

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Energiatekniikan koulutusohjelma/ Käyttö- ja käynnissäpito

Tommi Ratia

HITSAUKSEN LAADUNHALLINTA JA DOKUMENTOINTI

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka

Tommi Ratia	Hitsauksen laadunhallinta ja dokumentointi
Insinööri	55 sivua + 9 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtori, Jaakko Laine
Toimeksiantaja	Päijät-Hämeen Koulutus konserni
Maaliskuu 2014	
Avainsanat	Hitsaus, Hitsausohje, WPS, Pätevyyskoe,

Työn tarkoituksena on kehittää hitsauksen laadunhallintaa ja dokumentointia Koulutuskeskus Salpauksessa tasolle, joka vaaditaan International Welder -koulutuksen järjestämiseen ja hitsauspätevyysien myöntämiseen. Tason määrittäjänä ja auditoijana toimii International Institute of Finland ja sen alajaosto, Suomen hitsausteknillinen yhdistys.

Työ on toiminnallinen projekti, josta tämä työ on loppuraportti. Päätötyön kirjallisessa osiossa käydään läpi hitsusteoriaa, jota on tarvittu projektin eri vaiheissa. Perinteisen hitsaustekniikan perusesittelyn sijaan työssä on keskitytty kertomaan viimeaikaisen hitsaustekniikan kehittymisen myötä tulleista uusista sovellutuksista. Työn lähteinä on käytetty monipuolisesti niin kotimaassa kuin ulkomailla toimivia hitsauslaitteiden valmistajia.

Työssä käsitellään myös erilaisia laatutyökaluja, kuten Sig-Sigmaa, Lean -ajattelua sekä Total Welding Managementiä. Laatutyökalujen soveltuvuutta vertailtiin hitsaavan tuotannon tarpeisiin. Yhtään laatutyökalua ei otettu sellaisenaan kuitenkaan käytäntöön, vaan eri menetelmistä valittiin osioita sen mukaan, mitkä koettiin kaikkein käytännön läheisemmiksi.

Hitsauksen substanssiosaamisen vahvistamiseksi työn ohessa tehtiin myös joitakin menetelmäkokeita, joiden avulla teoreettisen tiedon toimivuutta kokeiltiin käytännön sovellutuksissa. Projektin lopussa tehtiin myös muutama laatua ja tehokkuutta tarkasteleva koe. Näillä kokeilla mitattiin projektin jo loputtua minkälaisella tasolla valmistuvien opiskelijoiden laadullinen taso ja -tehokkuus ovat.

Työn tavoitteena on ollut, että Päijät-Hämeen koulutus konserni pystyisi strategiansa mukaisesti järjestämään kansainvälisesti vertailtuna huipputasoista koulutusta. Tähän tavoitteeseen päästin kone- ja metallialalla opinnäytetyön johdosta.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences, Energy Engineering

Ratia, Tommi Quality Control and Documentation of Welding

Bachelor's Thesis 38 pages + 8 pages of appendices

Supervisor Lecturer, Jaakko Laine

Commissioned by Lahti Region Educational Consortium

March 2014

Keywords welding, *welding* procedure specification, qualification certificate

The purpose of this thesis was to develop the quality management and documentation of welding at Salpaus Further Education to the level that is required for organizing the International Welder education and for granting the qualification of welding. The level is determined and audited by the Finnish Welding Technical Association.

This thesis is the final report of the project. Welding theory necessary in the different phases of the project is presented in the written section of the thesis. The project focuses on recent developments in welding techniques instead of traditional welding. Both Finnish and foreign manufactures of welding machines have been referred to as sources in the project.

The study also addresses a variety of quality tools, such as the Sig-Sigma, Lean Thinking and Total Welding management. Suitability of the quality tools has been compared to the needs of welding production. However, none of the quality tools were employed as such. Instead, only the most practical parts were chosen for use.

To strengthen the substance skills of welding, a number of methodical tests were made. With the help of the tests the functionality of the theoretical data was tested in practical applications. In addition, a few tests based on quality and efficiency were made at the end of the project. These tests measured the quality and efficiency levels of graduating students.

The aim of this project was that the Lahti Region Educational Consortium could, in accordance with its strategy, organize high-quality education by international standards. This thesis contributed towards achieving the goal.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT LYHENTEET:	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Hitsauksen laadunhallinta Koulutuskeskus Salpauksessa	11
2 HITSUKSEN LAADUNHALLINNAN TYÖKALUJA	12
2.1 Total Welding Management	12
2.2 LEAN	13
2.3 Six Sigma	14
2.4 Six Sigman, Leanin ja Total Welding Managementin vertailu	14
3 MAG-HITSAUS	16
3.1 Oikosulkusiirtyminen	16
3.2 Suihkumainen Siirtyminen, kuumakaari	17
3.3 Pulssihitsaus	17
3.3.1 Kaksoispulssihitsaus	18
3.3.2 CMT-pulssihitsaus	18
3.4 Synergiaohjaus	19
3.5 Jatkuvan jäähtymisen S-käyrään perustava ohjaus	19
4 TIG-HITSAUS	20
4.1 Vaihtovirtahitsaus	20
4.2 TIG-pulssihitsaus	20
4.3 Automaattinen langansyöttö	21
5 PUIKKOHITSAUS	21
6 HITSUKONEIDEN SPESIFIOINTI, VALIDIOINTI JA HUOLTO	22
7 LÄMMÖNTUONTI JA JÄÄHTYMINEN	23
7.1 Lämmöntuonti	23
7.2 Jäähtymisnopeus	25

7.3	Hiiliekvivalentti	27
7.4	UCS-indeksi	27
7.5	Esilämmitysmenetelmiä	27
8	SUOJAKAASUT	29
8.1	Helium	29
8.2	Argon	29
8.3	Hiilidioksidi	29
8.4	Suojakaasun virtausnopeus	30
8.5	Juurikaasu	31
8.6	Juuritahna	33
8.7	Juuriteipit ja -tuot	33
9	HITSAUSLISÄAINEET	34
9.1	Hitsausaineiden käsittely	35
9.1.1	Hitsauslisäaineiden vastaanotto ja tarkastus	35
9.1.2	Hitsauspuikkojen varastointi	35
9.1.3	TIG-lankojen ja MIG/MAG-umpilankakelojen varastointi	36
9.1.4	Uudelleenkuivaus	36
9.1.5	Käytetyt ja tuhoutuneet hitsauslisäaineet	37
10	HITSAUSVIRHEET	37
10.1	Huokokset	37
10.2	Kuonasulkeumat	38
10.3	Liitosvirheet	39
10.4	Vajaa hitsautuminen	39
10.5	Roiskeet ja sytytysvirheet	40
10.6	Imuontelo	40
10.7	Reunahaavat	41
11	RIKKOMATON AINEENKOETUS	41
11.1	Hitsien silmämääräinen tarkastus	41
11.2	Kovuuskoe	42
11.3	Magneettijauhetaarkastus	42
11.4	Tunkeumanestetakastus	42
11.5	Radiograafinen tarkastus	43

11.6 Ultraäänitarkastus	43
12 RIKKOVA AINEENKOETUS	43
12.1 Murtokoe	43
12.2 Taivutuskoe	43
12.3 Iskukoe	44
12.4 Makrohietutkimus	44
13 HITS AUSLAADUN PARANTAMINEN SIX SIGMAN AVULLA	44
13.1 Hitsauksen monitorointi	44
13.2 Hitsaussauman dimensioiden mittaaminen	47
14 MATERIAALINHALLINTA	48
15 HITS AUSOHJE	48
15.1 Hitsauskoneiden standardihitsausohjeet	48
16 PÄTEVYYKSIEN MYÖNTÄMINEN JA HALLINNOINTI	49
16.1 Hitsari Pro -pätevyysien hallintaan	50
17 SIISTI TOIMINTAYMPÄRISTÖ	50
18 LEAN-AJATTELUN TOTEUTUS SALPAUKSEN HITS AUSOSTOLLA	51
18.1 Suoritusvarmuus, koe 1	51
18.2 Hävikin ja hukkan hallinta, koe 2	52
19 YHTEENVETO	52

LIITTEET

- Liite 1. EN 3834 laatuvaatimukset
- Liite 2. Teräksen materiaalitodistus
- Liite 3. Hitsausohje WPS
- Liite 4. Hitsaajanpätevyystodistus
- Liite 5. Hitsauskoneen huoltokortti
- Liite 6. Hitsauskoneen validointi ja kalibrointitodistus
- Liite 7. Hitsauskoneen teknistentietojen spesifiointilista
- Liite 8. Kulkukaavio hitsausohjeen laatimiselle
- Liite 9. Hitsauslisäaineen valintataulukko

KÄYTETYT LYHENTEET:

MAG-Hitsaus	metal active gas welding
MIG-hitsaus	metal inert gas welding
CMT	Cold metal Transfer
S-käyrä	Käyrä teräksen jäähtymisestä lämpötilan ja ajan funktiona
TIG-hitsaus	Tungsten Inert Gas Arc Welding
Hz	Hertsi, taajuuden yksikkö
MMA	Manual Metal Arc, puikkohitsaus
°C	Celsius, lämpötilan yksikkö
2D	kaksiulotteinen
3D	kolmiulotteinen
CEV	Coal equivalent, hiilikvivalentti
IIW	International Institute Of Welding, kansainvälinen hitsauksen kattojärjestö
NDT	Nondestructive testing, rikkomaton aineenkoetus
a-mitta	Hitsaussauman kateetin pituus
Z-mitta	Hitsaussauman poikkileikkauksen paksuus.
HV	Hardness Vickers, kovuuden yksikkö
WPS	A Welding Procedure Specification, hitsausohje
NTP-olosuhde	Normal temperature and pressure
SQL	Structured Query Language
pWPS	Preliminary Welding Procedure Specification, alustava hitsausohje
WPQR	Welding Procedure Qualification Record, menetelmäpöytäkirja
ppm	Part per million ($\%_{0000}$)
UCS	Unit of Crack Susceptibility, kuumahalkeilualttius

1 JOHDANTO

Suomalaisen hitsaustuotannon laadunhallinnan tilaa pidetään tutkimuksen mukaan hyvänä. Laadunhallintajärjestelmä, nimetty ja pätevoidetty hitsauskoordinaattori, sekä hitsaajien pätevoidintijärjestelmä ovat käytössä suurimmassa osassa yrityksistä. Lisäksi Suomi on hitsaushenkilöstön pätevoidinnin suhteen Euroopassa sekä maailmanlaajuisesti kärkimaita. (Leino, Karppi & Hentula 2008, 2.)

Suomalaisista metalliteollisuuden yrityksistä yli 80 % on sertifioitu ISO9001 -laatu järjestelmän mukaan. Koska ISO 9001 luokittelee hitsauksen erikoisprosessiksi, joutuvat hitsaavaa tuotantoa suorittavat yritykset myös täyttämään hitsausta varten laaditun ISO 3834 asettamat laatuvaatimukset. Standardissa ISO 3834 käsitellään systemaattisesti ja kattavasti niitä hitsauksen laatuun vaikuttavia tekijöitä ja toimintoja, joiden avulla voi parantaa tuotantonsa hallittavuutta, laatua ja valmistuksen kustannustehokkuutta. Yrityksen kannalta on tärkeää osata valita oikein taso, jonka mukaan standardien ISO 3834-2...4 esittämiä vaatimuksia lähdetään toteuttamaan, jotta vältytään tarpeettoman raskaalta dokumentoinnista ja ohjeistuksesta. Kuitenkin on kyettävä varmistamaan hitsauksen kokonaisvaltainen laadunhallinta valmistettavien tuotteiden edellyttämällä tavalla. (International Institute of Welding 2010, s.3) (Ala-Kojola, 2013, 32)

Viimeaikainen hitsausalan tutkimustoiminta on painottunut Suomessa mekanisoidun ja automatisoidun hitsauksen, sekä sädehitsausmenetelmien tai hybridihitsausmenetelmien kehittämiseen. Tämä on erittäin tärkeää suomalaisen teknologiateollisuuden kilpailukyvyn kannalta. Kehitystä on tapahtunut viimeisten vuosikymmenten aikana, mutta edelleen hitsaavan teollisuuden yhtenä keskeisenä ongelmana pidetään käsivaraisesti suoritettavan hitsauksen suurta osuutta. (Leino, Karppi & Hentula 2008, 2.) Näkemykseni mukaan tieteellisen tutkimuksen suunta on oikea, mutta perinteisten hitsausprosessien ja käsivaraisen hitsauksen valmistusmenetelmissä on vielä kehitettävää. Työni käsittelee pelkästään käsivaraisesti suoritettavaa hitsausta.

