekappaleet

Testikappale valmistettiin Sanicro 38 putkesta ja evä seostetusta 825 teräs materiaalista. Putki ja evä hitsattiin puikkohitsauksella membraaniseinäksi missä oli 12 aukkoa, joita tutkimuskokeessa hitsattiin (Kuva 16). Testikappaleen valmistuksessa käytettiin kohdeyrityksen nykyisiä asennushitsauskäsityöohjeita sekä hitsauskäsityöohjeita. Näin testikappale vastasi mahdollisimman paljon oikeata asennushitsausta.



Kuva 16. Hitsattu membraaniseinä Sanicro 38 putkesta ja seostetusta 825 evämateriaalista, mikä sisälsi 12 testiaukkoa, joita hitsattiin hitsauskokeissa.

Ikkunapalan tiivistyshitsauskokeessa suoritettiin lisäksi TIG- hitsauksen tunkeumakoe ja tunkeumantarkastelu Sanicro 38 pinnoitteeseen. Kokeessa hitsattiin seostettu 825 teräs Sanicro 38 sivuun pienahitseillä (Kuva 18). Koska kyseiselle työlle ei ollut omaa työohjeistusta, niin hitsaus suoritettiin evän päittäisliitoksen työohjeella.



Kuva 18 TIG- hitsauksen tunkeumakokeen testikappale.

7.1.6 Hyväksymisen kriteerit

Hitsauskokeissa tarkasteltiin hitsien laatua niin silmämääräisellä tarkastelulla kuin tunkeumanestetarkastelulla. Silmämääräisessä tarkastuksessa keskityttiin hitsin ulkonäköön liittyviin virheisiin kuten kylmä- ja kuumahalkeamiin, roiskeisiin, sytytysjälkiin, hitsin kupu- ja kupuvirheisiin ja lopetuskraattereihin.

Membraaniseinän vaatimuksiin kuuluu myös, että seinämä on kaasutiivis, jolloin tunkeumanestetarkastelussa tarkastuksen pääpaino oli hitsauksen tiiviydessä. Tarkastuksessa tulipesänpuoleinen seinä värjäyttiin hitsien kohdalta tunkeumanesteellä ja toinen puoli valkoisella kehitteellä. Niissä kohdissa, mitkä oli hitsattu virheellisesti, alkoi kehite värjäytyä punaiseksi.

TIG- hitsauksen tunkeumakokeista valmistettiin näytteet, joiden tarkastelussa keskityttiin makrokuvassa nähtävään tunkeuman syvyyteen. Tunkeuman syvyys ei saanut ylittää komppound-teräksen pinnoitteen paksuutta, etteivät seostamaton ja seostettu teräs sekoitu, jolloin korroosionkesto heikkenisi. Lisäksi HAZ:in vaikutus ei myöskään saisi ulottua seostamattoman teräksen puolelle, jotta teräksen mikrorakenne ei muuttuisi ei toivotuksi.

7.2 Tulistimen sidehitsaus

Tulistimen sidehitsauksessa tutkittiin kuuden kokeen avulla, kuinka hitsausvirta vaikuttaa hitsiin. Lisäksi tutkittiin esilämmityksen tärkeyttä hitsiin, miten vedellä täytetty putki vaikuttaa lämmönjohtumiseen pois hitsistä sekä perusaineesta. Lopuksi valituille siteille suoritettiin vasarointi, jolla testattiin hitsien kestävyys. Tässä kokeessa tutkittiin miten

hitsausvirtaa ja hitsausnopeutta vaihtamalla lämmöntuonti vaikuttaa hitseihin. Hitsaukset pyrittiin toteuttamaan samoilla hitsausnopeuksilla, jotta virran suuruus olisi ainoa muuttuja lämmöntuonnin kannalta. Jokaisessa kokeessa se ei kuitenkaan ollut mahdollista. Esilämmitystä käytettiin hitsausohjeiden mukaisesti ja esilämmitettyjä sekä esilämmittämättömiä hitsejä verrattiin keskenään.

Työmaalla tapahtuvissa tulistimien korjaushitsauksissa tulistinputket ovat usein täynnä vettä, minkä seurauksena hitsattavan alueen lämmönhallinta on vaikeaa. Lämpö saattaa johtua hitsausalueelta veteen ja hitsausalue pysyy hitsin kannalta liian kylmänä ja hitsiin syntyy liitosvirheitä kuten kylmähalkeamia. Kokeissa tutkittiin hitsauksen hallittavuutta vedellä täytetyllä putkella, missä arvioitiin hitsin onnistumista ja lämmönjohtumista pois hitsistä sekä perusaineesta.

Lopuksi tutkittiin hitsien pysyvyyttä ja testattiin, onko hitseihin jäänyt jännitys, jotka voisivat iskumaisen kuormituksen voimasta halkeilla. Hitsien jäähtyttyä muutamia tulistimien siteitä vasaroitiin, jonka jälkeen hitsit tutkittiin silmämääräisellä tarkastelulla.

7.2.1 Materiaalit

Tulistimen sidehitsaukseen putken materiaaliksi valittiin 10CrMo9-10 kuumaluja teräs (*Taulukko 11*). 10CrMo9-10 kuumaluja teräs on hyvin yleisesti käytetty materiaali tulistimissa ja lämmönvaihtimissa. 10CrMo9-10 kuumaluja teräksen etuja on lujuusominaisuudet korkeissa lämmöissä jopa 500 °C:n yläpuolella. Seostamalla kromia ja molybdeenia teräs saa hyvät kuumalujuusominaisuudet, mutta seostus tekee hitsauksen haasteelliseksi, joten hyvän hitsin aikaansaamiseksi täytyy ymmärtää hitsausprosessin, lisäaineen ja esilämmityksen merkitys. (Esab 2009)

Taulukko 11. 10CrMo9-10 kuumaluja teräksen kemiallinen koostumus (%). (European steel and alloys 2018)

C	Si	Mn	Cr	Mo
0,08-0,14	max 0,5	0,4-0,8	2,0-2,5	0,9-1,1

Hitsauskokeissa käytettävä tulistimen side on valmistettu Thermal 310S/4548 ruostumattomasta teräksestä, joka on seostettu kromilla sekä nikkelillä (*Taulukko 12*). Lisäksi 310 teräs on lämmönkestävä, joka omaa hyvän hapettumisen- ja korroosionkeston. 310 teräksen suunnittelulämpötila on lähellä 550 °C ja materiaalin ominaisuuksiin kuuluu hyvä virumiskestävyys. (Outokumpu 2018)

Taulukko 12. 310 kuunalujan ruostumattoman teräksen kemiallinen koostumus (%). (Outokumpu 2018)

C	Mn	Cr	Ni	N
max 0,1	max 2	24-26	19-22	Max 0,11

Käyttämällä Wintertonin hiiliekvivalenttikaavaa (2) saadaan hiiliekvivalentin tulokseksi 0,55 %. Taulukon mukaan käyttämällä rutiilipuikkoa esilämmityksen tarve on 200-300 °C. Käyttämällä emäspuikkoa esilämmityksen tarve on 100-200 °C.

7.2.2 Hitsausvälineistö

Hitsauskoe suoritettiin samalla teollisuuskäyttöön suunnitellulla Kempin valmistamalla MasterTig 4000 hitsausvirtalähteellä kuin ikkunapalan tiivistyskoe. Hitsauksessa käytettiin ainoastaan puikkohitsausta, mikä suoritettiin tasavirralla. Napaisuus hitsaustyöhön valittiin siten, että negatiivinen napa oli kiinnitetty pöytään.

7.2.3 Lisäaine

Hitsaustyö suoritettiin puikkohitsauksella. Lisäaineena käytettiin Elga:n valmistamaa hitsauspuikkoa (*Taulukko 13*).

Taulukko 13. Elga Cromarod 309 MoL (rutiilipohjainen) lisäaineen kemiallinen koostumus (%). (Elga 2018)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0,02	0,8	0,8	0,02	0,02	22,8	12,8	2,4

7.2.4 Hitsauskokeet

Tulistimen sidehitsauksessa hitsattiin kuusi eri hitsauskoetta, joissa muunneltiin hitsausparametreja, esilämmitystä, vesitäyttöä sekä vasarointia (*Taulukko 14*). Hitsauksen päämuuttujana pidettiin hitsausvirtaa. Hitsausvirran vaihteluväli oli 60 ampeerista 80 ampeerin ja virtaa säädettiin 5 ampeerin tarkkuudella sekä kaikki kokeet suoritettiin pystyhitsauksena ylöspäin.

Esilämmitys suoritettiin kaasupolttimella ja esilämmityksen lämpötila perustui hitsaustyönsuorittajan kokemukseen perustuvaan arvioon. Vesitäytössä koekappaleet täytettiin vedellä, jonka lämpötila oli noin 10 °C ja vettä mahtui putkiin noin 1,2 litraa per putki. Kokeiden lopussa veden lämpötila mitattiin uudelleen. Vasaroinnissa tulistimen siteisiin lyötiin siteen päälle kohtisuorassa ylhäältä sekä siteen sivulle.

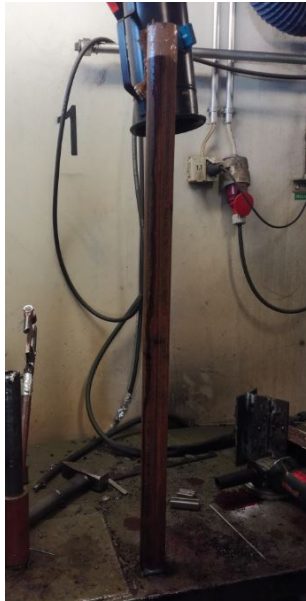
Taulukko 14. Tulistimen sidehitsauksen muuttujat.

Hitsauskoe	Virta (A) puikkohitsaus	Lisäaine	Pystyhitsaus- asento	Esilämmitys	Vesitäyttö	Vasarointi
1	70	Elga	Ylöspäin	Kyllä	Ei	Kyllä
2	75	Elga	Ylöspäin	Kyllä	Kyllä	Ei
3	80	Elga	Ylöspäin	Ei	Kyllä	Kyllä
4	70	Elga	Ylöspäin	Ei	Kyllä	Kyllä
5	65	Elga	Ylöspäin	Ei	Kyllä	Ei
6	60	Elga	Ylöspäin	Ei	Kyllä	Ei

*Lisäaineen tarkemmat tiedot liitteenä.

7.2.5 Koekappaleet

Koekappaleina toimivat kaksi n. yhden metrin mittaista 10CrMo9-10 materiaalista valmistettua putkea (Kuva 19). Testikappaleiden pohjiin oli hitsattu levyt kiinni, jotta testikappaleet pysyisivät pystyssä ja vesi ei vuotaisi putkesta ulos hitsauskokeiden aikana. Kokeeseen oli toimitettu kolme paria Therma 310S/4845 ruostumattomasta teräksestä valmistettuja siteitä.



Kuva 19. Tulistimen sidehitsauksen 10CrMo9-10 valmistettu testikappale.

7.2.6 Hyväksymisen kriteerit

Hitsauksen jälkeen hitseille suoritettiin silmämääräinen tarkastus. Silmämääräisessä tarkastuksessa tarkastettiin näkyviä säröjä ja halkeamia, roiskeita, sytytysjälkiä, hitsin kupuvirheitä ja lopetuskraattereihin. Asennushitsauksessa suurin hitsausvirheen mahdollisuus on kuitenkin hitsin lopetuksissa syntyvä kraatteri, joten tarkastuksissa oli tärkeää keskittyä niihin. Silmämääräisen tarkastuksen lisäksi on mahdollista käyttää myös tunkeumanestetarkastelua.

Tulistimet joutuvat kattiloissa suurien voimien koetukselle savukaasuvirrassa. Satunnaisesti tulistimet savukaasut heilauttavat tulistimia, jolloin siteisiin saattaa tulla iskumaisia kuormia. Vasaroinnilla aiheutettiin iskumaisia kuormituksia, jonka jälkeen tulistimien siteiden hitseistä ei saanut löytyä säröjä eivätkä siteet saaneet irrota tulistinputkesta.

8 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Hitsauskokeiden suorituksessa samojen olosuhteiden luominen hitsauslaboratorion ja asennustyömaan välille on hyvin haastavaa. Asennustyömaan ilmaston sisältämät

epäpuhtaudet, kosteus, lämmönjohtavuus, rakenteiden jännitykset sekä kattilahuoneen veto puuttuvat hitsauslaboratoriosta. Nämä tekijät vaikuttavat suuresti hitsin lopputulokseen. Vaikka ikkunapalan tiivistyshitsauskokeissa sekä tulistimen sidehitsauskokeissa asennustyömailla syntyviä hitsausvirheitä ei saatu toistettua, hitsauskokeiden tuloksista voidaan päätellä hitsausvirheisiin johtavia syitä.