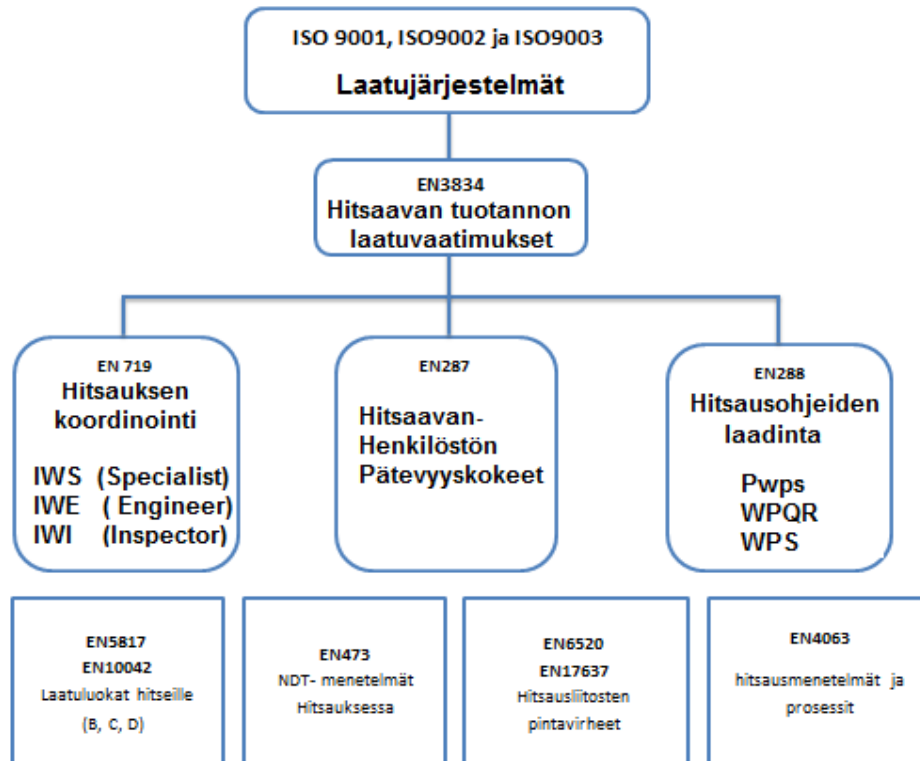
Mekaanisen ja automatisoidun hitsauksen kehittämisestä huolimatta hitsauksen automaatioaste Suomessa on alle 20 %. Automaatioasteen vähäinen määrä vahvistaa käsityksen, että hitsaustuotannon voimakkaastakin kehittymisestä huolimatta käsivaraisesti suoritettavan hitsauksen osuus tulee säilymään merkittävänä myös lähivuosina ja jopa vuosikymmeninä (Leino, Karppi & Hentula 2008, 2.) Automaatioasteen voimakkaankin kasvun jälkeen käsivaraisella hitsauksella on kysyntää muuttuvissa tuotanto-, asennus- ja korjaushitsaustilanteissa. Käsivaraisesti hitsattavaksi jää usein myös korkea osaamista vaativat yksittäiset ja vaativat hitsauskohteet, mikä edelleen vahvistaa tarvetta hitsaajien pätevöintijärjestelmälle.

Hyvä hitsauksen laatu tehdään järjestelmällisellä ja kokonaisvaltaisella laadunhallinnalla. Osa kokonaislaadunhallintaa on laadunvarmistus. Hitsauksen laadunvarmistustoimenpiteet eivät voi rajoittua pelkästään tosiaikaiseen tuotannolliseen toimintaan. Laadunhallinnan tulee olla kokonaisvaltaista ja käsittää mm. hitsausohjeiden laadinnan ja pätevyystodistuksien hallinnoinnin. (Sun 2009, 24.)

Mielestäni jatkuvasti kiristyvässä kilpailussa kokonaisvaltaisella hitsauksen laadunhallinnalla on erittäin suuri merkitys. Valmistajalla on oltava kyky laadukkaaseen toimintaan ja se on pystyttävä osoittamaan yhä enenemissä määrin ennakkoon tilaajalle sekä tarvittaessa alan tarkastuslaitokselle. Tietämykseni mukaan yhdelläkään muulla ammattiryhmällä ei ole yhtä perusteellista ja ennakkoon osaamisen osoittavaa pätevöintijärjestelmää. Hitsaus henkilöstön pätevöinti ulottuu myös muihin alan henkilöstöryhmiin kuin hitsaajiin. Hitsauskoordinaattoreilla, -tarkastajilla ja -insinööreillä on kansainväliset koulutusohjelmat, joita voi suorittaa eritasoisina.

Hitsaukseen liittyviä standardeja, direktiivejä ja asetuksia on useita satoja. Taulukon 1 kulkukaaviossa on esitetty hitsaavaa tuotannon laadunhallintaa käsittelevät ISO-standardit ja niiden riippuvuussuhteet.

Taulukko1: Laatustandardit ja niiden riippuvuussuhteet



Yrityksen laatu järjestelmä ja sen asettamat toimintamallit ovat ylin määräävä taso eikä muut yrityksen laatu käsikirjat ja toimintaohjeet voi olla ristiriidassa ISO9000 sarjaan perustuvan laatu järjestelmän kanssa. Hitsaavassa tuotannossa määräävänä laatu standardina on EN3834, joka määrittelee laatuvaatimukset ja toimintamallit. Myös IW-koulutusta järjestävien organisaatioiden täytyy toimia EN3834 standardin asettaminen vaatimusten edellyttämällä tavalla.

1.1 Hitsauksen laadunhallinta Koulutuskeskus Salpauksessa

Koulutuskeskus Salpaus on osa Päijät-Hämeen koulutus konsernia, joka järjestää toisen- ja kolmannen asteen koulutusta Päijät-Hämeen alueella. Koulutuskeskus Salpauksen metallialaa opiskelee keskimäärin 360 opiskelijaa vuosittain ja vakituista henkilökuntaa on noin 20 kappaletta.

Levy- ja hitsausosastolla annetaan opetussuunnitelman mukaista koulutusta levy- ja hitsaustöistä huomioiden erityisesti lähialueen työelämän tarpeet. Tämänkin insinööri-työn käsittelemä projekti on elinkeinoelämän asettama toive Salpauksen järjestämän koulutuksen kehittämistä. Yritysten kansainvälistymisen ja laatuvaatimusten kasvamisesta johtuen on suurta kysyntää levyseppähitsareista, joilla on voimassa kansainvälisesti tunnetut hitsaajanpätevyyskoetodistukset.

Levy- ja hitsausosastojen laadun kehittämisessä tärkeimmiksi työvaiheiksi asetettiin siisteyden ja järjestyksen parantaminen, lisäaineiden käsittely, laatukäsikirjan laatiminen, koneiden ja laitteiden huoltosuunnitelmien laatiminen, hitsauksenaikaisen laaduntarkkailun kehittäminen, sekä pätevyyskokeiden dokumentoinnin hallinta. Kaikki vaaditut toimenpiteet on listattu liitteeseen 1.

Projektin työllistävän tehtävä oli kirjallisten toimintaohjeiden ja erilaisten dokumentointiin liittyvien raportointipohjien luominen. Kaikesta toiminnasta pitää olla olemassa kirjallinen suunnitelma tai toimintaohje ja todellinen toiminta tulee olla näiden mukaista. Kaikesta toiminnasta pitää ylläpitää dokumentaatiota, jolla pystytään todentamaan tehdyt toimenpiteet jälkikäteen.

Insinööri-työn alussa kerrotaan hitsaustekniikan perusteista ja prosesseista, joista Salpaukseen tulee myöntämään pätevyystodistuksia. Lisäksi käydään läpi teoriaa jota on käytetty hyödyksi hitsausohjeita laadittaessa.

2 HITSUKSEN LAADUNHALLINNAN TYÖKALUJA

2.1 Total Welding Management

Tavoitteena on laaja-alaisesti ottaa huomioon kaikki lopulliseen hitsaustoimintaan vaikuttavat asiat. Päämääränä on löytää hitsaustuotannon kipupisteet ja tarttua niihin toiminnan kehittämiseksi. Näiden pisteiden löytämiseksi menetelmä pohjautuu matriisirakenteen muodostamiseen, joka muodostaa toiminnasta sata pistettä.

Matriisi muodostuu neljästä kriittisestä toiminnosta, joista jokaisella on omat viisi kriittistä avainaluettaan. Jokaista näistä pisteistä taas tarkastellaan viiden konkreettisen toimenpiteen näkökulmasta, joiden tarkoituksena on parantaa hitsauksen tuottavuutta

ja laatua. Näistä kolmesta osa-alueesta muodostuu siten lopullinen sadan pisteen (4 x 5 x 5) matriisi.

Taulukossa 2 oleville avainalueille siis mietitään kullekin viisi tärkeintä hitsauslaadun lopputulokseen vaikuttavaa asiaa, jonka jälkeen lähdetään tarkastelemaan ja toteuttamaan näitä konkreettisia tekijöitä.

Taulukko2: Total welding managementin mukaiset kriittisten toimintojen avainalueet.

KRIITTINEN TOIMINTO				
	SUUNNITTELU	TUOTANNOSUUNNITTELU	VALMISTUS (HITSAUSTUOTANTO)	LAADUNVARMISTUS
AVAINALUE	MATERIAALIN VALINTA	HYVÄKSYTTYJEN TYÖOHJEIDEN LAADINTA	HENKILÖSTÖN KOULUTTAMINEN JA PÄTEVÖINTI	LAATUPOLITIIKKA JA VASTUULLISUUS
	HITSIN MITTOJEN MÄÄRITTÄMINEN	HITSAUSPROSESSIN VALITSEMINEN	MATERIAALIEN HALLITSEMINEN JA TOIMITTAMINEN	LAATUSTANDARDIT
	HITSAUSLIITOKSEN TYYPIN VALITSEMINEN	LAITTEISTOJEN SEKÄ TYÖKALUJEN VALITSEMINEN	LAITTEISTOJEN TOIMIVUUDEN VARMISTAMINEN	LAATUOHJEET
	VALMISTETTAVUUDEN ARVIOINTI (HITSATTAVUUS)	MENETELMIEN JA MENETTELYTAPOJEN KEHITTÄMINEN	MENETELMIEN JA MENETTELYTAPOJEN TOTEUTTAMINEN	TARKASTUS, MITTAAMINEN JA RAPORTOINTI
	HITSIN TARKAT MÄÄRITYKSET	TUOTANNON SUUNNITTELEMINEN	TUOTANNON OHJAAMINEN JA VALVOMINEN	KORJAUSTOIMENPITEET

2.2 LEAN

Tavoitteena Lean-ajattelussa on poistaa koko toiminnasta ja tuotannosta kaikki turhat arvoa tuottamattomat toiminnot. Päämääränä on, että oikea määrä oikeita ja oikeanlaatuisia tuotteita valmistetaan ja toimitetaan juuri oikeaan aikaan oikeaan paikkaan.

Edellä olevaan lauseeseen tiivistyy erittäin hyvin koko Lean-ajattelun pääperiaate. Käytännön pyrkimyksenä on parantaa laatua ja samalla pienentää toiminnan kustannuksia sekä tuotannon läpimenoaikoja. (Kajaste. Liukko,1995 32)

Arvoa tuottamattomiksi hukkatoinnoiksi Lean-ajattelussa mielletään seuraavat seitsemän toimintoa tai asiaa (Kajaste. Liukko, 1995 35).

- kuljetus ja käsittely (transport and handling)
- varastointi (inventory and storage)
- liike (motion)
- odotusajat (waiting)
- ylituotanto (overproduction)
- yliprosessointi (overprocessing)
- viallinen tuote (defects, rework and inspection)

2.3 Six Sigma

Six Sigma on tilastotieteeseen perustuva laatujohtamis- ja laadunhallintatyökalu. Pääperiaatteena on löytää ja poistaa toiminnasta kaikki haitalliset vaihtelua aiheuttavat tekijät. Päämääränä on hajonnan, vaihtelun sekä poikkeamien hallinnalla pystyä kokonaisvaltaisesti parantamaan tuotantoa. (Martikainen 2010. 50)

Sigma on kreikkalainen kirjain, joka kuvaa standardipoikkeamaa. Tilastotieteessä standardipoikkeama kertoo kuinka kaukana keskiarvosta mitatut tulokset ovat. Se siis kertoo vaihtelun suuruuden mittausjoukossa. Mitä suurempi mittausjoukon standardipoikkeama on, sitä enemmän mittausjoukossa on vaihtelua. Tilastollisesti mieltien, peruslähtökohta Six Sigma -ajattelulle on siis vaihtelun pienentäminen. Mahdollisimman pienellä standardipoikkeamalla tuotteet saadaan tasaisesti vastaamaan asetettuja odotuksia. (Karjalainen. 2002, 190.)

2.4 Six Sigman, Leanin ja Total Welding Managementin vertailu

Six Sigma on näistä kolmesta työkalusta ehkä kaikkein suurin ja konkreettisin tarkka laadunseurantatyökalu, koska siinä hyödynnetään tarkkoja lukuarvoja. Tämän tilastol-

lisen työkalun avulla voidaan seurata laadunvaihtelua. Lisäksi Six Sigmaa voidaan käyttää myös suorana tavoitteena tai vaatimuksena.

Laatutyökaluista Lean on luonteeltaan kaikkein yleispätevin laatutyökalu. Sen periaatteet ovat yksinkertaisia. Tehdään oikeita ja hyödyllisiä asioita ja vältetään kaikkea turhaa toimintaa. Voidaan todeta, että osaa sen periaatteista varmasti pyritään noudattamaan monissa yrityksissä, tiedostamatta että noudatetaan Lean-ajattelua.

Total Welding Managementin soveltaminen käytännössä koetaan hankalaksi ja kalliiksi, eikä sitä juurikaan käytetä Euroopassa. Suurin haaste syntyy siitä, että menetelmä on erittäin laaja ja koskettaa koko tuotantoketjua aina alkutuotteesta lopputuotteeseen. Työkalun periaatteiden mukaiset neljä kriittistä toimintoa ovatkin hajallaan eri yrityksissä. Työkalu soveltuu yksittäisessä yrityksessä loistavasti puutteiden kartoitukseen, jonka jälkeen keskitytään kehittämään omaan ydinosaamiseen liittyviä kehittämiskohteita, eikä edes yritetä puuttua kaikkeen havaittuun. Kaikkia edellä mainittuja laatutyökaluja on vertailtu taulukossa 3.

Taulukko 3. SWOT-analyysi laatutyökaluista Lean, Six Sigma ja Total Welding

	LEAN	six sigma	TWM
Vahvuus	"Yleismäinen" -> yksinkertainen ajattelumalli	Hyvä työkalu toimintojen seurantaan.	Suunniteltu suoraan ja ainostaan hitsaustuotannolle
Heikkous	jää helposti pelkäksi ajatusmalliksi, ei konkretisoidu	Havaitsee ongelmat mutta ei anna suoria parannusehdotuksia	Todella työläs ja raskas toteuttaa kokonaisuudessaan
Mahdollisuus	Aatteiden onnistunut juurruttaminen johtaa kaikki työntekijät miettimään tehokkaampia toimintamalleja	voidaan toteuttaa yrityksen sisällä myös osasto kohtaisesti	viemällä koko prosessi läpi, voidaan saada aikaan todella vahva laatutaso
Uhka	kokonaisuus jää kehittymättä, kun puututaan vain pieniin yksityiskohtiin	Toteutuminen jää pelkäksi seurannaksi	Toimintamallin tai tuotteen vaihtuessa koko prosessi on aloitettava alusta

3 MAG-HITSAUS

Lepola ja Makkonen ovat onnistuneet tiivistämään MAG/MIG hitsauksen erittäin hyvin:

MAG-hitsaus on puoliautomaattinen hitsausmenetelmä, jossa lisäaineena käytettävää lankaa syötetään automaattisesti vakionopeudella suojakaasulla suojattuun hitsauskohtaan, missä lisäainelangan kärjessä ja perusaineen välissä palava valokaari sulattaa lisä- ja perusainetta. (Lepola, Makkonen, 2010, 132)

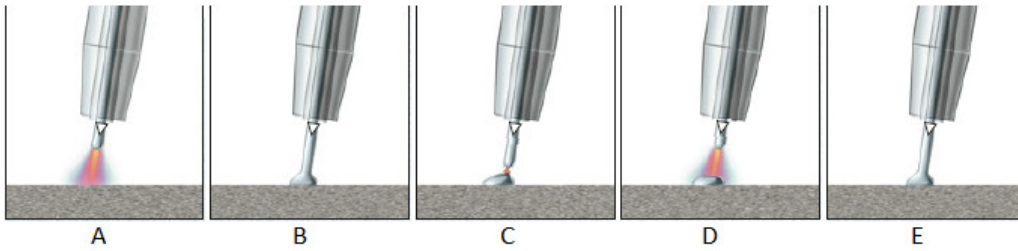
Viime vuosien kehitys hitsausprosesseissa on kuitenkin tuonut tuplapulssin myötä pienen muutoksen tähän kuvaukseen. Kts. kappale 2.1.2

MAG/MIG-Hitsaus on nykyään ylivoimaisesti käytetyin hitsausmenetelmä. Noin 65 prosentissa kaikista Suomen hitsauksista käytetään MAG/MIG-prosessia. Tällä hetkellä myös kotimaiset hitsauskoneiden valmistajat panostavat suuren osan resursseistaan MAG-hitsaukseen. (Halonen, K. 2012)

MAG-hitsauksen virran ja jännitteen suuruus vaikuttaa suuresti siihen, miten lisäainelanka siirtyy ja tunkeutuu perusaineeseen. Siirtymismuodot jaetaan neljään eri tyyppiin: oikosulkusiirtyminen (kylmäkaari), suuripisarainen siirtyminen (sekakaari), suihkumainen siirtyminen (kuumakaari) sekä pulssitettu siirtyminen (pulssikaari). Pulssikaaren kehittymisen myötä oikosulku- ja suuripisaraisella virtajännitealueella suoritettava hitsaus on jäänyt vähäiseksi.

3.1 Oikosulkusiirtyminen

Oikosulkusiirtymisessä käytetään pieniä jännite- ja virta-arvoja ja aineensiirtymä tapahtuu oikosulkujen avulla. Oikosulkusiirtymisessä hitsisula on pieni ja valokaari palaa vain osan ajasta, (kuva 1) toisin sanoen sen lämmöntuonti on pieni. Tällöin hitsisula on helposti hallittavissa ja hitsaus on mahdollista kaikissa asennoissa. Lyhytkaari-hitsausta käytettiin ohutlevyjen ja pohjapalkojen hitsaukseen ennen pulssi teknologian kehittymistä. Lyhyt kaarihitsauksen tunkeuma on pieni ja hitsikupu korkea.



Kuva 1: Oikosulku siirtyminen, kuvan eri vaiheet kuvattu alla

A = Valokaari palaa sulattaen lisäaineen ja perusaineen

B = Lisäainelangan syöttönopeus on niin suuri, ettei valokaaren teho ehdi sulattaa lisäainetta -> lisäainelanka törmää kappaleeseen, aiheuttaa oikosulun ja valokaari sammuu

C = Oikosulun tapahduttua virta nousee äkillisesti -> Lisäainelangan pää kuroutuu poikki ja siirtyy sulaneena lisäaineeseen

D = Valokaari syttyy uudelleen

3.2 Suihkumainen Siirtyminen, kuumakaari

Hitsattaessa kuumakaarella lisäaineen siirtyminen tapahtuu suihkumaisena. Lisäaine siirtyy tällöin erittäin pieninä pisaroina. Pisaroita muodostuu yli sadan kappaleen sekuntivauhdilla. Virran suuruuden tulee olla tarpeeksi suuri, jotta suihkumainen lisäaineen siirtyminen saadaan aikaan. Mikäli käytettävä hitsausvirta on liian pieni, ei suihkumaista siirtymää saavuteta ja lisäaineen siirtyminen tapahtuu suuripisaraisena. Suuripisaraista siirtymistä tulee välttää. (Lukkari, 2002, 170.)

Kaareissa vaikuttava Pinch-voima mahdollistaa kuumakaari prosessin käytön kaikissa hitsausasunnoissa. Siirtyvän sulan pisarakoko on pienempi kuin käytettävän valokaaren pituus. Tällöin oikosulkuja ei pääse tapahtumaan ja hitsaustapahtuma on lähes roiskeeton. Kuumakaaren avulla saadaan aikaan syvä tunkeuma ja matala hitsikupu.

3.3 Pulssihitsaus

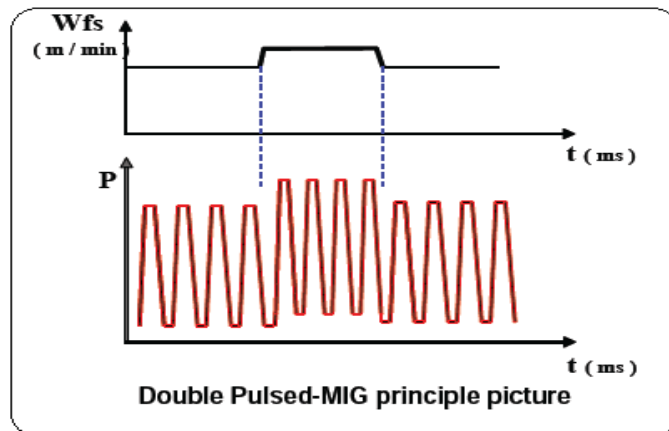
Pulssihitsauksessa lisäainepisara irrotetaan lisäainelangan kärjestä käyttäen lyhyttä virtapulssia, joka syötetään perusvirran päälle. Tällöin lisäaine kuroutuu pinch-voiman

vaikutuksesta irti lisääainelangan päästä ja siirtyy suihkumaisena perusaineeseen. Puls-sihitsauksessa säädetään tavanomaisten parametrien lisäksi taajuutta, eli montako ker-taa yksi pulssi toistuu sekunnissa, sekä amplitudia ja virran vaihteluväliä korkeimman ja matalimman virta-arvon välillä. (Lepola. Makkonen. 2010, 116)

Suurimpana pulssihitsauksen etuna voidaan pitää roiskeettomuutta sekä hitsaus-sauman hyvää ulkonäköä. Alumiinin ja ruostumattomien terästen hitsauksessa pulssi-hitsaus vähentää huokosia. Menetelmää käytetään myös asentohitsauksissa, koska li-säaine saadaan siirtymään suihkumaisena ilman, että hitsaus tapahtuu kuumakaari alu-eella. (Kemppi Oy 2012)

3.3.1 Kaksoispulssihitsaus

Kaksoispulssihitsauksessa on tavallisten pulssihitsausominaisuuksien lisäksi toinen päällekkäinen taajuudeltaan pienempi pulssi, joka muuttaa langansyöttönopeutta ja sen johdosta epäsuorasti myös hitsausvirtaa. Langansyöttönopeus ei siis ole vakio täs-sä sovellutuksessa. (kuva2) Langansyötön pulssituksella pystytään vaikuttamaan hitsin tunkeumaan ja lämmöntuontiin. (Kemppi Oy 2012)

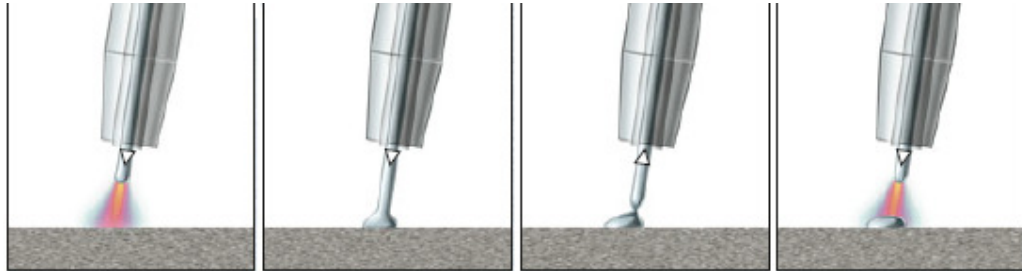


Kuva2: Kuvaaja jossa alempana peruspulssin käyrä ja ylempänä tuplapulssi ja sen vaikutus peruspulssiin. (Kemppi Oy 2010)

3.3.2 CMT-pulssihitsaus

Fronius on hitsauskoneiden valmistajana vienyt teknisesti pulssitekniikan kaikkein pi-simälle. CMT-sovellutus kääntää langansyötön negatiiviseksi 1 - 3 sadasosasekunnin

ajaksi, kun hitsauskoneen mikroprosessori havaitsee oikosulun tapahtuneen. (kuva 3) Tällä tavoin lämmöntuonti saadaan huomattavasti perinteistä kylmäkaarihitsausta pienemmäksi. Koska oikosulku-aika on erittäin lyhyt, ei virta ehdi nousta suureksi. Hitsaus pystytään suorittamaan 0,3 mm:n levynpaksuuteen, johon mikään muu MAG/MIG-hitsausmetelmä ei pysty. (Karjalainen 2012) (Fronius Oy 2012)



kuva3: Langansyötön kääntymisen hetkellisesti negatiiviseksi oikosulkuvaiheen aikana.