8.1 Ikkunapalan tiivistyshitsauskoe

Koesarja sisälsi yhteensä 12 kappaletta ikkunapalan tiivistyshitsauksia sekä neljä kappaletta TIG- hitsauksen tunkeumakoetta. Hitsauskokeissa muutettiin hitsausparametreja, lisäaineita, hitsausasentoa ja hitsausprosessia. Jokainen koe suoritettiin erillisenä kokeena ja kokeilla ei ollut vaikutusta toisiinsa.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että hitsaukset olivat onnistuneet, jos verrataan tuloksia pelkästään tunkeumanestetarkastuksiin. 12:sta ikkunapalan tiivistyskokeesta ainoastaan kolme hylättiin tunkeumanestetarkastuksessa. Silti osa hitseistä ei täyttäisi standardin SFS- EN ISO 5817 vaatimuksia. Syy tunkeumanestetarkastuksen läpäisylle oli, että molemmat hitsit eivät olleet epäonnistuneet samasta kohdasta vastakkaisilta puolilta.

Hitsien NDT tarkastelussa hylätyt hitsit johtuivat hitsausasennosta. Neljästä ylhäältä alaspäin hitsauksesta vain yksi läpäisi tunkeumanestetarkastuksen. Ylhäältä alaspäin hitsauksen hylkäämiseen johtaneet syyt olivat hitsisulan juoksettavuudessa, jolloin hitsisulaa oli vaikea hallita. Hitsauksen aikana kuona pyrki valumaan sula-alueen päälle, jolloin hitsausnopeutta täytyi nostaa. Hitsausnopeuden nosto muutti hitsinmuotoa kuperasta koveraksi, jolloin a-mitta kapeni huomattavasti. Hitsin jäähtyessä osaan hitseistä keskelle muodostui halkeama.

Hitsauskokeessa todettiin, että ikkunapalasisivun ensimmäinen hitsi oli vaikea hitsata, jos lämmöntuonti oli liian vähäistä. Matalalla lämmöntuonnilla hitsausaluetta jouduttiin hitsauksen aikana lämmittämään, jotta hitsi tunkeutuisi riittävästi perusmateriaaliin ja välttyttäisiin liitosvirheeltä sekä roiskeilta. Suuren lämmöntuonnin aikana hitsauspuikko hohti punaisena ja sulan hallinta hitsauksen aikana vaikeutui. Kun lämmöntuonti

hitsauksenaikana oli oikealla alueella, hitsin hallittavuus parani ja mahdolliset hitsausvirheet johtuivat muista tekijöistä.

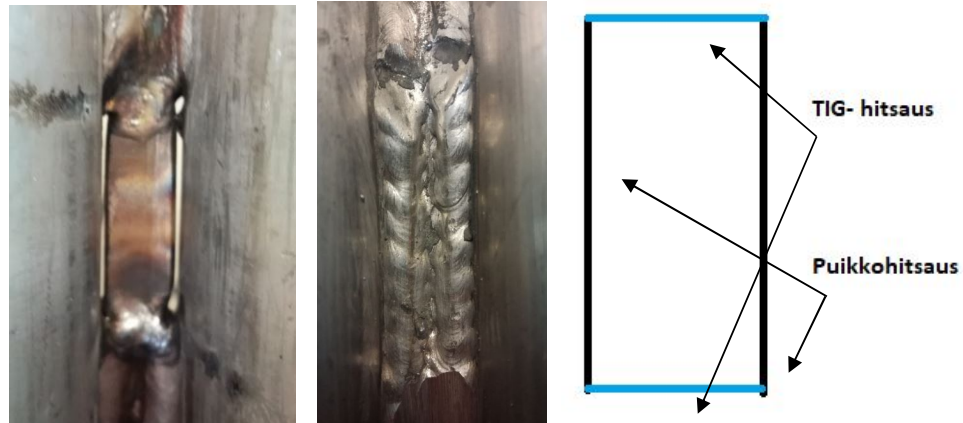
Tiivistyspalan koolla oli myös merkitystä hitsin onnistumiseen. Ylikavennettu tiivistyspala (n. 5mm) jätti railot liian suuriksi, jolloin hitsauksessa käytetty lisäaine kului railon täyttämiseen ja hitsipalko jäi pieneksi eikä a-mitta vaatimukset täytyneet.

Lisäksi Sandvikin ja Lincoln Electricin hitsauspuikkojen erona oli, että Sandvikin hitsauspuikot oli kuivattu ja säilytetty kuivauksen jälkeen oikein. Lincoln Electricin hitsauspuikkoja ei ollut kuivattu ja puikot sisälsivät huoneesta absorboitua kosteutta. Hitsauspuikkojen kuivauksen tärkeyden vaikutus havaittiin suoraan hitsin laadussa, sillä kosteat hitsauspuikot aiheuttivat helposti huokosia hitseihin.

Vaikka Sandvikin ja Lincoln Electricin lisäaineissa kemiallinen koostumus oli sama, ammattihitsaaja huomasi hitsattavuudessa pieniä eroja käyttäessään toista lisäainetta ensimmäistä kertaa. Syy hitsattavuuden eroihin johtui hitsauspuikon pinnoitteesta, mikä sulana kuonana käyttäytyi hieman eri tavalla. Kun hitsausta oli suoritettu muutama koehitsi, ei lisäaineen muutos vaikuttanut ammattihitsaajan toimintaan.

8.1.1 Tiivistyspalan valmistus ja hitsaus

Tiivistyspalana käytettiin samaa materiaalia, jota käytettiin membraaniseinämän evässä ja tiivistyshitsi hitsattiin aina ensin tulipesänpuolelta. Tiivistyspala mitoitettiin aukkoon sopivaksi ja hitsattiin päittäisliitoksilla evään kiinni ylhäältä sekä alhaalta käyttämällä TIG-hitsausta. Hitsatessa ei ollut sallittua suunnata valokaarta kohti putkea tai hitsata tiivistyspalaa kiinni compound-teräkseen. TIG-hitsauksen valokaarella on riski läpäistä compound-teräksen pinnoite ja sekoittaa seostettu pinta seostamattomaan sisäkerrokseen, jolloin korroosionkesto laskee. Kun tiivistyspalan molemmat päät olivat TIG-hitsattu evänpäihin päittäishitsillä kiinni, hitsattiin puikkohitsauksella sivut pienahitsillä (Kuva 20). Jos TIG-hitsaus ei ollut läpihitsautunut, niin TIG-hitsaus hitsattiin myös toiselta puolelta. Puikkohitsaus hitsattiin aina molemmilta puolilta.



Kuva 20. Ikkunapalan tiivistyshitsaus hitsattuna vasemmalla TIG- hitsauksen päittäishitsillä ja keskellä sivut puikkohitsauksen pienahitsillä. Oikealla periaatekuva hitseistä.

8.1.2 Hitsauskoe 1

Hitsauskokeessa 1. (Kuva 21) TIG- hitsaus korvattiin puikkohitsauksella. Yleensä tiivistyspalan ja evän välinen liitos hitsattiin TIG- hitsauksella, jotta tunkeuma olisi 100 %. Vaikka hitsiliitos näytti silmämääräisessä tarkastelussa onnistuneelta, niin tunkeumaa ei voitu varmistaa tässä kokeessa ilman metallografista testiä. Käytettävillä olevilla tarkastusmenetelmillä voitiin tässä tapauksessa vain tarkastaa hitsausliitoksen pinta. Hitsauksessa käytettiin Sandvikin lisäainetta ja hitsausvirtana oli 65 ampeeria. Molemmista hitseistä oli lopuksi hiottu puikonsytytysjäljet pois.



Kuva 21. Hitsauskoe 1. hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja 65 ampeerilla. Hitsit hitsattiin käyttämällä pelkästään puikkohitsausta.

8.1.3 Hitsauskoe 2

Hitsauskokeessa 2. (Kuva 22) pienahsit hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja hitsausvirtaa käytettiin 55 ampeeria. Hitsausvirtaa laskemalla pienahsin hitsaaminen vaikeutui, koska lämmöntuonti ei ollut riittävä hitsausalueen lämmittämiseen. Vasemmanpuoleisen hitsiin jäi pieniä reikiä sekä hitsin palko oli epätasainen.



Kuva 22. Hitsauskoe 2. hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja 55 ampeerilla

Oikeanpuoleinen hitsi hitsattiin samoilla hitsausarvoilla, mutta levitysliikettä pienennettiin. Levitysliikkeen pienentäminen vaikutti hitsin laadun paranemiseen, kun hitsauslämpöä ei tarvinnut levittää laajalle alueelle. Lisäksi ensimmäinen hitsi esilämmitti jälkimmäisen hitsin hitsausaluetta.

8.1.4 Hitsauskoe 3

Hitsauskokeessa 3. (Kuva 23) pienahsit hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja hitsausvirtaa käytettiin 70 ampeeria. Vasemman hitsin hitsauksessa tiivistyspalan reunat olivat avonaiset, jolloin hitsauksen aikana hitsauslämpö ei päässyt tiivistyspalan oikealta puolelta johtumaan koekappaleen rakenteeseen. Lämpö pääsi oikealta puolelta johtumaan ainoastaan tiivistyspalan päistä, jolloin hitsausalue ylikuumeni.



Kuva 23. Hitsauskoe 3. hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja 70 ampeerilla

Tämän seurauksena hitsisulan hallinta vaikeutui ja hitsausnopeutta jouduttiin nostamaan, jottei hitsikupu olisi kasvanut liian suureksi, vaikka hitsin levityслиike oli laaja. Lisäksi hitsauspuikko hohti hitsauksen aikana punaisena, mikä on merkki liian suuresta hitsausvirrasta.

Oikeanpuoleinen hitsi hitsattiin samoilla hitsausparametreilla kuin vasemmanpuoleinen, mutta hitsauksen aikana lämmönjohtuminen oli parempi, kun tiivistyspalan vasen puoli oli hitsattu umpeen, jolloin lämpö pääsi johtumaan testikappaleeseen. Ongelmaksi kuitenkin muodostui hitsauslämpö, kun alue oli esilämmennyt ensimmäisestä hitsistä. Hitsauksen aikana hitsisulan juoksettavuus oli liian korkea ja hitsi hieman valui, jolloin hitsiin ei voitu hitsata kunnollista levitystä ja hitsi jäi osittain kapeaksi.

8.1.5 Hitsauskoe 4

Hitsauskokeessa 4. (Kuva 24) pienahitsit hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja hitsausvirtaa käytettiin 60 ampeeria. Hitsin ulkonäöstä voidaan päätellä, että virran määrä oli valittu hyvältä alueelta ja hitsauksenlämmöntuonti oli onnistunut. Hitsit näyttivät samanlaisilta, jolloin ensimmäisen hitsin tiivistyspalan reunoissa olleet aukot eivät haitanneet hitsin muodostusta. Hitsisulan hallinta oli helppoa ja hitsin palot olivat laadukkaita.



Kuva 24. Hitsauskoe 4. hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja 60 ampeerilla. Hitsausvirta oli valittu hyvin hitsin kannalta, sillä hitsit olivat hyvin onnistuneet.

8.1.6 Hitsauskoe 5

Hitsauskokeessa 5. (Kuva 25) pienahitsit hitsattiin Lincoln Electricin lisäaineella ja hitsausvirtaa käytettiin 50 ampeeria. Hitsausvirta oli hyvin matala hitsin hitsaamiseen, mikä voitiin havaita hitseistä. Vasemmanpuoleinen hitsi hitsattiin ensimmäiseksi ja hitsin kuljetuksessa hitsausalue ei lämmennyt riittävän nopeasti, jotta hitsiä olisi voitu hitsata tasaisesti. Hitsauksen aikana hitsin puolella välissä hitsausnopeutta jouduttiin laskemaan hitsisulan hallinnan takia, mikä aiheutti hitsisulan kasautumista hieman enemmän yhteen kohtaan. Tämä ongelma korjattiin hetkellisesti levityслиikkeen pienentämisellä ja hitsausnopeuden nostolla, jolloin hitsien keskelle tuli kapeampi kohta. Hitsin lopussa hitsauslämmön riittämättömyys uusiutui, jolloin hitsausnopeutta jouduttiin taas laskemaan ja hitsisula alkoi kasaantua kasvattaen hitsauskuvun kokoa.