3.4 Synergiaohjaus

Ohjauselektronikka huolehtii langansyötön ja jännitteen säätymisestä toisiinsa nähden oikeassa suhteessa koneelle tallennetun synergiakäyrän mukaisesti. Sääto tapahtuu perinteisen kaarijännitteen ja langansyötön erillisten säätöjen sijasta yhdestä nupista, joka säätää sekä kaarijännitteen että langansyötön. (Makkonen, Lepola 2010, 135)

Käyttäjä valitsee koneen valikoista hitsattavan materiaalin, lisäainelangan ja sen paksuuden sekä suojakaasun. Koneen prosessori valitsee näiden tietojen perusteella käytettävän synergiakäyrän. Edistynyt käyttäjä voi myös muokata käyriä halutessaan.

3.5 Jatkuvan jäähtymisen S-käyrään perustava ohjaus

Kemppi Oy kehittää parhaillaan yhdessä Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa lämmöntuontiin perustuvaa adaptiivista hitsausparametrien säätöjärjestelmää. Uudessa säätötavassa virtalähteen säätö perustuu synergiakäyrään sekä jatkuvan jäähtymisen S-käyrään. Ajatuksena on, ettei käyttäjä valitse hitsausparametreiksi perinteisesti sähköisiä suureita, vaan halutun hitsin lopullisia fyysisiä ominaisuuksia. (Iso-Markku 2012, 10)

4 TIG-HITSAUS

TIG hitsaus eroaa muista hitsausmenetelmistä siten, että elektrodi on ”sulamaton”. Muissa hitsausmenetelmissä elektrodina toimii puikko tai lisäainelanka. TIG-hitsauksessa valo-kaari palaa ”sulamattoman” volframielektrodin ja perusaineen välissä. Valokaaren lämpö sulattaa perusainetta, johon muodostuu hitsisula. Hitsisulaa ja elektrodin kuumaa kärkeä suojaa ilman hapelta kaasusuuttimen kautta johdettu suojakaasu. (Lepola, Makkonen 2010)

TIG-hitsauksessa käsivarainen hitsaus ei ole kokenut mullistuksia viime vuosina. Automaattisesti hitsauksen osalta on orbitaali hitsaus yleistynyt ja kehittynyt. Puoliautomaattinen langansyöttö on tullut automaattisesta käyttösovelluksesta oheistuotteena myös käsihitsaukseen.

4.1 Vaihtovirtahitsaus

Vaihtovirtahitsauksessa napaisuus vaihtuu halutun amplitudin mukaan ja valo-kaari sammuu hetkeksi jokaisen puolijakson alussa. Napaisuuden vaihtelun takia lämpö jakautuu 50/50 perusaineen ja elektrodin välille. Normaalissa tasavirtahitsauksessa 70 % lämmöstä jakaantuu perusaineeseen. (Lepola, Makkonen 2010, 162)

Vaihtovirtahitsausta käytetään lähinnä vain alumiinin hitsaukseen, koska napaisuuden vaihtelu rikkoo alumiinin oksidikalvon. Jokaisen positiivisen puolijakson aikana positiivisesti varautuneet kaasuionit törmäävät miinuspuoleiseen perusaineeseen rikkoen pinnassa olevan oksidikalvon. (Lepola, Makkonen 2010, 163)

4.2 TIG-pulssihitsaus

TIG-pulssihitsauksen toimintaperiaate on täysin sama kuin MAG-hitsauksen pulssituksessa. Pulssitaajuutena käytetään kuitenkin TIG-hitsauksessa huomattavasti pienempää taajuutta, noin 1-5Hz.

Perustasoa suuremman pulssivirran aikana muodostuu hitsisula ja tukkeuma. Perusvirran aikana hitsisula jäähtyy ja osittain jähmettyy. Pulssituksen avulla hitsisulaa pystytään hallitsemaan paremmin, koska hitsisula ei pysty valumaan. Myös lämmöntuonti on pienempi.

4.3 Automaattinen langansyöttö

Automatisoidussa orbitaali- ja robottihitsauksessa käytetään automaattista lisäaineen syöttöä hitsaustapahtumaan. Osalla valmistajista on kuitenkin tarjota lisäosana integroitu langansyöttömekanismi myös käsivaraiseen TIG hitsaukseen. [kuva4]. Lanka syötetään pieninä sykäyksinä hitsauspisteeseen. Syötettävää lisäainetta ei esikuumenteta käsihitsaussovellutuksessa. (Lincoln Electric 2012, 61)



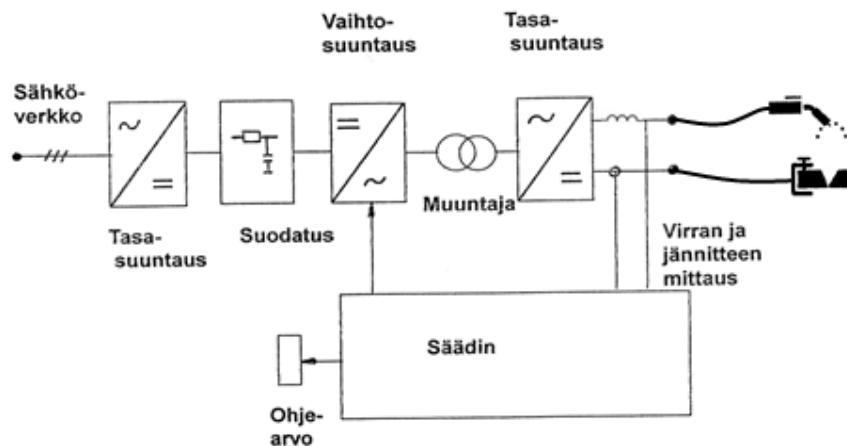
Kuva 4. Integroitu langansyötin käsivaraiseen hitsauspolttimeen. (Lincoln electric 2012, 61)

5 PUIKKOHITSAUS

Puikkohitsauksessa sähköverkosta tuleva sähköenergia tasasuunnataan, jännite alennetaan ja virtaa nostetaan hitsausinverterin avulla. Sähköenergia muutetaan lämmöksi valokaaren avulla, jonka synnyttämä lämpö riittää sulattamaan kaikki tunnetut metallit. Valokaari sulattaa perusainetta ja elektrodina toimivaa hitsauspuikkoa, joka siirtyy pisaramaisena hitsiin. (Makkonen, Lepola 2010, 122)

MMA prosessi on nykypäivänä käytettävistä hitsausprosesseista vanhin, eikä se ole viime vuosina juuri kokenut prosessina kehitystä. Virtalähteiden digitalisoitumisen myötä ovat virtalähteet tulleet tarkemmin säädettäviksi ja niihin on lisätty joitakin hitsausta helpottavia toimintoja, kuten kuuma-aloitus ja dynamiikan säätö. Lisäksi kaikissa hitsausmenetelmissä virtalähteiden fyysinen koko ja paino on tippunut oleellisesti 2000-luvulla tapahtuneen tasasuuntausteknologian kehityksen myötä.

Nykyaikaisessa MMA-hitsauskoneessa ensin vaihtosähkönä tuleva verkkovirta (50 Hz) tasasuunnataan. Tämän jälkeen tasavirta vaihtosuunnataan korkeataajuiseksi (>25Khz) vaihtovirraksi. Tämä korkeataajuinen vaihtosähkö muunnetaan muuntajalla pienemmäksi jännitteeksi, joka lopulta tasasuunnataan laitteen käyttöjännitteeksi. Koska magneettikenttää ladataan ja siitä puretaan energiaa suurella taajuudella, yhden jakson siirtämä energia on pieni ja siten se mahtuu virtalähteessä olevan pienikokoisen muuntajan magneettikenttään. [Kuva 5] Muuntajien käämin kokoa ja hyötysuhdetta on saatu myös parannettua litz-lankojen yleistettyä tehoelektronikassa. (Wallius 2012)



Kuva 5: Nykyaikaisen hitsausinventterin kytkentäkaavio (Wallius Hitsauskoneet Oy 2013)

6 HITSAUSKONEIDEN SPESIFIOINTI, VALIDIOINTI JA HUOLTO

Spesifioinnissa valitaan hitsauskoneet, joilla luokkahitsauksia tullaan suorittamaan ja varmistetaan niiden teknisten ominaisuuksien riittävyys pätevyyskokeiden hitsaukseen. Koneen tekniset tiedot on eriteltävä ja listattava. Liitteessä 2 on esimerkki hitsauskoneen spesifikaatiodokumentista.

Validioinnilla tarkastetaan, että hitsauskoneet joilla luokkahitsauksia suoritetaan, täyttävät spesifikaatiossa vaaditut vaatimukset. Hitsauslaitteet tulee validioida EN 50504-standardin mukaisesti kolmen vuoden välein. Validioinnilla ja mahdollisella kalibroinnilla varmennetaan, että laitteen mittarit näyttävät riittävän tarkasti kaikilla säätöarvoilla. Mig-laitteissa myös langansyötön nopeus tarkastetaan. Liitteessä 3 esimerkki hitsauskoneen validointi- ja kalibrointitodistuksesta.

Laatujärjestelmät velvoittavat hitsauspätevyyskäyttäjät tarkastuttamaan ja huoltamaan hitsauslaitteistonsa kerran vuodessa. Varsinaisten vuosihuoltojen välillä voidaan esimerkiksi tehdä pienempiä huoltoja koneen huolto-ohjelman mukaisesti. Huoltohistoria on dokumentoitava. Liitteessä 4 esimerkki hitsauskoneen huoltokortista.

7 LÄMMÖNTUONTI JA JÄÄHTYMINEN

Lämmöntuonnille ja jäähtymiselle on asetettu ylä- ja alarajat materiaalienkohtaisesti. Jos yläraja ylitetään, seuraa sitkeyden ja lujuuden heikkeneminen. Jos taas alaraja alitetaan, seuraa kovuuden kasvu. Normaalisti sitkeys on herkempi suurelle lämmöntuonnille kuin lujuus. Mitä vaativampaa iskusitkeysluokan ja korkeamman lujuusluokan terästä sekä pienempää aineenpaksuutta hitsataan, sitä enemmän lämmöntuontia tulee rajoittaa. (Mäkimaa, Uusitalo 2007, 31.)

7.1 Lämmöntuonti

Lämmöntuonnilla tarkoitetaan hitsiin siirtynyttä lämpöenergiaa. Lämpöenergia saadaan laskettaessa yhtälöllä [1], jossa palon hitsaukseen käytetty energia palon pituusyksikköä kohti kerrotaan hitsausprosessille ennalta määritetyllä termisellä hyötysuhteella. Kaikki syntynyt lämpöenergia ei siirry hitsiin, vaan osa siitä menee häviöinä ympäristöön mm. säteily- ja johtumishäviöinä. (Lukkari 2002, s. 54.)

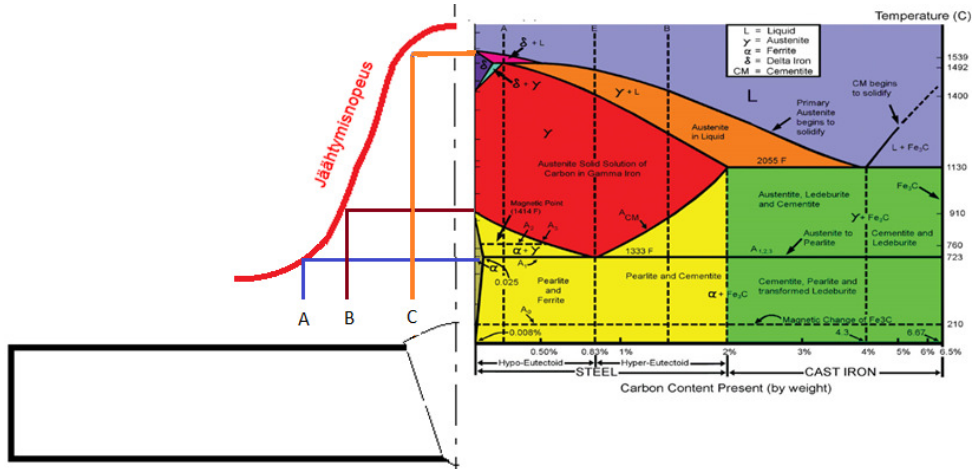
$$Q = \frac{U \times I \times 60}{v \times 1000} \times k \quad [\text{kJ/mm}] \quad [1]$$

missä U = jännite [V]
 I = virta [A]
 v = kuljetusnopeus [mm/min]
 k = termien hyötysuhde

- MIG/MAG-, täytelanka- ja puikkohitsaus: 0,8
- TIG- ja plasmahitsaus: 0,6

Lämmöntuonnilla on siis suuri vaikutus hitsin ominaisuuksiin, koska se vaikuttaa suoraan verrannollisesti hitsausliitoksen jäähtymisnopeuteen, joka puolestaan vaikuttaa oleellisesti liitoksen syntyviin mikrorakenteisiin. Kuvassa 5 on havainnollistettu millaisia hilaraken-

teita muodostuu hitsisaumaan ja sen muutosvyöhykkeelle hitsisauman jäähtymisen yhteydessä. Hitsien käyttäytymisen arviointi rauta-hiili otolapiirroksen avulla ei kuitenkaan ole kovin helppoa, sillä jäähtymistä on vaikea hallita hitsin koko alueella. Terästen lämpökäsittelyt perustuvat austeniitin hajoantumiseen. Lämpökäsittelyissä jäähtymisnopeutta pystytään hallitsemaan - hitsauksessa se ei samalla tarkkuudella onnistu.



kuva5: Austeniitin hajoaminen hitsausliitoksessa.