Kuva 25. Hitsauskoe 5. vasemmalla hitsattiin Lincoln Electricin lisäaineella ja 50 ampeerilla ja hitsauskoe 2. oikealla

Kuten hitsauskoe 2. hitsattaessa matalalla hitsausvirralla, ensimmäinen hitsi lämmitti hitsattavan alueen, jolloin toisen hitsin lämmöntuonti saattoi olla vähäisempää oikeaan hitsausvirtaan nähden. Oikeanpuoleisessa hitsissä hitsaus sujui ongelmitta, mutta silmämääräisessä tarkastelussa havaittiin keskellä hitsiä pieni reikä, vaikka hitsi oli muuten onnistunut. Reikä johtui hitsipuikossa olevasta kosteudesta, mikä aiheutti hitsiin huokoisuutta.

8.1.7 Hitsauskoe 6

Hitsauskokeessa 6. (Kuva 26) pienahsit hitsattiin Lincoln Electricin lisäaineella ja hitsausvirtaa käytettiin 60 ampeeria. Hitsausvirtana käytettiin samaa hitsausarvoa kuin Sandvikin lisäaineella, koska Sandvikin puikolla hitsattaessa hitsit olivat onnistuneita. Myös Lincoln Electricin lisäaineella hitsausvirran ollessa 60 ampeeria hitsauksen laadulla ei ollut eroa. Ainut ero hitseissä oli vasemman puolen hitsissä olevat reiät. hitsausvirheiden mahdollinen syy johtui kosteista hitsauspuikoista, joka johti huokosien muodostumiseen hitsauksen aikana.



Kuva 26. Hitsauskoe 6. hitsattiin Lincoln Electricin lisäaineella ja 60 ampeerilla

8.1.8 Hitsauskoe 7

Hitsauskokeessa 7. (Kuva 27) pienahitsit hitsattiin Lincoln Electricin lisäaineella ja hitsausvirtana käytettiin 70 ampeeria. Vasemman puolen hitsin muodosta voitiin päätellä, että hitsausvirta oli ollut liian suuri, jolloin laajemman levityksen sijaan hitsausnopeus oli pidetty suurena. Suurella hitsausnopeudella voitiin estää hitsikuvun kasvua ylisuureksi. Hitsaustyön aikana hitsauspuikko hohti punaisena ja hitsauspuikko sulii muihin kokeisiin verrattuna nopeammin.



Kuva 27. Hitsauskoe 7. hitsattiin Lincoln Electricin lisäaineella ja 70 ampeerilla

Vasemmanpuoleisesta hitsistä johtuva esilämmityksen vaikutus oikeanpuolen hitsiin oli merkittävä ja hitsisulan hallinta oli käytännössä mahdotonta. Hitsauksen aikana sula pyrki valumaan, jolloin hitsausnopeuden nostolla vaikutettiin sulan valumiseen ja

hitsausnopeuden nosto jätti hitsin a-mitan pieneksi. Vaikka lämmönjohtavuus oli parempaa toisen hitsin aikana, silti hitsattava alue oli liian lämmin. Ainoa mahdollisuus yrittää hitsata vastaavilla parametreilla oli odottaa niin kauan, että hitsattava-alue oli täysin jäähtynyt.

8.1.9 Hitsauskoe 8

Hitsauskokeessa 8. (Kuva 28) pienahitsit hitsattiin Lincoln Electricin lisäaineella ja hitsausvirtaa käytettiin 80 ampeeria. Tämä hitsauskoe oli ensimmäinen, missä hitsausasento oli alaspäin. Hitsisulan hallinta oli vaikeaa heti alusta lähtien, kun sula valui alaspäin ja kuona pyrki valumaan hitsaustapahtuman päälle. Korkean hitsausvirran valinta perustui juuri sulan valumiseen, jotta hitsaustapahtumaan saatiin riittävästi lämpöä, sillä hitsausnopeutta pitää olla alaspäin hitsauksessa enemmän.



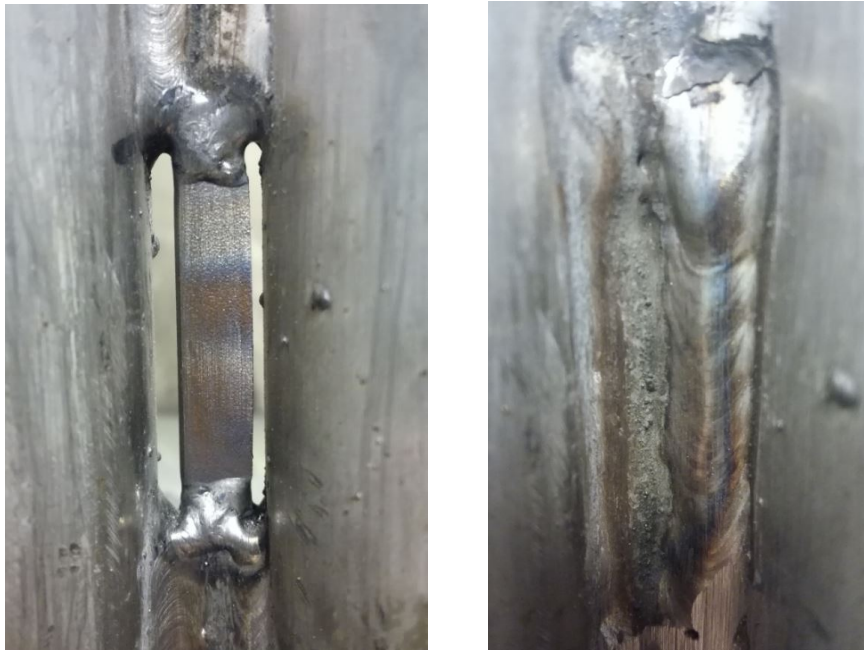
Kuva 28. Hitsauskoe 8. hitsattiin Lincoln Electricin lisäaineella ja 80 ampeerilla. Tämä oli hitsaussarjan ensimmäinen hitsauskoe, missä hitsausasento oli alaspäin.

Hitsin alussa oli muutamia roiskeita, mitkä johtuivat hitsipuikon sytytyksestä ja kuonan valumisesta ennen hitsausliikkeen aloittamista. Sula alkoi valua molemmissa hitseissä heti, kun hitsaus-alue hieman lämpeni. Nopea hitsausliike muutti hitsauskuvun muodon kuperasta koveraksi, mikä vaikutti suuresti a-mitan pienentymiseen ja siksi teki

hitsausliitoksesta heikomman. Vaikka alaspäin hitsauksessa särön mahdollisuus oli suurempi, hitsit liittyivät jouhevasti perusmateriaaliin ja hitsien pinnat näyttivät hyviltä.

8.1.10 Hitsauskoe 9

Hitsauskokeessa 9. (Kuva 29). pienahitsit hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja hitsausvirtaa käytettiin 60 ampeeria sekä hitsauskokeessa käytettiin kavennettua tiivistyspalaa. Tiivistyspalan kavennuskokeessa tutkittiin, kuinka hitsauslisäaine käyttäytyy isomman railon hitsaamisessa. Vasemmalla puolella ylisuuri hitsausrailon koko kulutti käytännössä hitsauksen aikana koko lisäaineen railon täyttöön. Tämän seurauksena hitsipalon koko jäi pieneksi. Jos hitsi halutaan riittävän vahvaksi, hitsin päälle voi hitsata vielä toisen hitsipalon.



Kuva 29. Hitsauskoe 9. hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja 60 ampeerilla. Kokeessa käytettiin kavennettua tiivistyspalaa.

Tiivistyspalan oikeanpuolen railo oli myös hieman ylisuuri, mutta silti lähempänä normaalia railokokoa. Oikeanpuoleinen hitsi oli kuitenkin hyväksyttävä, koska railon ollessa pienempi lisäaineesta kaikki ei kulunut railon täyttämiseen vaan siitä riitti myös hitsikuvun muodostamiseen. Jos hitsejä vertailee keskenään, niin voidaan päätellä, että

railon koko oli tulosten kannalta merkittävä ja tiivistyspalana on käytettävä oikean kokoisia kappaleita hyvän hitsilaadun varmistamiseksi.

8.1.11 Hitsauskoe 10

Hitsauskokeessa 10. (Kuva 30) pienahitsit hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja hitsausvirtaa käytettiin 80 ampeeria. Hitsausasento oli ylhäältä alaspäin ja tarkoitus oli verrata Sandvikin ja Lincoln Electricin lisäaineita samanlaisessa hitsauksessa. Myös Sandvikin lisäaineella muodostui sama sulan valumaongelma. Sulan alkaessa valua hitsausnopeutta jouduttiin nostamaan, minkä seurauksena hitseistä tuli koveria. Hitsauskokeessa vasemman puolen hitsistä tuli liian ohut ja hitsi halkesi jäähtyttyä keskeltä.



Kuva 30. Hitsauskoe 10. vasemmalla hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja 80 ampeerilla sekä hitsausasento oli alaspäin. Tässä hitsauskokeessa vasemmassa hitsissä keskellä on halkeama. Vertailussa oikealla hitsauskoe 8.

8.1.12 Hitsauskoe 11

Hitsauskokeessa 11. (Kuva 31) pienahitsit hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja hitsausvirtaa käytettiin 70 ampeeria. Hitsausvirran 10 ampeerin laskulla ei ollut suurta vaikutusta hitsikuvun kokoon, mutta hitsauksen hallittavuus heikkeni. Vasemman puoleisissa hitsissä

hitsiä ei voitu hitsata halutulla nopeudella, jolloin kuona ehti valumaan valokaaren edelle ja hitsistä tuli valkea. Oikeanpuolen hitsausalue oli saanut esilämmitystä ensimmäisestä hitsistä, jolloin hitsausnopeutta voitiin pitää suurempana ja kuona ei ehtinyt valua hitsauskohdan edelle. Esilämmitetty alue helpotti myös testikappaleen takapuolen hitsausta.



Kuva 31. Hitsauskoe 11. hitsattiin Sandvikin lisäaineella ja 70 ampeerilla sekä hitsausasento oli alaspäin. Vasemmalla puolella on testikappaleen tulipesän puolen hitsaus ja oikealla vastakkainen puoli.

8.1.13 Hitsauskoe 12

Hitsauskokeessa 12. hitsauskokeen tiivistyspalan päittäisliitos hitsattiin TIG- hitsauksella, minkä suojakaasua häirittiin ilmavirralla hitsauksen aikana. Ilmavirtauksesta tehtiin niin häiritsevä, etteivät ensimmäiset TIG- hitsausyritykset onnistuneet, koska hitsauskaaresta tuli liian epävaka. Onnistuneessa TIG- hitsauksessa hitsauksen aikana huomasi, että ilmassa oli virtausta. Kaari pysyi jotenkin vakaana, että hitsaus voitiin suorittaa. Silmämääräisessä tarkastelussa hitseissä ei huomattu eroa muihin ikkunapalan tiivistyskokeiden vastaaviin TIG- hitseihin.

Hitsauskokeessa (Kuva 32) pienahitsit hitsattiin Lincoln Electricin lisäaineella ja hitsausvirtaa käytettiin 70 ampeeria. Hitsi hitsattiin samalla tavalla kuin hitsauskoe 11. Vasemman puolen hitsissä ei silmämääräisessä tarkastuksessa ollut suurta eroa Sandvikin jälkimmäisiin hitseihin verrattuna. Tähän mahdollinen syy oli, että tiivistyspala on hieman ollut keskilinjasta sivussa ja hitsausrailo on jäänyt pienemmäksi.



Kuva 32. Hitsauskoe 12. vasemmalla hitsattiin Lincoln Electricin lisäaineella ja 70 ampeerilla sekä hitsausasento oli alaspäin. Oikealla hitsauskoe 11.

Vastaavasti oikean puolen hitsissä hitsaustekniikkaan nähden tiivistyspalan railo oli liian suuri. Hitsin lisäaine kului railon täyttöön aiheuttaen hyvin pienen kuvun ja hitsikupu oli kovera. Lisäksi hitsissä oli muutama huokosen aiheuttama reikä vasemmalla ylhäällä sekä oikealla alhaalla. Nämä huokokset olivat lisäaineen kosteudesta johtuvia virheitä. Ikkunapalan tiivistyshitsauskokeiden yhteenveto on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Ikkunapalan tiivistyshitsauskokeiden tulosten yhteenveto

Hitsauskoe	Tärkein muuttuja/muuttujat	Vaikutukset	Lopputulokset
1	TIG- hitsaus korvattu puikkohitsauksella ja hitsausvirta 65 amp.	Hitsaaminen nopeampaa puikolla kuin TIG:llä	Mahdolliset hitsausvirheet näkyvät vain DT tarkastuksissa
2	Matala hitsausvirta 55 amp.	Lämmöntuontia ei ole riittävästi	Ensimmäinen hitsi ei jatku koko hitsin läpi jouhevasti
3	Korkea hitsausvirta 70 amp.	Lämmöntuontia on liikaa	Ensimmäisessä hitsissä lisäainetta on liikaa, toinen hitsi kapea ja korkea
4	Hitsausvirta 60 amp.	Lämmöntuontia on sopivasti	Onnistuneet hitsit
5	Lisäaine, matala hitsausvirta ja 50 amp.	Lämmöntuontia ei ole riittävästi ja kostea hitsauspuikko	Ensimmäinen hitsi ei jatku koko hitsin läpi jouhevasti ja hitsissä reikiä
6	Lisäaine ja hitsausvirta 60 amp.	Lämmöntuontia on sopivasti ja kostea hitsauspuikko	Hitseissä reikiä muuten onnistuneet hitsit
7	Lisäaine ja hitsausvirta 70 amp.	Lämmöntuontia on liikaa	Oikeanpuolen hitsi on kapea ja a-mitta liian pieni
8	Lisäaine, hitsaussuunta alaspäin ja hitsausvirta 80 amp.	Kuvun muoto kuperasta koveraksi	Hitsausjälki hyvää, mutta a-mitta lyhyt
9	Kavennettu tiivistyspala ja hitsausvirta 60 amp.	Lisäaineen kulutus	Hitsaustyöhön käytetty aika kasvaa
10	Hitsaussuunta alaspäin ja hitsausvirta 80 amp.	Kuvun muoto kuperasta koveraksi	Hitsausjälki hyvää, mutta a-mitta lyhyt ja halkeama vasemmassa hitsissä
11	Hitsaussuunta alaspäin ja hitsausvirta 70 amp.	Kuvun muoto kuperasta koveraksi ja hitsausnopeus hitaampi	A-mitta lyhyt ja hitsausnopeuden takia sula valui hitsauskohdan yli
12	Lisäaine, hitsaussuunta alaspäin, tiivistyspala mahdollisesti sivussa ja hitsausvirta 70 amp.	Kuvun muoto kuperasta koveraksi, hitsausnopeus hitaampi ja lisäaineen kulutus	A-mitta lyhyt ja oikeanpuolen hitsi liian kapea

8.1.14 Tunkeumanestetarkastus

Kun kaikki ikkunapalan tiivistyshitsaukset oli tehty, suoritettiin hitsatuille kohteille tunkeumanestetarkastus. Tässä tarkastelussa havainnoitiin halkeamat, huokokset ja säröt, joilla oli yhteys testipaneelin läpi toiselle puolelle. Jos tunkeumaneste tunkeutui hitsien läpi, hitsissä oli hitsausvirhe, jolloin seinämä ei ollut kaasutiivis. Tunkeumanestetarkastelulla ei voida todeta hitsatun rakenteen sisällä olevia virheitä. Tunkeumanestetarkastelua varten hitsatut kohdat tuli puhdistaa harjaamalla ja pyyhkimällä puhtaiksi. Tämän jälkeen hitsit voitiin värjätä tunkeumanesteellä (Kuva 33).



Kuva 33. Testipaneeli värjättyä tunkeumanestetarkastelua varten.

Testipaneelin toiselle puolelle tehtiin samat puhdistustoimet ja taustapuoli suihkutettiin valkoisella kehiteellä (Kuva 34). Kun kehite oli suihkutettu testikappaleen pinnalle hitseissä, joissa hitsausvirheet olivat molemmilla puolilla samoissa kohdissa, valkoinen kehite värjäytyi punaiseksi. Tämä merkitsi, että hitseissä oli hitsausvirheenä särö, reikä tai halkeama (Kuva 34).



Kuva 34. Testipaneelin taustapuoli, mikä suihkutettiin valkoisella kehitteellä, josta hitsausvirheen tulokset on nähtävissä.

Tunkeumanestetarkastuksessa havaittiin kolme eri kohtaa, mistä tunkeumaneste läpäisi hitsit. Ensimmäinen hitsausvirhe havaittiin hitsauskokeessa 8. missä kehitteen puolella oli pitkä halkeama, joka ei ollut läpi koko matkaa, vaan ainoastaan alaosasta. Tunkeumanesteen koosta voitiin päätellä, että hitsausvirhe ei ollut suuri, mutta läpäisy tarkoitti silti, että hitsit eivät olleet kaasutiiviitä. Tämä seurauksena testipaneelin hitsien vastakkaiset puolet olivat epäonnistuneet ja väriaine pääsi tunkeutumaan testipaneelin hitsatun kohdan läpi (Kuva 35).



Kuva 35. Hitsauskoe 8. ei läpäissyt tunkeumanestetarkastelua.

Hitsausvirheet johtuivat pääasiassa hitsausasennosta alaspäin. Hitsauskuvun muuttuminen koveraksi ohensi hitsiä liian paljon, jolloin hitsi altistui halkeamalle. Halkeama pystytettiin myös toteamaan ilman tunkeumanestetarkastelua, mutta tunkeumanestetarkastelulla voitiin todistaa, että halkeama oli läpi koko hitsin.

Toinen hitsausvirhe oli hitsauskokeessa 10. missä todettiin kaksi näkyvää halkeamaa ja yksi reikä höyrystinputken ja hitsin rajassa. Värjäytynyt alue oli paljon suurempi verrattuna hitsauskoe 8. mikä tarkoitti suurempaa hitsausvirhettä hitsien välissä (Kuva 36).



Kuva 36. Hitsauskoe 10. ei läpäissyt tunkeumanestetarkastelua.

Vasemmanpuoleinen halkeama oli silmämääräisesti havaittava halkeama keskellä hitsiä, mikä johtui hitsauksesta alaspäin. Oikeanpuoleinen halkeama oli samanlainen kuin vasemmalla, mutta kooltaan pienempi. Tähän johtaneet syyt olivat samat kuin hitsauskokeessa 8. jossa hitsin jäätyä liian matalaksi halkeamisriski kasvoi. Lisäksi höyrystinputken ja hitsin välissä oikeassa alakulmassa oli pieni reikä. Tähän syynä olivat joko liian suuri hitsausnopeus, jolloin perusaine ei lämmennyt riittävästi ja lisääine päässyt tunkeutumaan perusaineeseen tai vaihtoehtoisesti hitsauksesta jäänyt huokonen, joka oli läpäissyt hitsin.

Kolmas ja viimeinen hitsausvirhe todettiin hitsauskokeessa 12. Tämä hitsausvirhe oli pahin koko testisarjassa. Testipaneelin etupuolella hitseissä ei ollut silmämääräisessä tarkastuksessa näkyviä hitsausvirheitä. Hitsausvirheet todettiin tunkeumanesteen läpäistessä hitsit. Taustapuolella vasemmalla oli havaittavissa useita huokosista johtuvia hitsausvirheitä. Nämä hitsit oli hitsattu alaspäin, jolloin hitsin muoto oli kovera ja huokokset oli aiheuttaneet hitsiin useita läpimeneviä reikiä.

Ikkunapalan oikeassa laidassa hitsissä oli kaksi halkeamaa, joista ylempi halkeama oli keskellä ja alempi putken ja hitsin reunassa. Ylemmän hitsausvirheen halkeama ei ollut suurikokoinen väriaineen tunkeuman perusteella. Alemman halkeaman väriaineen koko oli sama, mutta väri on paljon tummempi kuin ylemmässä halkeamassa. Värin perusteella voi arvioida, että hitsausvirhe oli hieman suurempi (Kuva 37).



Kuva 37. Hitsauskoe 12 ei läpäissyt hitsauskoetta.

8.2 TIG- hitsauksen tunkeumakoe

TIG- hitsauskokeessa tutkittiin neljää eri hitsauksen tunkeumakoetta. Kokeissa oli tarkoitus selvittää, miten hitsausvirta vaikuttaa tunkeumaan ja voiko TIG- hitsauksella hitsata kompond-terästä ilman, että tunkeuma läpäisisi pinnoitetta. TIG- hitsauskokeessa kolme hitsiä hitsattiin pystyhitsauksella ylöspäin ja yksi alaspäin. Hitsauksen aikana ei käytetty TIG- hitsauskoneen taukotoimintoa, vaan hitsit hitsattiin jatkuvana prosessina yhdellä sytytyksellä. Silmämääräisessä tarkastuksessa huomattiin, että hitsaus alaspäin teki TIG- hitsauksessa hitsauskupuun koveran muodon, kun taas ylöspäin hitsatessa muoto oli tasainen. Kovera muoto vaikuttaa suoraan pienentämällä hitsin a-mittaa, joka tekee hitsistä heikomman ja mahdollistaa hitsausvirheitä.

Hitsauskokeiden tuloksista voitiin todeta, että hitsausvirran nostolla oli vaikutus tunkeuman syvyyteen, mutta suurinkaan hitsausvirta ei läpäissyt ruostumattomasta teräksestä tehtyä pintakerrosta. Makrokuvista voitiin todeta, että suurin tunkeuma 180 ampeerilla ylöspäin hitsatessa oli noin 1,00mm, mutta tunkeuma jäi 0,80mm pinnoitteen läpäisystä. Makrokuvista voitiin tunkeuman lisäksi todeta, että myöskään HAZ ei läpäissyt pinnoitekerrosta, vaikka HAZ ulottui 1,40mm syvyyteen niin pinnoitetta jäi jäljelle 0,40mm.

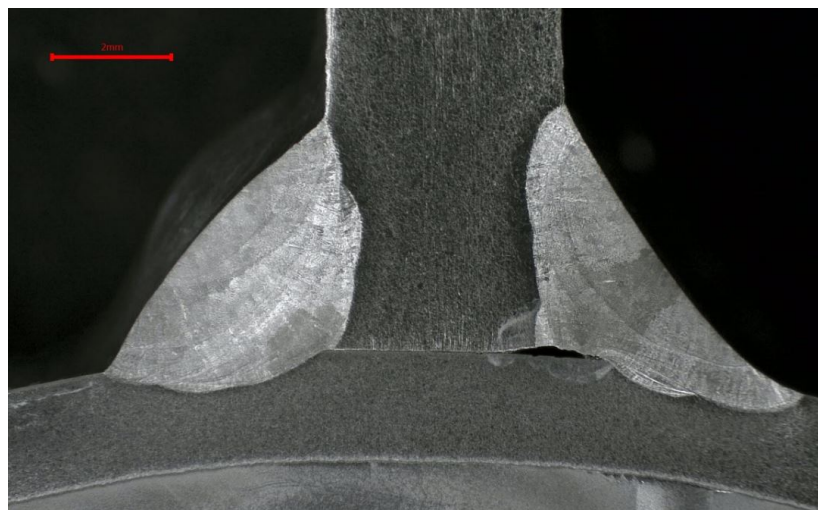
8.2.1 Hitsauskoe 1

Hitsauskokeessa 1. hitsattiin pystyhitsauksella ylöspäin hitsauksella ja hitsausvirtana oli 120 ampeeria (Kuva 38). Hitsauskoe oli helppo hitsata, koska lämmöntuonti oli alhainen ja hitsisula oli hallinnassa koko hitsaussuorituksen ajan, vaikka ei käytetty hitsauskoneen taukotoimintoa. Lämmöntuonnin alhainen vaikutus kuitenkin näkyi hitsin levityksessä, jolloin hitsin hallinta vaati, ettei hitsiä levitetty liian laajalle.



Kuva 38. Hitsauskoe 1. pystyhitsauksessa ylöspäin ja hitsausvirtana 120 ampeeria.

Hitsauskoe 1. metallografisessa tarkastuksessa voitiin nähdä perusmateriaalit ja lisääine erivärisinä. Kokeen tärkein tulos oli, ettei tunkeuma ollut liian syvä ja läpäissyt putken pinnoitetta (Kuva 39). Lisäksi kuvasta voitiin nähdä HAZ:n ulompi reunaa ja todeta, ettei alue läpäissyt myöskään pinnoitetta. Putken sisäpinnoite oli koskematon ja hitsauskoe hyväksytysti suoritettu. Ainut hitsauskokeen huomionarvoinen tulos oli hieman vajaa juuritunkeuma oikeanpuoleisessa hitsissä 100 %:seen tunkemaan nähden.



Kuva 39. Hitsauskoe 1. metallografinen makrotarkastus TIG- hitsistä, joka hitsattu 120 ampeerilla ylöspäin. Kuvassa oleva mittajana on 2mm pitkä.