Mitä nopeampaa jäähtyminen on sitä suurempi todennäköisyys on vetyhalkeamille. Kriittisin lämpötila-alue on 800C(piste B) - 500C (PisteA). Näiden lämpötilojen välillä jäähtymisen pitää olla riittävän hidasta, jotta muutosvyöhykkeellä ei pääse tapahtumaan karkemista ja sen seurauksena vetyhalkeilua. Jäähtyminen on hitaampaa kauempana perusaineessa, sillä lämpötila ei pääse nousemaan kovin korkeaksi. Myös itse hitsisula jäähtyy hitaasti, koska ympäröivän perusaineen kuumuuden takia lämmönjohtuminen on hidasta.

A = Seos on ferliittis-perliittinen, mikrorakenne ei ole muuttunut merkittävästi koska A1 rajaa ei ole ylitetty.

B = A3 raja, metalli muuttuu austeniitiksi ja jäähtyessään se normalisoituu. Rautahila on austeniittisessa faasitilassa pintakeskeinen kuutio. Nopeassa jäähtymisessä syntyy martensiittiä, kun faasimuutos takaisin pintakeskeisestä kuutiosta (austeniitistä) tilakeskeiseksi kuutioksi (ferriitiksi tai perliitiksi) tapahtuu liian nopeasti. Tällöin muodostuu kovaa ja haurasta martensiittiä.

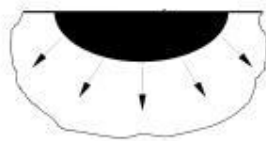
C = Teräs on sulassa tilassa.

7.2 Jäähtymisnopeus

Jäähtymisnopeutta kuvaavana suurena käytetään jäähtymisaikaa $t_{8/5}$, joka tarkoittaa lämpötilavälin 800–500 °C ohittamiseen kulunutta aikaa sekunteina. Hitsin jäähtymisen aikana tällä lämpötilavälillä tapahtuvat hitsiaineen ja muutosvyöhykkeen ominaisuuksien kannalta merkittävimmät mikrorakennemuutokset. (Lukkari 2003a, 3.)

Hitsin ja muutosvyöhykkeen liian nopea jäähtyminen aiheuttaa karkenemista, joten kovuus nousee ja vetyhalkeilutaipumus kasvaa. Hitsin liian hidas jäähtyminen eli pitkä jäähtymisaika taas heikentää liitoksen lujuutta ja erityisesti iskusitkeyttä. Hitsisaumalle siis määritellään etukäteen haluttujen ominaisuuksien perusteella aikaikkuna, jonka sisällä jäähtyminen 800 °C - 500 °C tulee tapahtua. Pääsääntöisesti halutut ominaisuudet ovat samat perusaineen kanssa. (Lukkari 2003a, 3.)

Lämmönjohtumistapoja on kahdenlaisia: 3- ja 2-dimensionaalisia [kuva 6.]. 3D-lämmönjohtumista tapahtuu paksuilla levyillä, jolloin aineenpaksuus ei vaikuta jäähtymisaikaan. 2D-lämmönjohtumisessa puolestaan aineenpaksuus vaikuttaa jäähtymisaikaan ja sitä tapahtuu suhteellisen ohuilla levyillä. (SFS-EN 1011-2 2001, 108.)



3D-lämmönjohtuminen



2D-lämmönjohtuminen

Kuva 6. Lämmönjohtumistavat hitsauksessa (SFS-EN 1011-2 2001, 108).

Seostamattomille ja niukkaseosteisille teräksille jäähtymisajan $t_{8/5}$ voi laskea standardin SFS-EN 1011-2 laskuyhtälöiden avulla. Alla on esitetty 2D-lämmönjohtumisen jäähtymisajan $t_{8/5}$ laskentakaava [2.] sekä 3D-lämmönjohtumisen jäähtymisajan $t_{8/5}$ laskentakaava [3.]. (SFS-EN 1011-2 2001, s. 78.) Tapahtuuko lämmönjohtuminen 2- vai 3-D:nä, saadaan selville laskemalla kummankin yhtälön lopputulos. Suuremman arvon saanut on käytettävä yhtälö. (Vähäkainu 2003, 25.)

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

$$t_{8/5} = (6700 - 5 T_0) \times Q \times \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right) \times F_3 \quad [3]$$

missä T_0 = työlämpötila [°C]

Q = lämmöntuonti [kJ/mm]

d = aineenpaksuus [mm]

F_2 ja F_3 = liitosmuotokerroin (kts. Taulukko 1)

- MIG/MAG-, täytelanka- ja puikkohitsaus: 0,8
- TIG- ja plasmahitsaus: 0,6

Työlämpötilalla T_0 tarkoitetaan hitsattavan kappaleen lämpötilaa hitsauksen alussa. Mitä korkeampi työlämpötila on, sitä hitaammin liitoksen jäähtyminen tapahtuu ja sitä pidempi on liitoksen jäähtymisaika $t_{8/5}$. Työlämpötilan korotus saadaan aikaan hitsattavan kappaleen esilämmityksellä.

Jäähtymisaikaan vaikuttaa myös lämmönjohtuminen, joka on riippuvainen hitsattavan materiaalin aineenpaksuudesta. Mitä suurempi hitsattava aineenpaksuus on, sitä enemmän on massaa, johon hitsauksesta tullut lämpö johtuu ja jäähtymisnopeus kasvaa. Lisäksi se, kuinka moneen suuntaan lämpö voi siirtyä, vaikuttaa lämmön poisjohtumiseen. (Lepola & Makkonen 2005, s. 347.) Jäähtymisajan $t_{8/5}$ laskemiseen tarvittavat liitosmuotokertoimet saadaan taulukosta 4.

Taulukko4: Liitosmuotokertoimen vaikutus jäähtymisaikaan $T_{8/5}$ (vähäkainu 2003, 27)

Liitosmuoto	Liitosmuotokerroin F	
	F_2 kaksikulotteinen lämmönjohtuminen	F_3 kolmiulotteinen lämmönjohtuminen
Päällehitsaus	1	1
Pienahitsi kulmaliitoksessa	0,9	0,67
Pienahitsit T- tai ristiliitoksessa	0,3–0,67	0,67
Pienahitsi päällekkäisliitoksessa	0,7	0,67
V-hitsin juuripalkko	noin 1	1,0–1,2
X-hitsin juuripalkko	noin 1	0,7
V- tai X-hitsin välipalkko	1	0,8–1,0
V- tai X-hitsin pintapalkko	1	0,9–1,0
I-hitsi kaksipalkkohitsauksena	1	–

7.3 Hiiliekvivalentti

Teräksen kemiallisesta koostumuksesta laskettava hiiliekvivalentti (CEV) kuvaa teräksen karkenevuutta ja epäsuorasti myös vetyhalkeilutaipumusta, sekä siten hitsattavuutta. CEV:n laskentatapoja on käytössä erilaisia, mutta eniten käytetään eurooppalaista IIW laskentatapaa [yhtälö 4]. hiiliekvivalentin ollessa alle 0,4 teräs helposti hitsattavaa. Jos hiiliekvivalentti on suurempi kuin 0,4 on teräs altis vetyhalkeilulle. Yli 0,5 tuloksilla on suuri riski vetyhalkeiluun. Jos hiiliekvivalentti on yli 0,4, tarvitaan kappaleelle esilämmitys. (Martikainen 2009, s. 16) (ESAB Oy 2007, 20)

$$CE_{(IIW)} = \frac{C + Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad [4]$$

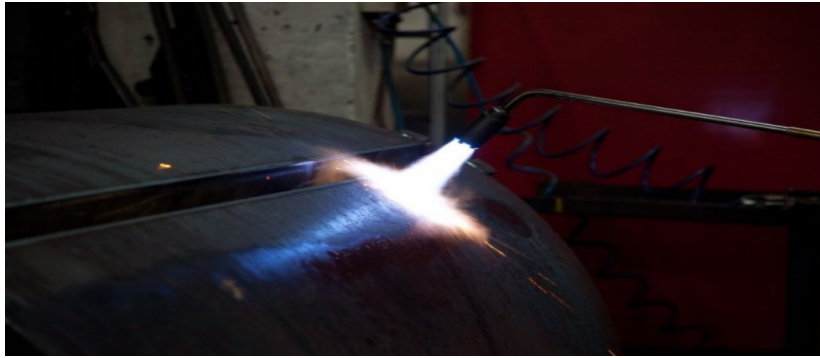
7.4 UCS-indeksi

Seostamattomille ja niukkaseosteosille rakenne- ja koneteräksille arvioidaan kuumahalkeilualttiutta UCS -kaavan 5 avulla. Taipumus on pieni, kun $UCS < 10$ ja suuri, kun $UCS > 30$. Teräksessä kuumahalkeilua aiheuttavat erityisesti rikki (S) ja fosfori (P). Näiden pitoisuuden tulee olla yhteensä enintään 0,035 %. Kuumahalkeiluun vaikuttaa myös mangaanin ja rikin (Mn / S) suhde. Tämän pitäisi olla suurempi kuin 30% (Martikainen 2009, 17)

$$UCS = 230 \times C + 190 \times S + 75 \times P + 45 \times Nb - 12.3 \times Si - 5.4 \times Mn - 1 \quad [5]$$

7.5 Esilämmitysmenetelmiä

Esilämmitykseen on useita eri menetelmiä. Kaikkein karkeimpana menetelmänä voidaan pitää kaasulla lämmittämistä. Hitsattavan rakenteen lämpötila nostetaan halutulle tasolle happi-asetyleeni liekillä tai propaani-butaani liekillä (Kuva 7.). Lämpötilaa tarkkaillaan infrapuna-pintalämpötilamittarin avulla. Menetelmä ei ole kovinkaan tarkka.



Kuva7: Hitsattavan kappaleen lämmitys propaani-butaani liekillä.

Tarkempana menetelmänä voidaan pitää vastuslangan ja vastusmattojen käyttöä. Tällöin lämmitystä voidaan ylläpitää myös hitsauksen aikana. Vastusmattojen käyttöalue ylittää noin 500 celsiusasteeseen asti. Vastusmattojen avulla myös jäähtymisnopeutta voidaan kontrolloida paremmin. Vastusmatot tai kaapelit levitetään ja kiinnitetään hitsisauman välittömään läheisyyteen ja ne pidetään siinä myös hitsauksen aikana. (kuva 8.)



Kuva8: Hitsausrailojen esilämmitys ennen hitsausta. (directindustry.com, 2014)

8 SUOJAKAASUT

Eri suojakaasujen fysikaalisilla ominaisuuksilla, kuten tiheydellä, lämmönjohtavuudella, ionisaatioenergialla ja kemiallisella reaktiivisuudella on vaikutusta hitsaukseen ja hitsin laadun kannalta olennaisiin tekijöihin.