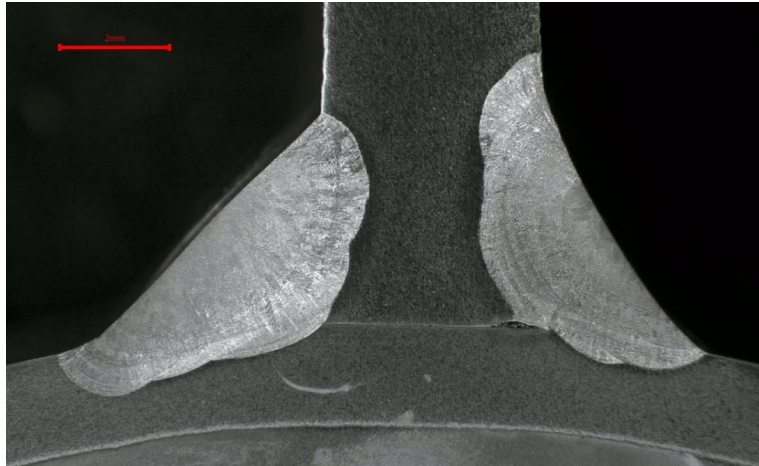
8.2.2 Hitsauskoe 2

Hitsauskokeessa 2. hitsattiin pystyhitsauksella ylöspäin hitsauksella ja hitsausvirtana oli 150 ampeeria (Kuva 39). Ainut ero hitsauskoe 1. oli suurempi lämmöntuonti, eikä tässäkään hitsauskokeessa käytetty hitsauskoneen taukotoimintoa.



Kuva 40. Hitsauskoe 2. pystyhitsaus ylöspäin ja hitsausvirtana 150 ampeeria.

Hitsauskoe 2. metallografisessa tarkastuksessa tunkeuman syvyys oli hieman syvempi, kuin hitsauskokeessa 1. mutta ei merkittävästi, eikä hitsisula läpäissyt pinnoitemateriaalia (Kuva 41). Hitseistä voitiin havaita lämmöntuonnin vaikutus levitykseen, jolloin hitsausalue pysyi lämpöisempänä ja laajempi levitys oli mahdollista. Oikea hitsi oli sijoittunut hieman liian korkealle ja hitsi juuritunkeuma jäi hieman vajaaksi. Nämä eivät kuitenkaan vaikuttaneet itse testitulokseen ja hitsauskoe 2. läpäisi hitsauskokeen.



Kuva 41. Hitsauskoe 2. metallografinen makrotarkastus TIG- hitsistä, joka hitsattu 150 ampeerilla ylöspäin. Kuvassa oleva mittajana on 2mm pitkä.

8.2.3 Hitsauskoe 3

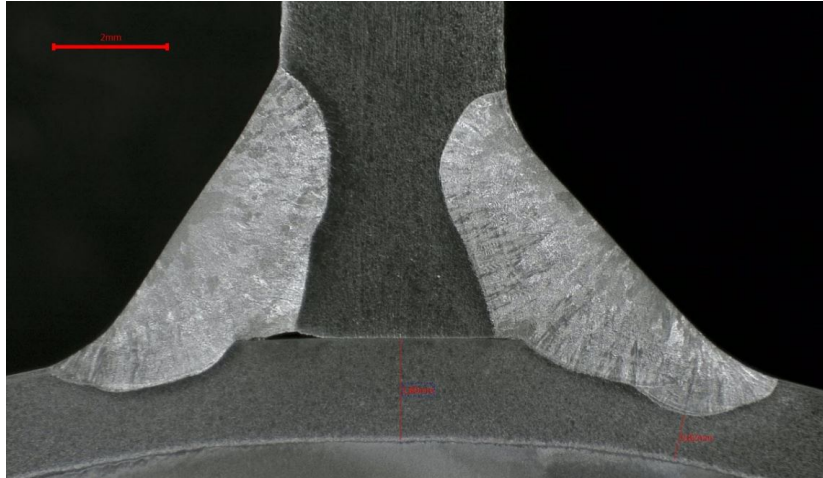
Hitsauskoe 3. hitsattiin pystyhitsauksella ylöspäin ja hitsausvirtana oli 180 ampeeria (Kuva 42). Ainut koekohtainen ero aikaisempiin hitsauskokeisiin oli suurempi lämmöntuonti. Tässäkään hitsauskokeessa ei käytetty hitsauskoneen taukotoimintoa.



Kuva 42. Hitsauskoe 3. pystyhitsaus ylöspäin ja hitsausvirtana 180 ampeeria.

Hitsauskoe 3. metallografisessa tarkastuksessa tunkeuman syvyys oli suurin ylöspäin hitsauksista. Tunkeuma oli 1,00mm, jolloin pinnoitetta jäi jäljellä 0,80mm ja hitsisulan

tunkeuma ulottui 1,40mm pinnoitteeseen (Kuva 43). Kuten aikaisemmin todettiin, lämmöntuonti vaikutti tunkeuman syvyyteen sekä mahdollisti levityksen laajentamisen. Aikaisempiin kokeisiin verrattuna hitsin levitys oli tässä kokeessa suurinta. Vasemmanpuoleisessa hitsissä oli sijoitusvirhe ja juuressa vajaa tunkeuma. Hitsauskokeen tunkeumakoe oli kuitenkin hyväksytty.



Kuva 43. Hitsauskoe 3. metallografinen makrotarkastus TIG- hitsistä, joka hitsattu 180 ampeerilla ylöspäin. Kuvassa oleva mittajana on 2mm pitkä.

8.2.4 Hitsauskoe 4

Hitsauskokeessa 4. hitsattiin pystyhitsauksella alaspäin ja hitsausvirtana oli 180 ampeeria. Tämä oli hitsauskokeista ainut, joka hitsattiin alaspäin (Kuva 44). Hitsausarvot olivat samat kuin hitsauskoe 3. mutta hitsin muoto muuttui hitsausasennon muutoksesta johtuen tasahitsistä koverahitsiksi. Tässäkään kokeessa ei käytetty hitsauskoneen taukotoimintoa, jolloin hitsausnopeus oli nopeampi kuin hitsaussarjankokeissa 1-3.



Kuva 44. Hitsauskoe 4. pystyhitsattu alaspäin ja hitsausvirtana 180 ampeeria.

Hitsauskoe 4. metallografisessa tarkastuksessa voitiin varmistaa hitsauskuvun muutos tasahitsistä koverahitsiksi. Nostamalla hitsausnopeutta lämmöntuonti laski, mikä voitiin todeta makrokuvasta pienempänä tunkeumana (Kuva 45). Lisäksi pystyhitsaus alaspäin aiheutti useita eri hitsausvirheitä, kuten vajaan juuritunkeuman molemmissa hitseissä, sijoitusvirheen oikeanpuolen hitsissä ja huokosen vasemmanpuolen hitsissä. Koverahitsin aiheuttama a-mitan pieneneminen vaikuttaa merkittävästi liitosten lujuuteen verrattuna muiden hitsauskokeiden tuloksiin. Hitsaus alaspäin kuitenkin läpäisi hitsauskokeen tunkeumakokeen, vaikka se sisälsi useita hitsausvirheitä. TIG- hitsauksen tunkeumakokeiden tulosten yhteenveto esitetty taulukossa 16.



Kuva 45. Hitsauskoe 4. metallografinen makrotarkastus TIG- hitsistä, joka hitsattu 180 ampeerilla alaspäin. Kuvassa oleva mittajana on 2mm pitkä.

Taulukko 16. TIG- hitsauksen tunkeumakokeiden tulosten yhteenveto

Hitsauskoe	Tärkein muuttuja/muuttujat	Vaikutukset	Lopputulos
1	Hitsausvirta 120	Koehitsaus	Pinnoitetta ei läpäisty
2	Hitsausvirta 150	Lämmöntuontia enemmän	Pinnoitetta ei läpäisty, hitsin leveys on suurempi ja tunkeuma syvempi kuin hitsauskoe 1.
3	Hitsausvirta 180	Lämmöntuontia enemmän	Pinnoitetta ei läpäisty, hitsin leveys on suurempi ja tunkeuma syvempi kuin hitsauskoe 2.
4	Hitsausvirta 180 ja hitsaussuunta alaspäin	Hitsikupu muuttui kuperasta koveraksi ja hitsausnopeus kasvoi	Pinnoitetta ei läpäisty, a-mitta pieneni ja tunkeuma oli sama kuin hitsauskoe 1.

8.3 Tulistimen sidehitsauskoe

Tulistimen sidehitsauksessa yritettiin luoda samat hitsausolosuhteet kuin oikeassa kattilan asennushitsauksessa. Siteet hitsattiin puikkohitsauksella käyttämällä Elga:n lisäainetta ja jokaisessa kokeessa käytettiin hitsausasentona pystyhitsaus ylöspäin. Hitsauskoe toteutettiin kahdella putkella sekä kolmella parilla tulistimen siteitä (Kuva 46). Viisi hitsiä kuudesta hyväksyttiin silmämääräisessä tarkastuksessa. Yhdessä hitsissä huokokset olivat peruste hitsin hylkäämiseen.



Kuva 46. Hitsauskokeen koejärjestelyt hitsauskokeen jälkeen.

Hitsauskokeessa käytettiin uusia putkia, joita on helpompi puhdistaa. Todellisuudessa käytetyt tulistinputket ovat vaikeasti puhdistettavia, koska kattilassa putkenpintaan on muodostunut korroosiotuotetta. Tämä voi aiheuttaa kokeessa virheellisesti liian hyvän tuloksen.

Hitsausvirran arvot vaihtelivat 60 ampeerista 80 ampeeriin ja hitseissä olevat erot silmämääräisessä tarkastelussa korkeamman hitsausvirran vaikutuksessa olivat hitsien leveydessä. Korkeammalla hitsausvirralla hitsin leveys kapeni hitsausnopeudesta, vastaavasti lisääineen kulutus kasvoi. Muutos hitsin ulkonäössä oli havaittavissa hitsausvirran 10 ampeerin muutoksilla. Korkeammalla hitsausvirralla lisääineen kulutus kasvoi, hitsin ollessa kuitenkin kapea. Ilman metallografisia tutkimuksia oli mahdotonta tietää mihin lisääine siirtyi hitsissä.

Hitsauskokeen vesitäyttökokeessa hitsausvirheiden määrät silmämääräisessä tarkastuksessa olivat minimaalisia vesitäytön ja tyhjänputken välillä. Lämmönsiirtyminen veteen havaittiin hitsien aikana, kun ensimmäisen hitsin aikana vesitäytetty putki oli avain täynnä ja hitsin aloituksen jälkeen vesi alkoi valua putkesta ulos. Tähän ei ollut muuta selitystä kuin veden lämpötilan nousu ja tilavuuden laajentuminen. Hitsausten lopussa hanakylmävesi tuntui kädessä lämpöiseltä.

Esilämmityksen poisjättäminen ei vaikuttanut hitsien hitsattavuuteen tai hitsausvirheiden syntyyn. Yhtenä selittävänä tekijänä pidettiin uusien puhtaiden putkien käyttöä käytettyjen putkien sijaan. Tämän tuloksen todellisuus ei välttämättä vastaa oikeaa asennustyömaan tulosta.

Kokeessa tutkittiin myös hitsien iskunsietokykyä hitsauskokeiden jälkeen. Tulistimen siteitä iskettiin vasaralla ylhäältä ja sivulta päin. Vasaran iskuilla ei ollut hitsien kestävyteen vaikutusta, vaikka yhdessä kokeessa side oli hitsattu ainoastaan toiselta puolelta kiinni.

8.3.1 Hitsauskoe 1

Hitsauskokeessa 1. tehtiin tyhjällä koeputkella ja käyttämällä esilämmitystä. Koekappale puhdistettiin ruosteesta ja muusta liasta käyttämällä kulmahiomakonetta ja puhdistuslaikkaa, jonka jälkeen putkea esilämmitettiin kaasupolttimella 20–30 sekuntia. Tulistimen side hitsattiin puikkohitsauksella käyttämällä 70 ampeeria ja hitsausasentona käytettiin pystyhitsaus ylöspäin. Vaikka puikkohitsaus suoritettiin oikein säilytetyillä ja kuivilla lisäaineilla, hitsin keskelle muodostui huokonen (Kuva 47). Vastakkaisen hitsin muoto oli samanlainen ilman hitsausvirhettä. Hitsin laatu huokosesta johtuen ei ole hyväksyttävä, koska huokonen voi aiheuttaa ongelmia hitsille kattilaympäristössä pistekorroosion muodossa.



Kuva 47. Tulistimen sidehitsauskoe 1. hitsausvirtana 70 ampeeria, esilämmitetty putki ilman vesitäyttöä ja vasaroitu ylhäältäpäin.

Kokeen lopuksi tarkastettiin, onko tulistimen side hitsattu pysyvästi kiinni. Tarkoituksena oli vasaroida tulistimen sidettä ylhäältä päin ja tarkastaa kestävätkö hitsit iskumaista rasitetta vai leikkaantuvatko hitsit irti. Lyöntien jälkeen hitseissä ei silmämääräisessä tarkastuksessa havaittu minkäänlaisia vaurioita.

8.3.2 Hitsauskoe 2

Hitsauskokeessa 2. tehtiin vesitäytetyllä putkella, esilämmityksellä ja putki puhdistettiin samalla tavalla, kuin hitsauskokeessa 1. Ainoana erona hitsausvirran nosto 75 ampeeriin. Putki täytettiin hanakylmällä vedellä niin täyteen, kuin mahdollista, jonka jälkeen putkea esilämmitettiin 20 – 30 sekuntia. Esilämmityksen jälkeen suoritettiin hitsaustyö. Hitsauksen aikana vesi alkoi valua putken seinämää pitkin alas. Veden ylitulo putkesta johtui lämmönsiirtymisestä veteen, jolloin vesi lämpölaajeni. Putkenreunaa pitkin valunut vesi valui suoraan hitsauksen aikana hitsattavaan kohtaan, mutta silmämääräisessä tarkastelussa hitsissä ei havaittu hitsausvirheitä.

Koska vesi valui hitsauskohdan päälle hitsauksen aikana, hitsi tarkastettiin silmämääräisesti. Silmämääräisessä tarkastuksessa ei havaittu hitsausvireitä, hitsi päätettiin tutkia tunkeumanestetarkastelulla säröjen varalta. Tunkeumanestetarkastelussakaan hitsausvirheitä ei havaittu (Kuva 48).



Kuva 48. Tulistimen sidehitsauskoe 2. hitsausvirtana 75 ampeeria, esilämmitetty putki vesitäytöllä sekä tunkeumanestetarkastelulla.

8.3.3 Hitsauskoe 3

Hitsauskokeessa 3. tehtiin vesitäytetyllä putkella ilman esilämmitystä ja hitsausalue puhdistettiin samalla tavalla, kuin edellisissä tulistimen sidehitsauksissa. Hitsausvirtana hitsauskokeessa käytettiin 80 ampeeria ja hitsausvirran nostolla yritettiin kompensoida puuttuvaa esilämmitystä. Hitsauskokeessa puuttuvan esilämmityksen vaikutusta itse hitsiin tai hitsaukseen ei havittu. Hitsi näyttää silmämääräisessä tarkastuksessa onnistuneelta ja muutama tummempi piste hitsissä eivät ole hitsausvirheitä vaan johtuvat puutteellisesta kuonan poistosta (Kuva 49).



Kuva 49. Tulistimen sidehitsauskoe 3. hitsausvirtana 80 ampeeria, esilämmittämätön putki vesitäytöllä ja vasarointi suoritettu toiselta puolelta.

Hitsausvirtaa nostattaessa hitsauksen aikana hitsauspuikko kului aikaisempia kokeita huomattavasti nopeammin, vaikka hitsi oli hieman kapeampi. Ainut selitys kapeammalle hitsille ja kuluneemmalle lisäaineelle voi olla, joko syvempi tunkeuma tai lisäaineen siirtyminen siteen ja putken väliin. Tätä ei kuitenkaan voida todeta ilman metallografisia tutkimuksia.

Lisäksi hitsauskokeessa tutkittiin, kuinka hyvin onnistunut hitsi kiinnittää tulistimen siteen tulistinputkeen yhdeltä sivulta hitsattaessa. Hitsaamaton puoli tulistimen siteestä oli

pienellä pistehitsillä kiinnitetty tulistimen putkeen, joka ei rakenteellista lujuutta testattuun hitsiin tuonut (kuva 50). Hitsiin lyötiin 10 kertaa todella napakasti, jonka jälkeen tulistimen siteen pinnassa todettiin iskun jälkiä. Silmämääräisessä tarkastuksessa hitsissä ei todettu virheitä.



Kuva 50. Tulistimen sidehitsauskoe 3. hitsausvirtana 80 ampeeria, esilämmittämätön putki vesitäytöllä ja vasarointisuoritettu tältä puolelta.

8.3.4 Hitsauskoe 4

Hitsauskokeessa 4. tehtiin vesitäytetyllä putkella ilman esilämmitystä ja hitsausalue puhdistettiin samalla tavalla, kuin edellisissä tulistimen sidehitsauksissa. Hitsausvirtana hitsauskokeessa käytettiin 70 ampeeria. Aikaisempiin vesitäytteisiin kokeisiin nähden vedenpintaa putkessa laskettiin hieman, jotta vältetään veden ylivuotovaara kokeen aikana.

Verrattaessa tätä hitsauskoetta ja hitsauskoe 1. hitsejä, tässä kokeessa hitsin leveys oli suurempi, vaikka hitsausparametrit olivat samat (Kuva 51). Tähän johtaneita syitä olivat puuttuva esilämmitys ja vesitäytteinen putki. Hitsausalue pysyi hieman viileämpänä, mutta lämmönhallintaa varten hitsausnopeutta ei tarvinnut laskea paljoa, jolloin hitsi oli hyvin hitsattavissa. Hitsi näytti silmämääräisessä tarkastuksessa onnistuneelta. Tässä hitsauskokeessa suoritettiin myös vasarointi ylhäältäpäin ja silmämääräisessä tarkastuksessa hitseissä ei havaittu virheitä.



Kuva 51. Tulistimen sidehitsauskoe 4. hitsausvirtana 70 ampeeria, esilämmittämätön putki vesitäytöllä ja vasarointisuoritettu ylhäältäpäin.

8.3.5 Hitsauskoe 5

Hitsauskokeessa 5. tehtiin vesitäytetyllä putkella ilman esilämmitystä ja hitsausalue puhdistettiin samalla tavalla, kuin edellisissä tulistimen sidehitsauksissa. Hitsausvirtana hitsauskokeessa käytettiin 60 ampeeria. Virran pudottamista täytyi hieman kompensoida hitsausnopeuden laskulla, jolloin lisäainetta kertyi nopeaan hitsausnopeuteen verrattuna hitsiin enemmän (Kuva 52). Lisäaineen kertyminen kasvatti hitsikupua ja silmämääräisessä tarkastuksessa kuvun koko saattoi olla hieman ylisuuri. Ylisuuri kupu ei nosta hitsin lujuusominaisuuksia vaan haittana ovat ainoastaan lisäainekustannukset. Tässä hitsauskokeessa lisäaineen kulutuksella ei ollut merkitystä, sillä jokaiseen kokeeseen käytettiin uusi hitsauspuikko.



Kuva 52. Tulistimen sidehitsauskoe 5. hitsausvirtana 60 ampeeria, esilämmittämätön putki vesitäytöllä.

8.3.6 Hitsauskoe 6

Hitsauskokeessa 6. tehtiin vesitäytetyllä putkella ilman esilämmitystä ja hitsausalue puhdistettiin samalla tavalla, kuin edellisissä tulistimen sidehitsauksissa. Hitsausvirtana hitsauskokeessa käytettiin 65 ampeeria. Hitsi näytti silmämääräisessä tarkastelussa muuten hyvälle, mutta siinä havaittiin sama ongelma, kuin hitsauskokeessa 5. Hitsausvirran 5 ampeerin nostolla ei ollut riittävää vaikutusta, jotta hitsausnopeutta olisi voitu nostaa riittävästi, jolloin hitsikupu kasvoi liian suureksi. Tulistimen sidehitsauksen yhteenveto on esitetty taulukossa 17.



Kuva 53. Tulistimen sidehitsauskoe 6. hitsausvirtana 65 ampeeria, esilämmittämätön putki vesitäytöllä.

Taulukko 17. Tulistimen sidehitsausten tulosten yhteenveto

Hitsauskoe	Tärkein muuttuja/muuttujat	Vaikutukset	Lopputulos
1	Esilämmitys, vasarointi ja hitsausvirta 70 amp.	Koehitsaus	Hitsin keskelle muodostui huokonen, vasaroinnilla ei vaikutusta hitseihin ja muihin hitsauskokeisiin verrattuna hitsi on epäonnistunut
2	Esilämmitys, vesitäyttö ja hitsausvirta 75 amp.	Vesi laajeni putkessa ja valui hitsin päälle	Hitissä ei virheitä tunkeumanestetakastelussa
3	Vesitäyttö, hitsattu vain yhdeltä puolelta, vasarointi ja hitsausvirta 80 amp.	Lämpö siirtyi hitsatessa hitsistä veteen	Hitsi on onnistunut, lämmönsiirtyminen ei näy hitsissä ja vasaroinnilla ei ollut vaikutusta hitsiin
4	Vesitäyttö, vasarointi ja hitsausvirta 70 amp.	Lämpö siirtyi hitsistä veteen ja hitsausvirta alhaisempi kuin hitsauskoe 3.	Hitsin leveys kasvoi ja vasaroinnilla ei ollut merkitystä hitseihin
5	Vesitäyttö ja hitsausvirta 60 amp.	Lämpö siirtyi hitsistä veteen ja hitsausvirta 10 amp. alhaisempi kuin hitsauskoe 4.	Hitsin leveys ja korkeus kasvoi huomattavasti verrattuna hitsauskoe 4. hitsikupu hieman ylisuuri
6	Vesitäyttö ja hitsausvirta 65 amp.	Lämpö siirtyi hitsistä veteen ja hitsausvirta 5 amp. alhaisempi kuin hitsauskoe 4.	Hitsi on hitsauskoe 5. kaltainen hitsi

9 YHTEENVETO

Hitsausenergian määrällä on suuri vaikutus hitsin laatuun. Valitsemalla hitsausparametrit oikein saadaan hitsiin hyvä määrä hitsausenergiaa, jolloin hitsauksen aikana hitsisulan hallinta helpottuu ja hitsin muodosta tulee laadukas. Valitsemalla liian matala hitsausenergia hitsin muodosta ei tule jouhevaa ja levitystä joudutaan pienentämään, että hitsattava alue pysyy lämpöisenä. Jos hitsattava alue ei ole riittävän lämmin tunkeuma pienenee ja liitosvirheen riski kasvaa. Lisäksi liian matalalla hitsausenergialla hitsauksen aikana syntyy roiskeita. Liian suurella hitsausenergialla hitsatessa hitsisulan hallinta on vaikeampaa ja hitsisula alkaa valua.

Lisäaineiden ero ei ollut suuri puikkohitsauksen kannalta. Vertailemalla Sadvikin ja Lincoln Electricin lisäaineita, niin suurin ero oli puikon päällysteen materiaalin

käyttäytymisessä hitsauksen aikana. Ammattihitsaaja huomaa hitsauksen aikana syntyvän eron, mutta muutaman koehitsin jälkeen vaikutusta ei ole havaittavissa hitsin laadussa.

Hitsausprosessin valinnalla ikkunapalan tiivistyshitsaukseen puikko- ja TIG- hitsauksen välillä ei ollut laadullista eroa käytetyissä tarkastus menetelmissä. Silmämääräisessä tai tunkeumanestetarkastelussa ei havaittu virheellistä hitsiä, mutta tunkeuman syvyyttä ei voitu määrittää. Tunkeuman syvyydeksi on määrätty kyseisessä hitsissä 100 % ja TIG-hitsillä se on helpompi hitsata. Lisäksi TIG- hitsin jälki ei vaadi jälkikäsitelyä.

Hitsausasunnoissa hitsausohjeiden noudattaminen on tärkeää, koska hitsaussuunnan valinta vaikuttaa hitsikuvun muotoon ja hitsin lujuusominaisuuksiin. Työmaa-asennuksissa on hitsauskohteita, joissa pystyhitsi ylhäältä alaspäin on helpompi hitsata kuin alhaalta ylöspäin. Hitsauskoetulosten perusteella pystyhitsiä alaspäin tulisi välttää, jos ainut syy hitsille on hitsaajan työn helpottaminen tai nopeuttaminen. Hitsaussuunnan vaihtaminen ylhäältä alaspäin kasvattaa merkittävästi hitsin halkeaman mahdollisuutta, kun hitsikuvun muoto muuttuu koveraksi. Lisäksi lisäaineiden valmistajat ovat määritelleet osalle tuotteista hitsausasennot ja näitä ohjeita tulee noudattaa hitsaustyön suorituksissa.

Hitsausohjeiden käytöllä pyritään varmistamaan laadukkaiden hitsien valmistusta. Hitsaustyöohjeiden hitsauskokeet suoritetaan yleisesti konepajalla, mutta työmaa-asennuksilla olosuhteet voivat poiketa merkittävästi. Asennustyömailla vaikuttavia tekijöitä hitsauksen laatuun verrattuna konepajaan ovat esimerkiksi lämpötila, kosteus ja puhtaus. Toisaalta kattiloiden rakenne aiheuttaa hitsaustyöhön haasteita. Esimerkkinä voidaan pitää tulistimen sidehitsausta, jossa tulistinputki voi olla täynnä vettä, joka jäähdyyttä hitsiä, kun lämpö siirtyy nopeasti hitsistä veteen. Tämän kaltaisiin tilanteisiin kaikki hitsausohjeet eivät ota kantaa. Hitsauskokeen perusteella hitsattavuus parani, kun hitsausvirran asetusarvo nostettiin hitsausohjearvon yläpuolelle. Tämä hitsauskokeeseen perustuva tuntuma ei kuitenkaan takaa, että hitsistä tulisi laadukkaampi verrattuna hitsausohjeisiin vaan hitsatut koekappaleet pitäisi tutkia metallografisilla tutkimuksilla.