8.1 Helium

Helium on normaalilämpötiloissa inertti eli reagoimaton kaasu, joka ei hitsauksessa reagoi hitsisulan kanssa. Heliumilla on hyvä lämmönjohtokyky, jolloin kaarijännite kehittyy muita hitsauskaasuja suuremmaksi. Käytettäessä heliumia suojakaasuna, syntyvä hitsikupu on matala ja tunkeuma syvä suuremman lämmöntonnuonin vuoksi. Hitsisulan herkkäliikkeisyys ja leveä tunkeumaprofiili edesauttavat kaasujen poistumista hitsiaineesta. Täten syntyvä hitsi sisältää vain vähän huokosia. (Oy AGA Ab. 2008,39), (Jylhä.1994, 68)

8.2 Argon

Huono lämmönjohtavuus estää metallihöyryjen leviämisen valokaareissa, jolloin syntyvän hitsin tunkemasta tulee pieni ja saumasta korkeakupuinen. Tämä lisää liitosvirheen syntymisen todennäköisyyttä, koska hitsipalon juohea liittyminen perusaineeseen vaikeutuu varsinkin suurilla aineenpaksuuksilla. (Aga Ab. 2008, 42)

Puhtaalla argonilla hitsattaessa syntyy rauhaton valokaari, koska elektronit pyrkivät irtautumaan valokaaren pisteestä, josta se helpoiten onnistuu, eli oksidista. Mikäli suojakaasusta ei tule tasaista oksidikerrosta sulan pintaan, vaeltaa valokaari oksidipisteestä toiseen. (Aga Ab 2008, 42),

8.3 Hiilidioksidi

Nykyään puhtaan hiilidioksidin käyttö suojakaasuna on hyvin harvinaista, mutta sitä voidaan käyttää vaihtelevina pitoisuuksina seoskaasuissa. Kun hiilidioksidia seostetaan argoniin, saadaan stabiilimpi valokaari ja hitsisulalle alhaisempi pintajännitys. Pintajännityksen aleneminen tasoittaa hitsin pintaa, alentaa kupua, aikaansaa perusaineeseen juohevasti liittyvän hitsin ja antaa aikaa kaasukuplien haihtumiseen hitsistä. (Kotkajuuri, P.1983.14)

Hiilidioksidilla on argoniin verrattuna korkeampi ionisoitumispotentialiaali ja lämmönjohtokyky. CO₂:n lämmönjohtokyky on lähes sama kuin argonilla, mutta lämmönjohtokyky paranee huomattavasti, kun CO₂ hajoaa. Mitä enemmän siis suojakaasussa on hiilidioksidia, sitä kuumempänä hitsaus tapahtuu. (Kotkajuuri. 1983, 14) (Aga Oy. 2008, 43)

Hiilidioksidin hajotessa syntyvä kaasun tilavuuden nousu aikaansaa hyvän hitsisulan suojauksen. Kaasun tilavuuden nousu aiheuttaa myös hitsistä pois päin suuntautuvan voiman, joka saa aikaan suuria työkappaleeseen kiinni hitsautuvia roiskeita. (Kotkajuuri. 1983, 15) (Aga Oy 2008. 43)

8.4 Suojakaasun virtausnopeus

Suojakaasujen tiheys on tärkein vaikuttava tekijä, kun arvioidaan riittävää suojakaasun tilavuusvirtaa. Ilmaa kevyemmät kaasut haihtuvat ala-asentohitsauksissa nopeasti ilmaan; kun taas yläasentoissa ilmaa raskaammat kaasut valuvat alas. Juurikaasun syötöpiste valitaan myös sen mukaan, onko käytettävä kaasu raskaampaa vai kevyempää kuin ilma. Taulukossa 5 on listattu yleisempien suojakaasujen tiheydet. Suojakaasuseoksen lopullisen tiheyden voi laskea yhtälöllä 6.

$$\frac{\text{Pit.\%}_{\text{kaasu1}}}{100\%} \times \rho_{\text{kaasu1}} + \frac{\text{Pit.\%}_{\text{kaasu2}}}{100\%} \times \rho_{\text{kaasu2}} + \frac{\text{Pit.\%}_{\text{kaasu3}}}{100\%} \times \rho_{\text{kaasu3}} \quad [6]$$

Pit.% = Pitoisuusprosentti

ρ = Tiheys (NTP-olosuhteissa)

Taulukko5: Suojakaasu komponenttien tiheyksistä NTP-olosuhteissa. (Valtanen. 2008, 303)

Kaasu	Kemiallinen koostumus	Kg/m ³
Hiilidioksidi	CO ₂	1,977
Argon	Ar	1,784
Happi	O ₂	1,429
Helium	He	0,1785
Typpi	N ₂	1,2505
Ilma	H ₂ O	1,29

Seoskaasujen toisistaan poikkeavat tiheydet on otettava huomioon virtausmittarin näyttämässä. Rotametri on kalibroitu aina jollekin tietylle kaasulle, hitsauskäyttöön tarkoitettua pääsääntöisesti argonille. Rotametrin mittausero perustuu virtaavan kaasun aiheuttaman nosteen vaikutukseen, joka on riippuvainen mitattavan kaasun tiheydestä. CO₂ ja Ar seosteisissa kaasuissa tätä ei yleensä tarvitse ottaa huomioon, sillä kaasujen tiheydet ovat lähellä toisiaan. Suojakaasuseoksen sisältäessä heliumia, on sen huomattavasti pienempi tiheys otettava huomioon. Todellinen virtausmäärä saadaan selville yhtälön 7 avulla.

$$Q_{\text{tod.}} = Q_{\text{mit.}} \times \left[\frac{\rho_x}{\frac{\text{Pit.}\%_{\text{kaasu1}}}{100\%} \times \rho_{\text{kaasu1}} + \frac{\text{Pit.}\%_{\text{kaasu2}}}{100\%} \times \rho_{\text{kaasu2}} + \frac{\text{Pit.}\%_{\text{kaasu3}}}{100\%} \times \rho_{\text{kaasu3}}} \right] \quad [7]$$

Pit.%	= Pitoisuusprosentti	(%)
ρ	= Tiheys (NTP-olosuhteissa)	(Kg/m ³)
ρ_x	= Rotametrialle kalibroidun kaasun tiheys	(Kg/m ³)
$Q_{\text{tod.}}$	= Todellinen kaasuvirtaus	(l/min)
$Q_{\text{mit.}}$	= Rotametrial mittausero	(l/min)

8.5 Juurikaasu

Juurensuojauksen tarkoituksena on estää kuumen teräspinnan hapettuminen juuren puolelta. Kaasusuuttimen ohjaama suojakaasu suojaa hyvin hitsauspuolelta hitsisulaa, mutta juuren puolelle se ei riitä. Kun huolehditaan hitsauksen aikana juuren puolen suojauksesta, niin hitsistä saadaan tasainen ja sileä. Etenkin helposti hapettuvien metallien, kuten ruostumattoman teräksen ja titaanin hitsauksessa hyvä juurensuojaus on ehdottoman tärkeää. Yleisimmin juurensuojauksessa käytetään kaasuna argonia, joka soveltuu kaikkien perusaineiden suojaukseen. Markkinoilla on myös pelkkään juurensuojaukseen tarkoitettuja kaasuja, jotka ovat typen ja vedyn seoksia. Vedyllä on pelkistävä vaikutus happeen, muuttaen hapen vesihöyryksi. (Lukkari. 2003b, 6)

Tehokkaan juurensuojauksen edellytyksenä on, että kohteesta poistetaan ilma ennen hitsauksen aloittamista. Juurikaasulla huuhdellaan hitsattava kohde ja näin ilma syrjäytetään tai laimennetaan. Huuhteluajan eli kaasutuksen pituus riippuu huuhdeltavan

alueen tilavuudesta, juurikaasun virtausmäärästä ja tilavuuden vaihtokertojen lukumäärästä. Tilavuuden vaihtokertojen lukumäärä ilmoittaa, kuinka monta kertaa suojatavan tilan ilman ja suojakaasun seos vaihdetaan ennen kuin ollaan valmiita aloittamaan hitsaus. Yleensä huuhtelukertojen määrä on 6-10. Huutelu-aika voidaan laskea yhtälöllä 8. (Lukkari, 2003b, 7)

$$T_{\text{huuhtelu}} = A \times Q \times n \quad [8]$$

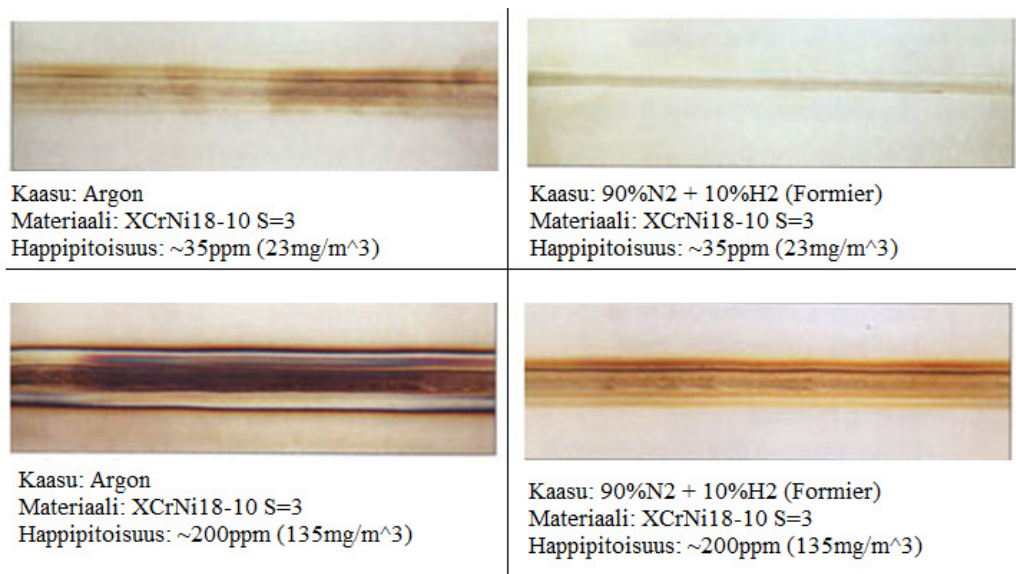
A= Juurikaasutilan tilavuus [mm³]

Q= Kaasunvirtausnopeus [l/min]

n= Huuhtelukertojen lukumäärä [kpl]

Kaasun virtausmäärää pienennetään putkessa hitsauksen ajaksi niin, että sinne saadaan jäämään hyvin pieni ylipaine. Jos ylipaine jää liian suureksi, on vaarana että se nostaa hitsisulaa tai puhaltaa sulan ylös railosta. Sopiva kaasunvirtaus huuhteluaajan jälkeen on noin 2-3 l/min. Juurikaasun virtausta on jatkettava myös hitsauksen jälkeen jonkin aikaa, koska liitoskohdan lämpötila pysyy oksidoitumislämpötilaa korkeampana.

Vertailutiedon saamiseksi suoritettiin menetelmäkoe, jolla vertailtiin perinteisen Argonin ja Voikoski Oy:n markkinoiman juurensuojaukseen tarkoitetun formier kaasun suojausvaikutusten eroja. Menetelmäkoe suoritettiin ruostumattomalle teräkselle TIG-prosessilla. Levynvahvuus oli 3mm ja liitosmuotona päittäisliitos I-railoa käyttäen. Polttimen puoleinen suojakaasu oli kaikissa kokeissa argon, juurikaasuna käytettiin kokeesta riippuen joko formier-seoskaasua tai puhdasta argonia. (kuva 9)



kuva 9: Juurensuojaukseen tehdyn menetelmäkokeen tuloksia

Kokeen tuloksena voidaan todeta, että happea pelkistävän vedyn lisääminen juurikaasun seosaineeksi tuo merkittävän hyödyn onnistuneen lopputuloksen aikaansaamiseksi ruostumattomia teräksiä hitsatessa. Juuren puolen happipitoisuuden saaminen alle 20ppm on erittäin hankalaa. Pitkistä huuhteluajoista huolimatta jää suojattuun juuritiilaan pieni pitoisuus happea, tai vaihtoehtoisesti sitä vuotaa hieman hitsauksen aikana juuritiilaan. Suojakaasuun lisätty vety pelkistää tämän jäännöshapen ja tällöin sulassa tilassa oleva metalli ei pääse hapettumaan.

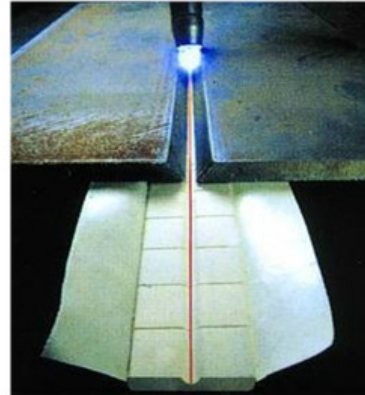
8.6 Juuritahna

Juurensuojaus käyttäen juurikaasua voi olla joskus vaikea järjestää. Tällöin voidaan käyttää juuritahnaa, jota sivellään hitsattavan kappaleen takapuolelle ennen hitsausta. Juuritahna muodostaa juuren puolelle pikkohitsauksen kuonaa vastaavan suojaavan kuonakerroksen reagoidessaan hitsauslämmön kanssa. Juurikaasun vaihtoehdoksi juuritahna ei kuitenkaan sovellu, mutta parantaa kuitenkin oleellisesti korroosiokestävyyttä verrattuna suojaamattomaan juureen. Lisäksi putkistoja hitsattaessa putken sisälle jäävä kuona voi aiheuttaa ongelmia, jos puhtausvaatimukset ovat suuret.