Asennustyömaalla hitsaustyöskentelyn vaatimustasoa nostavat hitsausympäristöntekijät kuten kosteus, jatkuva veto ja rikki. Kattilan käydessä kattilarakennus on lämmin sisältä, mutta alasajon jälkeen kattilarakennus alkaa hiljalleen jäähtyä, koska kattilarakennusta ei

lämmitetä seisokin aikana. Täten ilmassa oleva kosteus alkaa tiivistyä kylmissä olosuhteissa viileämmän metallin pinnalle. Tiivistymisen määrä riippuu ilmassa olevasta kosteudesta. Kosteutta ei hitsatessa sallita, koska kosteus aiheuttaa huokoisuutta. On siis tärkeää, että hitsattavat pinnat ja hitsauslisäaineet ovat kuivia.

Kattilarakennuksen korkeudesta johtuen kattilan sisällä on niin kutsuttu ”savupiippu ilmiö”, missä lämmin ilma nousee ylöspäin aiheuttaen jatkuvaa vetoa. Veto vaikuttaa vain TIG- hitsauksen suojakaasun toimintaan siirtämällä suojakaasua pois hitsauskohdasta hitsauksenaikana, jolloin hitsi voi päästä kosketuksiin hapen kanssa aiheuttaen hitsiin huokoisuutta. Vedon vaikutusta voidaan vähentää rakentamalla hitsausalueelle suojaseinämiä.

Kattilan polttoaineet sisältävät lähes aina rikkiä ja pieni osa rikistä voi päätyä polton aikana kattilahuoneeseen. Esimerkkinä voidaan käyttää soodakattilassa tapahtuvaa lipeänsyöttöhäiriötä, jolloin lipeäruiskujen suutinaukosta takatuli puhaltaa tulipesästä ulospäin. Samalla kuivunutta mustalipeää lentää räjähdysmäisesti kattilahuoneeseen ja takatuli puhaltaa myös rikkiä kattilahuoneenilmaan. Rikki päätyy lopulta tasojen pinnoille ja seisokin eristeidenpurkutöissä pölymäinen rikki alkaa taas leijaila kattilahuoneenilmassa. Huonosti puhdistetuilla pinnoilla on riski sisältää rikkiä ja kun rikkiä seostuu liikaa hitsisulaan aiheuttaa se kuumahalkeamia.

Ikkunahitsauksen tiivistyspalan valmistuksessa tiivistyspala on hyvä mitoittaa oikean kokoiseksi ennen hitsausta. Lisäksi ylikavennettu tiivistyspala on mahdollista asentaa keskilinjasta himan sivuun, jolloin toinen puoli railosta on oikean kokoinen ja toinen ylisuuri. Ylisuuret railot kuluttavat hitsauksen aikana lisäaineen railon täyttöön jolloin hitsin a- mitta jää vajaaksi ja vaatii lisähitsin juuri hitsatun hitsin päälle. Hitsaamalla sama kohta kahdesti lisäaineen kulutus nousee sekä puhdistamiseen ja uudelleen hitsaukseen käytetty aika lisääntyy. Kahdesti hitsatun hitsin vaikutus voidaan huomata nousseissa lisäaineen kustannuksissa ja asennustyöhön kuluneessa kokonaisajassa.

Tiivistyspalan koko kasvaa hitsauksen aikana lämpölaajenemisen vaikutuksesta. Jos tiivistyspalasta on valmistettu liian pieni, hitsauksen jälkeen tiivistyspalan alkaessa jäähtyä tiivistyspala kutistuu alkuperäiseen kokoonsa. Tiivistyspalan kutistuessa

seinäpaneelirakenne yrittää estää kutistumista ja muodostaa hitsiin vetojännityksiä. Vetojännitykset voivat olla niin vahvoja, että murtavat lopulta hitsit. Hitsauskokeissa vetojännitysten osoittaminen olisi ollut vaikeaa, koska seinäpaneelin rakenne oli pienikokoinen eikä vastannut voimiltaan oikeaa kattilaseinäpaneelia.

TIG- hitsauksen tunkeumakokeissa hitsin tunkeuma ei läpäissyt pinnoitetta yhdessäkään kokeessa. Kokeissa ei käytetty hitsauskoneen taukotoimintoa, jolloin hitsaus oli jatkuvaa kokeen aikana. Jos hitsauskoneen taukotoimintoa käytetään, antaa se mahdollisuuden suurempaan lämmöntuontiin, joka vaikuttaa tunkeuman syvyyteen. Tunkeumakokeen tulokset eivät ole vertailtavissa, jos taukotoimintoa käytetään hitsauksen aikana ja osaamattoman hitsaajan käsissä pinnoitteen läpäisy on mahdollinen ja ei toivottu tulos.

Hitsaaminen on kädentaitoa vaativa työ, jossa materiaalin ominaisuuksien ymmärtäminen on tärkeää laadukkaan hitsin saamiseksi. Kattiloissa käytettävien teräslaatuojen haasteellinen hitsattavuus, kuten tulistimen sidehitsauksessa johtuu materiaalien kemiallisesta koostumuksesta. Teräslaadut on suunniteltu olosuhteisiin, missä korroosion vaikutus on suurta. Vaikeasti hitsattavien terästen hitsausliitoksissa toisinaan tulee hitsausvirheitä ja niiden välttäminen voi olla haastavaa, mutta kokenut ja osaava hitsaaja kykenee ymmärtämään hitsausvirheiden syntymekanismien ja tekemään korjaavia toimenpiteitä. Korjaavat toimenpiteet voivat olla esimerkiksi käsialan muutos, hitsausnopeuden laskeminen tai nostaminen sekä hitsausvirran säätäminen.

Hitsaajien suurimpaan osaamiseen vaikuttavat taidolliset erot selviävät hitsauksen aikana. Hitsaajat, jotka hitsaavat ohjeistuksien mukaan ja yrittävät parhaansa eivät aina yllä hitseissä riittävälle laadutasolle, kun hitsataan vaikeasti hitsattavia materiaaleja. Hitsaajat, jotka hitsaavat laadullisesti parempaa hitsiä noudattavat ohjeistusta ja lisäksi ymmärtävät hitsaukseen vaikuttavia tekijöitä ja pohtivat miten erilaiset hitsauksen säätöparametrit vaikuttavat hitsattavuuteen sekä materiaalien käyttäytymiseen. Hitsaajan hyväksytysti suorittamat pätevyyskokeet eivät takaa automaattisesti laadukasta hitsiä asennustyömaalla. Asennustyömaalla on lähes aina koehitsaamoja haasteellisemmat työolosuhteet johtuen kosteudesta, ympäristöön kertyneestä liasta, epäergonomisista työasunnoista ja nopeammasta työtahdistä.

Lisähuomiona hitsauskokeista havaittiin hitsauspuikkojen oikeinlainen säilytys. Osa hitsauspuikoista oli väärin säilytetty ja sisälsivät kosteutta. Kosteilla puikkohitsauksen lisäaineilla hitsaamista tulee välttää hitsausvirheiden estämiseksi ja kiinnittää tarkkaavaisuutta lisäaineiden oikeaoppiseen käsittelyyn. Puikkohitsauksen lisäaineet tulee aina olla kuivattuja kuivausuunissa sekä säilyttää säilytyskaapissa ja käyttöön otetaan vain pieni erä kerrallaan työmaalle puikkosäiliöön. Käyttämättömät hitsauspuikot palautetaan säilytyskaappiin tai tarvittaessa kierrätetään kuivausuunin kautta säilytyskaappiin.

Tämän työn hitsauskokeista saadut tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia asennustyömaan hitsauksiin, koska kokeissa käytetyt materiaalit olivat uusia ja puhtaita, jolloin puhdistuksen tarve oli minimaalista. Lisäksi hitsausolosuhteet olivat täydelliset ja hitsaustyöt oli mahdollista hitsata ergonomisissa asennoissa. Hitsauskokeista saatuja tuloksia tullaan käyttämään sovelletusti vanhojen asennushitsaustyöohjeiden päivitykseen sekä mahdollisena pohjana uusiin hitsauskokeisiin. Tulevaisuudessa kannattavia jatkotutkimuksia olisi tukia eri hitsaajien käsialan vaikutusta ikkunapalan tiivistyshitsaukseen, käyttää tulistimen sidehitsauksessa kattilassa ollutta tulistinputkea ja selvittää käytetyn tulistinputken puhdistushionnan minimimäärä tulistimen siteen hitsaukselle, koska ylimääräinen hionta kuluttaa tulistinputken seinämän paksuutta heikentäen tulistinputken vahvuutta.

LÄHDEVIITTEET

AGA. 2013a. Suojakaasukäsikirja [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.4.2018]. 53 s. Saatavilla: https://www.google.fi/search?q=suojakaasun+tehtävä+hitsauksessa&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab&gfe_rd=cr&dcr=0&ei=UAwUWqXuEaj67gTq0J2AAg

AGA. 2013b. Ruostumattoman teräksen MIG/MAG- hitsaukseen. [verkkodokumentti]. [Viitattu 17.4.2018]. 16 s. Saatavilla: http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20Stainless%20Steel%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%20105x210%20FI634_122435.pdf?v=1.0

Ala-Outinen, T. Myllymäki, J. Baroudi, D. Oksanen, T. 2001. Ruostumaton teräs tulipalolle altistetuissa rakenteissa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. s, 65. ISBN 951-38-5914-2

Anderson Sixten. 2018. Welding requirements & defects. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 16.4.2018]. 41 s.

Avery R, E. Parson D. 1995. Welding stainless and 9 % nickel steel cryonic vessels. [Welding journal]. [Viitattu 21.5.2018]. Julkaistu marraskuussa 1995. Saatavilla: http://www.nipera.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/WeldingStainlessand9_NickelSteelCryogenicVessels_14037_.pdf

Elga. 2018. Cromarod 309MoL. [verkkodokumentti]. [Viitattu 27.4.2018]. Saatavilla: [http://www.elga.se/consumables/product/index/category/COVERED%20\(STICK\)%20ELECTRODES%20\(SMAW\)/sub-category/Stainless%20Steel/product/Cromarod%20309MoL](http://www.elga.se/consumables/product/index/category/COVERED%20(STICK)%20ELECTRODES%20(SMAW)/sub-category/Stainless%20Steel/product/Cromarod%20309MoL)

European steel and alloys. 2018. 10CrMo9-10. [European steel and alloys www-sivut]. [Viitattu 17.5.2018]. Saatavilla: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=447

Esab 2009. Kuumalujaa hitsausta. [verkkodokumentti]. [Viitattu 24.4.2018]. 32 s. Saatavilla: <http://www.esab.fi/fi/fi/news/hitsausuutiset/upload/hu-1-09.pdf>

Esab. 2018a. Puikkohitsaus. [Esab www-sivut]. [Viitattu 23.4.2018]. Saatavilla: <http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/puikkohitsaus.cfm>

Esab. 2018b. TIG- hitsaus. [Esab www-sivut]. [Viitattu 23.4.2018]. Saatavilla: <http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/tig-hitsaus.cfm>

Das S, K. Godiwalla K, M. Mehrotra S, P. Sastry K, K, M. Dey P, K. 2006. Analytical model for erosion behaviour of impacted fly- ash particles on coal- fired components. [Springer journals]. [Viitattu 23.5.2019]. Julkaistu 15 kesäkuussa 2005. Saatavilla: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02715915>

Grönmark Janne, Kupari Jussi. 2018. Asennuspalaveri 2018. [Seminaari 22.2.2018]. [Viitattu 20.4.2018]

Huhtinen, M. Kettunen, A. Nurminen, P. Pakkanen, H. 2004. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Edita Prima Oy. 379 s. ISBN: 951-37-3360-2

Kiwa Inspecta. 2018. Hitsauksen laadunvarmistus. [verkkodokumentti]. [Viitattu 25.4.2018]. Saatavilla: https://www.inspecta.fi/_pdf/fi/8ca56af5-6669-4e2c-88f7-24c55850498b/Hitsauksen%20laadunvarmistus%20%28ISO%203834%29%20-%20Kiwa%20Inspecta.pdf

Johansson Michelle, Olsson Kajsa 2018. NDT. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 18.4.2018]. 69 s.

Jörgenssen Hans. 2018. Material selection. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 24.4.2018]. 34 s.

Kammerlind Magnus. 2018a. Inspection of recovery boilers with mechanical aspects. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 13.4.2018]. 49 s.

Kammerlind Magnus. 2018b. Preparatory work. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 17.4.2018]. 19 s.

Korinko P, S. Malene S, H. 2001. Considerations for the weldability of types 304L and 316L stainless steel. [Springer journals]. Julkaistu 9.3.2001. [Viitattu 24.5.2018]. Saatavilla: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02715336>

Kupari Hannu, Savinainen Kari. Asennushitsaus. [Koulutus 7-9.11.2017]. [Viitattu 20.4.2018]

Kupari Jussi. 2018. Kuvia liittyen työmaa-asennukseen. [Viitattu 17.4.2018]. Vastaanotettu 12.4.2018.

Knowenergy. 2018. Keittoputkisto. [Internet lähde]. [Viitattu 17.5.2018]. Saatavilla: http://www.knowenergy.net/suomi/monipolt_t_kattilat/7_lammonsiirtimet/fr_text.htm#3

Lahtinen Timo. 2018. Tulistimen sidehitsaus. [Puhelinhaastattelu 20.4.2018]. [Viitattu 20.4.2018]

Lepola, P. Ylikangas, R. 2016. Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet. Helsinki: Sanoma Pro Oy. 415 s. ISBN: 978-952-63-1612-3

Lincoln Electric. 2018. NiCro 31/27. [Lincoln Electric www-sivut]. [Viitattu 26.4.2018]. Saatavilla: [http://www.lincolnelectric.com/en-gb/consumables/Pages/product.aspx?product=Products_ConsumableEU_StickElectrodes-NiCro-NiCro31-27\(LincolnElectric_EU_Base\)](http://www.lincolnelectric.com/en-gb/consumables/Pages/product.aspx?product=Products_ConsumableEU_StickElectrodes-NiCro-NiCro31-27(LincolnElectric_EU_Base))

Mascalò N, Koltz R, Sigler S. 2016. Consumable Corners: Understanding welding heat input and its effects on base materials. [Thefabricator.com www-sivut]. Julkaistu 28.3.2016. [Viitattu 26.1.2018]. Saatavilla: <https://www.thefabricator.com/article/consumables/consumables-corner-understanding-welding-heat-input-and-its-effects-on-base-materials>

Metsä Groupin Viesti. 2014. Tammi- kesäkuun liikevaihto viimevuotisella tasolla. [Viitattu 16.4.2018]. lehtinumero 3, 12 s.

Mäkelä Kari. 2018. When repair vs when wait for next shutdown. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 13.4.2018]. 22 s.

Metallinjalostajat ry. 2003. Teräskirja. Helsinki: Metallinjalostajat ry. 76 s. ISBN: 951-817-807-0

Nafari Anna. 2017. Feilure mechanisms. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 13.4.2018]. 10 s.

Oakley Steel. P265GH pressure vessel plate. [Oakleysteel www-sivut]. [Viitattu 13.2.2018]. Saatavilla: <http://www.oakleysteel.co.uk/pressure-vessel-steel-plate/p265gh-pressure-vessel-steel-plate>

Olfsson Jan. 2018. BFB and CFB boilers. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 13.4.2018]. 76 s.

Outokumpu. Therma 310S/4845. [Outokumpu www-sivut]. [Viitattu 14.2.2018]. Saatavilla: <http://steelfinder.outokumpu.com/Properties/GradeDetail.aspx?OKGrade=4845&Category=Therma>

Packard K. 2012. Metallurgy for welders. [Thefabricator.com www-sivut]. Julkaistu, 25.5.2012. [Viitattu 25.4.2018]. Saatavilla: <https://www.thefabricator.com/article/metalsmaterials/metallurgy-for-welders>

Sandvik 2018a. Sandvik Sanicro 38/4L7. [verkkodokumentti]. [Viitattu 13.2.2018]. Saatavilla: <https://www.materials.sandvik/contentassets/1a283c301e094421b1feac664f21029e/s-12126-eng-2003-02.pdf>

Sandvik 2018b. Sandvik 27.31.4.LCuR. [Sandvik www-sivut]. [Viitattu 26.4.2018]. Saatavilla: <https://www.materials.sandvik/fi-fi/tietopankki/materiaalien-aineslehdet/welding-products/covered-electrodes/sandvik-27-31-4-lcur-16/>

Salmi Kalle. 2017. Havaintoja kattiloista sekä sooda että leijut. [Seminaari 22.11.2017]. [Viitattu 20.4.2018]. 77 s.

Seppälä, E. 2007. Hitsaajan käsikirja. Tampere: Impomet Oy. 179 s. ISBN: 978-951-95476-6-4

Standardit ja julkaisut. 2018. SFS Kauppa. [SFS Kauppa www-sivut]. [Viitattu 16.4.2018]. Saatavilla: <https://sales.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Tarkastusraportti RB2. 10.4.2016. Soodakattilan tarkastus RB2. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 23.4.2018]. 59 s.

Tarkastusraportti RB4. 19.1.2016. Soodakattilan tarkastus RB4. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 23.4.2018]. 86 s.

Tukes. 2018. Mitkä ovat vaatimukset pysyviä liitoksia tekeville henkilöille ja menetelmille painelaiteturvallisuuspäätöksen asennus-, korjaus- ja muutostöissä? [Tukes www-sivut]. [Viitattu 16.4.2018]. Saatavilla: <http://www.tukes.fi/fi/Palvelut/Usein-kysyttya-UUSI/Painelaitteet/Valmistus/>

Tuthill A, H. Avery R, E. 1993. Corrosion behavior of stainless steel and high- alloy weldments in aggressive oxidizing environments. [Supplement to the welding journal]. Julkaistu helmikuussa 1993. [Viitattu 23.5.2018]. Saatavilla: http://files.aws.org/wj/supplement/WJ_1993_02_s41.pdf

Valmet 2017a. Liiketoiminnat. [Valmet www-sivut]. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavilla: <http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/liiketoiminnat/>

Valmet 2017b. Valmet lyhyesti. [Valmet www-sivut]. [Viitattu 25.11.2017]. Saatavilla: <http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>

Valmet 2017c. Yhteystiedot. [Valmet www-sivut]. [Viitattu 8.12.2017]. Saatavilla: <http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/yhteystiedot/>

Wallin Erik. 2018. Recovery boiler. [Valmetin sisäinen koulutusmateriaali]. [Viitattu 13.4.2018]. 54 s.



SANDVIK 27.31.4.LCuR COVERED ELECTRODES

DATASHEET

Sandvik 27.31.4.LCuR-16 (383-16) is a covered electrode of AWS 383-16 type with rutile-basic coating and normal metal recovery for welding of high-alloy austenitic stainless steels of UNS S08028 (e.g. Sanicro 28) and Alloy 825 type (e.g. Sanicro 41).

STANDARDS

- ISO 3681: 27 31 4 Cu L R
- AWS A5.4/ASME SFA-5.4: E(383)-16
- W.Nr.: (1.4663)*

PRODUCT APPROVALS

TÜV

Please note that the Werkstoff Nr. corresponds to the base material of the grade.

*nearest equivalent

CHEMICAL COMPOSITION (NOMINAL) %

Chemical composition (nominal) %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
≤0.026	0.8	1	27	31	3.6	1.5

APPLICATIONS

Sandvik 27.31.4.LCuR-16 (383-16) is suitable for joining highly alloyed fully austenitic stainless steels, such as EN 1.4663 (Sanicro 28) and Alloy 825 (Sanicro 41), which have high corrosion resistance in sulfuric and phosphoric acids and excellent pitting resistance in acid solutions containing chlorides and fluorides, such as sea water.

This electrode can be used for surfacing mild and low alloy steels to give protection against pitting corrosion in chloride-containing solutions.

FORMS OF SUPPLY

Diameter, mm	Length, mm	Diameter, in.	Length, in.
2.60	360	~3/32	~14
3.2	360	~1/8	~14
4.00	360	~5/32	~14

The electrodes are delivered in hermetically sealed metal cans.

WELD METAL CHARACTERISTICS

LIITE 2: Hitsauslisäaine Cromarod 309MoL



Cromarod 309MoL

SMAW - (Stick) - MMA
Stainless Steel

Date: 2016-11-10
Revision: 23

Description:

Cromarod 309MoL is a rutile flux coated electrode which deposits a 23% Cr / 12%Ni / 2.5%Mo austenitic stainless steel weld metal. The high alloy content and ferrite level enable the weld metal to tolerate dilution from dissimilar and difficult-to-weld materials without hot cracking or brittle structures.

Applications:

- Dissimilar joints between stainless and mild, low alloy or medium carbon steels.
- Buffer layers on mild and low alloy steels prior to overlaying with Cromarod 316L.
- Interface runs in 316L clad steels.
- Joining of medium carbon hardenable steels e.g. armour plate..

Welding positions:



Coating type:

Rutile

Welding current:

DC+, AC OCV > 39V

Ferrite content:

FN 20 (WRC-92)

Corrosion resistance

The corrosion resistance after surfacing carbon steels with two layers of Cromarod 309MoL is about the same as for 316L material.

Scaling temperature:

Approx. 1000 °C in air.

Redrying temperature:

350 °C, 2h

Chemical composition, wt. %

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Min			0,5			22,0	12,0
Typical	0,02	0,8	0,8	0,02	0,02	22,8	12,8
Max	0,030	0,90	2,0	0,025	0,025	25,0	14,0

	Mo	Cu	V	Nb
Min	2,0			
Typical	2,4			
Max	3,0	0,5	0,1	0,1

Mechanical properties

	Specified	Typical
Yield strength, Rp0.2%:	≥ 350 MPa	555 MPa
Tensile Strength, Rm:	≥ 560 MPa	680 MPa
Elongation, A5	≥ 30%	33%
Impact energy, CV:	-20 °C • ≥ 29 J	-20 °C • 50 J

Classification:

AWS A5.4 E 309MoL-17
ISO 3581-A E 23 12 2 L R 32

Approvals:

CE
ABS
DNV
DB Kennblatt Nr. 30.042.03
RINA
TÜV

Note

Core wire:
P ≤ 0.020%
S ≤ 0.015%
N ≤ 0.080%

Produkti data:

Diam.mm	Length mm	Product code	Current A	Voltage V	Kg weld metal/ kg electrodes	No. of electrodes/ kg weld metal	Kg weld metal/ hour arc time	Burn-off time/ electrode (sec.)
2,0	300	74342000	35-60	26	0,63	135	0,7	33
2,5	300	74342500	40-80	27	0,64	84	1,1	36
3,2	350	74343200	80-120	28	0,65	43	1,5	42
4,0	350	74344000	100-160	29	0,65	29	2,1	55
4,0	450	74344045	100-160	29	0,65	23	2,1	70
5,0	450	74345000	150-220	30	0,67	13	3,1	79

NiCro 31/27

CLASSIFICATION

AWS A5.4	E383-16*	A-Nr	9	Mat-Nr	1,4563
ISO 3581-A	E 27 31 4 Cu L R 12	F-Nr	5		
* nearest classification		9606 FM	5		

GENERAL DESCRIPTION

A rutile-basic all position fully austenitic NiCrMoCu electrode
 Especially for phosphoric and sulphuric acid plants
 Designed for Mo and Cu alloyed high NiCr-alloyed grades
 Very smooth bead appearance and easy slag release
 Also approved for welding dissimilar metals for service up to 450°C
 High resistance to pitting (PREN -40)

WELDING POSITIONS (ISO/ASME)



CURRENT TYPE

AC/DC +

APPROVALS

TÜV

+

CHEMICAL COMPOSITION (W%), TYPICAL, ALL WELD METAL

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe	FN (acc.WRC 1992)
0.02	0.8	0.9	221	31.0	3.5	0.9	bal.	0

MECHANICAL PROPERTIES, TYPICAL, ALL WELD METAL

		Condition	0.2% Proof strength (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Impact ISO-V(J) +20°C
Required: AWS A5.4 ISO 3581-A Typical values		AW	not required min. 240 440	min. 520 min. 500 640	min. 30 min. 25 38	not required not required 70

PACKAGING AND AVAILABLE SIZES

		Diameter (mm)	Length (mm)
		2.5	350
		3.2	350
		4.0	350
PE-Tube	Pieces / unit	91	66
	Net weight/unit (kg)	1.8	2.0

Identification Imprint: NiCro 31/27 Tip Color: orange

NiCro 31/27: rev. C-EN05-09/07/16

All information in this data sheet is accurate to the best of our knowledge at the time of printing. Please refer to www.öncoltelectric.eu for any updated information.
 Names: Material Safety Data Sheets (MSDS) are available on our website.