8.7 Juuriteipit ja -tuet

Juuriteippejä tai -tukia voidaan käyttää suojaamaan juurenpuolta hapettumiselta ja tällöin ei tarvita erillistä juurikaasua. Juuriteippi on alumiinifolionauhaa, jossa reunoilla

on tarrapinta ja keskellä nauhaa on hyvin kuumuutta kestävä materiaali, kuten lasikuitu tai keraami (kuva 10). Ongelmana on hitsauksen yhteydessä sulaneet teipinjätteet, jotka tulee poistaa huolellisesti. Juuritukia ja -teippejä voidaan myös käyttää tukemaan päittäisliitoksissa hitsisauman juurta. Juurituki helpottaa hitsauksen suorittamista ja vähentää liitosvirheen mahdollisuutta (kuva 11).



kuva 10 ja 11: Vasemmalla lasikuituinen juuriteippi ja oikealla keraaminen juurituki (kuva 11, Beijing Smartech Corporation).

9 HITS AUSLISÄ AINEET

Hitsauslisäaineen valinnassa on tavoitteena löytää taloudellisesti edullisin lisäaine, jolla saadaan laatuvaatimukset täyttävä hitsi. Lisäaineena käytetään koostumukseltaan perusainetta vastaavaa lisäainetta. Lisäaineen mekaanisten ominaisuuksien, myötörajan ja iskutheyden, on oltava lähellä perusaineen vastaavia ominaisuuksia. Kaikilla lisäainevalmistajilla on hyvät valintataulukot oikean lisäaineen valintaan perusaineen pohjalta. Liitteessä 9 esimerkki Elgan hitsauslisäaineen valintataulukosta seostamattomille teräksille.

Yleensä lisäaineena käytetään tasalujia hitsausaineita, mutta ultralujia teräksiä hitsatessa on alettu käyttämään perusainetta pehmeämpää alilujaa hitsauslisäainetta. Liitokset, joissa on käytetty alilujaa lisäainetta, ovat saumalujuudeltaan heikompia kuin perusaine. Jos alilujan lisäaineen käyttö on mahdollista, niin kannattaa sitä kuitenkin käyttää mieluummin kuin tasalujaa lisäainetta. Pehmeämmän lisäaineen avulla hitsiin

syntyvät jännitykset ja muodonmuutokset pystytään ottamaan turvallisemmin vastaan lisäaineen hyvän muodonmuutoskyvyn takia. Muita saavutettavia etuja on pienempi alttius karkenemiselle ja vetyhalkeaminen syntymiselle. (Martikainen 2010, 101)

Lisäaineen paksuus on valittava hitsattavan perusaineen paksuuden ja ilmaraon suuruuden mukaan. Lisäaineen ollessa liian paksu, sen sulattaminen sitoo liikaa valokaa-
ren lämpöä ja vaarantaa hitsin laadun. Liian ohuella lisäaineella tunkeumaa ei saada riittävästi, koska hitsausvirtaa ei saada riittävän suureksi. Lisäksi syntyy helposti reu-
nahaavoja ohuen langan vaatiman suuren syöttönopeuden vuoksi.

9.1 Hitsausaineiden käsittely

Kaikki päällystetyt hitsauspuikot ja hitsauslisäaineet ovat arkoja kostumaan. Kosteus voi aiheuttaa halkeamia sekä huokosia. Kosteilla lisäaineilla hitsaamisesta johtuvia virheitä on helppo välttää säilyttämällä puikot oikein. Kuivat ja oikein käytetyt lisäaineet säästävät resursseja paljon hyödyllisempään käyttöön.

9.1.1 Hitsauslisäaineiden vastaanotto ja tarkastus

Kaikille hitsauslisäaineille tulee suorittaa vastaanottotarkastus. Tarkastuksen suorittaa toimipisteen lisäaineista vastaava henkilö. Tarkastus suoritetaan lisäaineiden oston yhteydessä. Pätevyyskokeissa käytetään ainoastaan lisäaineita, jotka ovat tarkastettu ohjeen mukaan. Tarkastuksesta vastaava henkilö tarkastaa lisäaineen laadun, määrän sekä pak-
kauksen ehjyyden. Lisäaineiden ja pakkausten ollessa kunnossa, tarkastaja merkkää pak-
kaukseen varastointipäivämäärän.

9.1.2 Hitsauspuikkojen varastointi

Lisäaineet tulee säilyttää varastotilassa merkityillä paikoilla. Varaston lämpötilan tulee olla yli 15 °C. Suhteellinen kosteus pitää olla alle 60 %. Varastosta pitää mitata kaksi kertaa kuukaudessa kosteus ja lämpötila. Kondensoitumisen estämiseksi lisäaineet tulee varas-
toida alkuperäisissä pakkauksissa ja lämpötilan on annettava nousta huoneen lämpöiseksi ennen pakkauksen avaamista. Lisäaineita on siis varastoitava 12h ennen kuin niillä pystytään käyttämään hitsauksessa. (ESAB Oy. 2009, 5)

Varastointiajat on pidettävä mahdollisimman lyhyenä. Lisäaineiden käyttöönotto on aina vanhimmasta päästä. Ostopäivämäärä on merkattu pakkaukseen vastaanottotarkastuksen

yhteydessä. Varastointiaika ei saa ylittää puikkojen osalta kahta vuotta, eikä umpilankojen osalta kolmea vuotta, edellyttäen että pakkaukset ovat ehjiä.

9.1.3 TIG-lankojen ja MIG/MAG-umpilankakelojen varastointi

TIG-langat ja umpilankakelat eivät ole yhtä arkoja kosteudelle kuin päällystetyt hitsauspuikot, mutta käytännön syistä niitä säilytetään samassa varastossa. Lankojen pintojen täytyy olla puhtaat öljystä, rasvasta ja muusta liasta. Osittain käytetyt lankakelat pitää säilyttää omissa pakkauksissaan, jotka antavat hyvän suojan kosteutta ja pölyä vastaan. (ESAB Oy. 2009, 7)

Alumiinilisäaineet ovat seostamattomia ja niukkaseosteisia aineita hankalampia varastoitavaksi. Hitsin laatuun vaikuttaa lisäaineen puhtaus merkittävästi, minkä johdosta avatusta paketista otettavat alumiiniset lisäaineet on puhdistettava huolella laimealla alkaalisella liuoksella, kuten asetonilla. Kosteuden kanssa tekemisissä olleita alumiinilankoja ei voida uudelleen kuivata, sillä veden kanssa kosketuksissa olleen alumiinin pinnalle muodostuu alumiinihydroksia, johon on sitoutunut myös vetyä. Vety taas aiheuttaa hitsisulaan huokoisia. (ESAB Oy. 2009, 8)

Ruostumattomat langat ovat herkempiä kostumaan kuin seostamattomat ja niukkaseosteiset langat ja tämän takia ne pakataan alumiinifoliopussiin. Ruostumattomat ja alumiiniset langat pitää käytön jälkeen palauttaa varastoon. Lankoja ei saa jättää syöttölaitteeseen tai varaston ulkopuolelle pitkäksi aikaa. Hitsauksen jälkeen kelat on laitettava takaisin pakkauksiinsa ja tuotava takaisin lisäainevarastoon. Langan jäädessä pitemmäksi aikaa syöttölaitteeseen on siitä poistettava ainakin päällimmäinen kerros, jossa lanka voi olla hapettunut.

9.1.4 Uudelleenkuivaus

Hitsauspuikkojen kuivaukseen pitää ryhtyä, jos puikot ovat kostuneet. Rutiili- sekä emäspuikot voidaan uudelleen kuivata. Selluloosapäällysteisiä puikkoja ei saa uudelleen kuivata, vaan kostuneet puikot on hävitettävä. Varastossa avoimissa pakkauksissa olevat puikot kuivataan ennen käyttöönottoa. Kuivauksen jälkeen hitsaaja ottaa lisäaineet hitsaajakohotaiseen lisäainesäilöön, jonka lämpötila on hieman yli 100 °C. Työpäivän päätyttyä hitsaajan tulee viedä lisäaineet säilytyskaappiin, jonka lämpötila on 125 °C - 175 °C. (ESAB Oy. 2009, 9)

9.1.5 Käytetyt ja tuhoutuneet hitsauslisäaineet

Käytetyt ja tuhoutuneet lisäaineet voidaan hävittää normaalin metalliromun mukana. Poistoon meneviä lisäaineita ei voida säilyttää hitsaustiloissa, sillä on olemassa vaara että ne sekaantuvat käytössä olevien lisäaineiden kanssa. Tämä vältetään suorittamalla siivous joka päivä kun työt lopetetaan. (Salmela. 2012)

Puikkojen päällysteen värin muuttuessa varastoinnin aikana, puikot on vedettävä pois tuotannosta. Mekaanisesti varioituneet hitsauspuikot, joiden päällysteestä lohkeilee tai puuttuu paloja, eivät tule toimimaan kunnolla ja ne on hävitettävä. Kaikki hitsauslangat, joiden pinnalle on kertynyt ruostetta tai jotka ovat olleet pitkiä aikoja alttiina vedelle, kosteudelle ja ympäröivälle ilmalle pitää romuttaa, koska niiden alkuperäistä kuntoa ei saada takaisin. (ESAB Oy. 2009, 7)

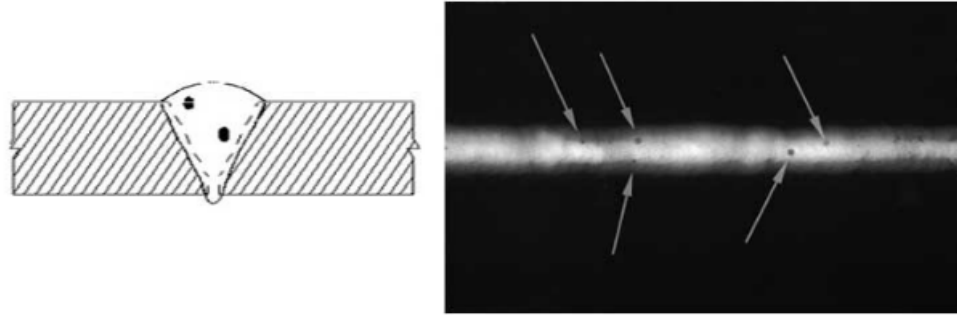
10 HITS AUSVIRHEET

Kappaleessa 5 on käsitelty hitsattavuuden rajoitteellisuudesta johtuvia hitsaussauman virheitä. Kun puhutaan varsinaisista hitsausvirheistä, tarkoitetaan sillä suoritustekniikassa tai hitsausparametreissa olevaa virhettä.

10.1 Huokokset

Puutteellinen kaasusuojaus aiheuttaa huokosia hitsaussaumaan. Suojakaasuvirtausta tulisi tällöin lisätä ja suutinetäisyyttä pienentää. Huokokset aiheutuvat hitsisauman sisälle jääneistä kaasuista, jotka eivät ehdi nousta sisältä ulos hitsisulan jähmettyessä. Kaasuhuokokset esiintyvät röntgenkuvassa pyöreinä näyttäminä (kuva12). (Ovako Oy, 2012, 18)

Puikkohitsauksessa huokosten syitä voivat olla puikon päällysteen kosteus tai epäkeisyys, liian pitkän valokaaren käyttö (päällysteen muodostama suoja jää liian heikoksi) tai liian pieni hitsausvirta, jolloin puikko syttyy sekä palaa huonosti. Rai-lopintojen epäpuhtaus on tavallinen syy hitsin huokosten muodostumiseen. Ruoste, valssihilse, rasva, lika, kosteus ja maali ovat hitsauksessa haitallisia ja lisäävät huokosmuodostusta. (Ovako Oy. 2012, 18)

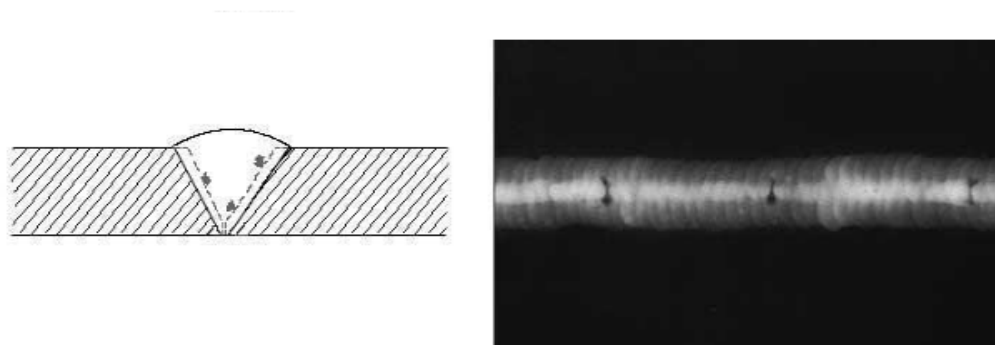


Kuva 12. Röntgenkuva hitsisauman sisällä olevista huokoisista.

10.2 Kuonasulkeumat

Hitsattaessa puikolla useampia palkoja, saattaa edellisen palon kuonaa jäädä sulamatta seuraavan pohjalle. Normaalisti valokaari sulattaa railossa olevan kuonan täydellisesti, mutta kuonajäämät kannattaa silti poistaa huolellisesti alemmista paloista. Kuonasulkeumia syntyy, kun kuonaa jää teräviin ja ahtaisiin koloihin. Virheellinen levityслиike saa aikaan reunahaavan railonkylkiin, minne kuona jää kiinni ja näkyy röntgenkuvissa kuonaviivoina (kuva13). (Ovako Oy. 2012,18)

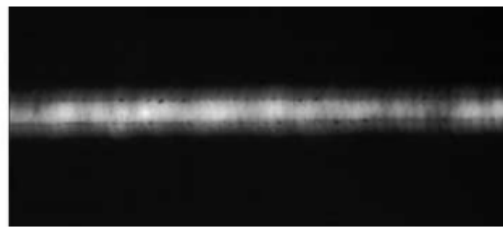
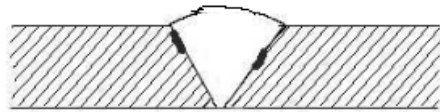
Myös palkokerrosten jyrkät liittymät aiheuttavat helposti kuonasulkeumia. Pohja- ja välipalkojen tulisi olla poikkileikkauksiltaan koveria. Koverasta ja tasaisesta hitsipinnasta kuona myös irtoaa helposti. Kuonasulkeumia voidaan välttää myös valokaaren oikealla suuntauksella ja lyhyellä valokaarella. Kuonasulkeumia voi jäädä hitsiin myös, jos seuraava palko hitsataan liian alhaisella virralla tai liian suurella hitsausnopeudella eikä lämpöä synny riittävästi sulattamaan kuonaa. Hitsattaessa rutiilipuikolla kuonasulkeumia syntyy helpommin kuin emäspuikolla, koska rutiilipuikon kuonan sulamislämpötila on korkeampi. (Ovako Oy. 2012, 18)



Kuva13: Kuonasulkeumia hitsisauman röntgenkuvassa

10.3 Liitosvirheet

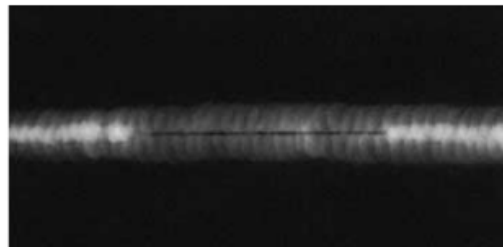
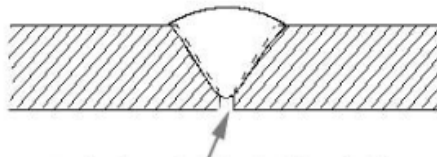
Liitosvirhe on seuraus hitsin ja perusaineen huonosta yhteensulamisesta niiden rajapinnalla (kuva14). Hitsausvirheistä tämä on yksi vakavimmista, eikä sitä voida sallia. Liitosvirhe voi syntyä, ellei lämmötuonti riitä perusaineen sulattamiseen ja sulaa lisäaine valuu kylmälle railonpinnalle, jolloin se estää kaaren tunkeutumisen perusaineeseen. Liitosvirheen muodostumista voidaan estää käyttämällä riittävästi hitsaustehoa, suuntaamalla valokaari siten, että se sulattaa perusaineen ja huomioimalla ettei hitsisula pääse vyörymään hitsattavan kohdan edelle. (Ovako Oy. 2012, 18)



kuva14: Liitosvirheen näkyminen röntgenissä.

10.4 Vajaa hitsautuminen

Tyypillinen juurivirhe on riittämätön läpihitsautuminen juuressa seurauksena liian pienestä ilmaraosta, paksun puikon käytöstä tai pitkästä valokaaresta. Hitsautumissyvyys voi jäädä liian pieneksi tai juuri voi jäädä vajaaksi (kuva15). Virhe voidaan välttää kuljettamalla puikko riittävän syväälle railoon aloituskohdassa tai jatkoskohdan hiomisella. Suurilla levyn vahvuuksilla voi olla hankalaa saada läpihitsautuminen tapahtumaan. Tällöin juurisauma kannattaa hitsata takapuolelta jos se vain on rakenteen puolesta mahdollista. (Ovako Oy. 2012, 18)

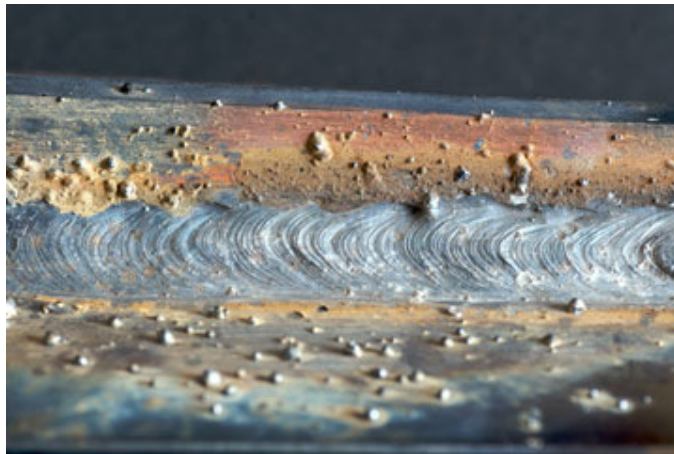


Kuva15: Vajaa juuren hitsautuminen ja sen näkyminen röntgenkuvassa

10.5 Roiskeet ja sytytysvirheet

Roiskeet huonontavat rakenteen ulkonäköä (kuva16). Metallin pinta on syytä suojata, jos halutaan moitteeton pinta. Roiskeet voivat johtua mm. vääristä hitsausarvoista, pitkästä valokaaresta, magneettisesta puhalluksesta, kosteista puikoista tai väärästä suojakaasusta. Mitä enemmän suojakaasussa on hiilidioksidia, sitä roiskeisempaa saumasta tulee. Hiilidioksidin hajotessa hiilimonoksidiksi ja hapeksi tapahtuu kaasun tilavuuden nousu, joka aiheuttaa hitsistä pois päin suuntautuvan voiman, mikä saa aikaan suuria työkappaleeseen kiinni hitsautuvia roiskeita. (Ovako Oy. 2012, 18)

Puikon sytytyksen tulisi tapahtua aina railossa, varsinaisen aloituskohdan edessä. Puikon sytytyskohtaan muodostuu tavallisesti pieni huokoinen alue ja myös pieni karennut vyöhyke, jossa on pieniä säröjä. Sytytysarvet pilaavat myös ulkonäköä. Kun sytytys tehdään aloituskohdan edessä ja hitsataan myöhemmin yli, virheet häviävät.



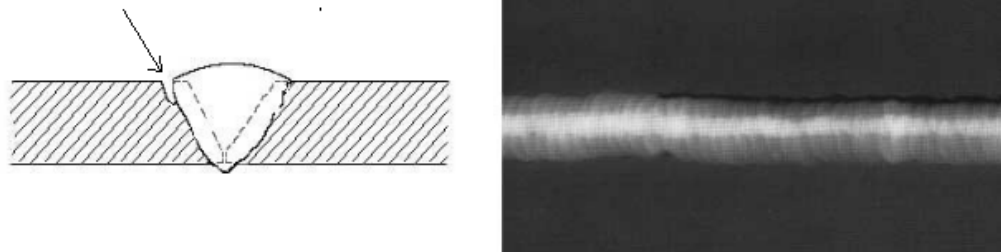
Kuva16: Hitsausroiskeita puikkohitsauksessa pitkän valokaaren takia.

10.6 Imuontelo

Virhe syntyy tavallisesti pohjapalon hitsauksessa palon lopetuskohtaan. Sula jähmettyy railon kyljiltä päin ja aiheuttaa pintaan asti ulottuvan kutistumaonkalon. Virheet voidaan välttää pienentämällä virtaa ennen kaaren sammutusta tai kuljettamalla valo-kaari valmiin hitsin päälle ja sammuttaa se siihen, tai jatkamalla hitsausta apupalojen päällä ja siten välttää imuontelon syntyminen itse työkappaleeseen. (Ovako Oy. 2012, 18)

10.7 Reunahaavat

Reunahaava on kolo tai ura hitsisauman reunassa (kuva17). Niitä syntyy, kun valokaaren sulattama perusaine valuu tai ajautuu pois, eikä hitsiin tuotu lisääine täytä sulatettua kohtaa. Tavallisesti reunahaava on seuraus liian suuresta virrasta tai jännitteestä, pitkästä valokaaresta tai väärästä kuljetustekniikasta. Liian lyhyt pysähdys railonreunalla saa helposti aikaan reunahaavan. Pienahitsauksessa reunahaava muodostuu pystylevyn ja hitsin liitoskohtaan, jos puikkoa pidetään liiaksi pystyasennossa tai virta tai jännite on liian suuri. Reunahaava heikentää erityisesti liitoksen väsymiskestävyyttä. (Ovako Oy. 2012, 18)



Kuva 17. Reunahaava röntgenkuvassa

11 RIKKOMATON AINEENKOETUS

Edellisessä kappaleessa mainittuja hitsausvirheitä pyritään löytämään ja havaitsemaan erilaisin aineenkoetuskokein. Koekappaleille suoritetaan aina ensin rikkomattomat aineenkoetukset, jonka jälkeen suoritetaan koekappaleiden rikkovat tarkastusmenetelmät. Se mitä kokeita kullekin kappaleelle suoritetaan, on riippuvainen mihin laatu- luokkaan pyritään ja mistä liitosmuodosta on kyse.

11.1 Hitsien silmämääräinen tarkastus

Silmämääräinen tarkastus tehdään ennen muita NDT - menetelmiä tai näiden yhteydessä. Monipalkohitsauksessa silmämääräistä tarkastelua on suoritettava myös hitsauksen aikana, koska pintapalot peittävät mahdolliset pohjapalot ja niissä mahdollisesti olevat virheet. Tarkastuksessa voidaan käyttää helpottamaan virheiden havaitsemiseen apuvälineitä kuten suurennuslasia, kohdevaloa, peiliä ja mikroskooppia. Sil-

määräisessä tarkastuksessa voidaan tunnistaa hitsin pinnassa olevat virheet kuten liitoksen sovitusrvirheet, liittymäkulmat, hitsin pinnan muoto, hitsin tasaisuus, hitsikuvun korkeus, pienahitsin a-mitta tai z-mitta, läpihitsautuminen, reunahaava, pintaan ulottuvat halkeamat, huokokset, sytytysvirheet ja roiskeet. (Pettinen. 2006, 41)

11.2 Kovuuskoe

Kovuuskoe luokitellaan rikkomattomaan aineenkoetukseen, vaikka se teoreettisesti tekeekin pienen jäljen kappaleeseen. Tässä työssä käytetään ja tarkastellaan Vickersin kovuuskoetta. Vickersin kokeessa timanttipyramidin kärkeä painetaan tietyllä kuormalla kappaleeseen. Painauman lävistäjät mitataan, josta lasketaan HV-arvo. Kovuusmittaukset eivät anna kertamittauksella luotettavaa tulosta, vaan tuloksia täytyy käsitellä tilastollisesti. (Pettinen. 2006, 41)

11.3 Magneettijauhetarkastus

Magneettijauhetarkastuksessa havaitaan hitsin pintavirheet, kuten huokokset, halkeamat, säröt ja liitosvirheet. Kappale maalataan valkoiseksi kontrastivärillä, jonka jälkeen tarkasteltava kohde magnetisoidaan kelan tai ikeen avulla. Magnetisoidun hitsin päälle suihkutetaan magneettijauhe, jolloin se kerääntyy virhekohtiin. Säröt ja halkeamat häiritsevät niitä vasten kohtisuoraan kulkevan magneettikentän kulkua. Tarkastajalta vaaditaan SFS-EN 473 taso kahden mukainen pätevyys menetelmän käyttöön. (Pettinen. 2006, 43)

11.4 Tunkeumanestetakastus

Tunkeumanestetakastuksessa havaitaan magneettijauhetarkastuksen tapaan pintaan ulottuvat virheet. Menetelmä soveltuu parhaiten ei-magneettisten materiaalien tarkastukseen, mihin magneettijauhetarkastus ei sovellu. Tarkastettavalle pinnalle suihkuteetaan tunkeumaneste. Vaikutusajan jälkeen ylimääräinen neste pyyhitään huolellisesti pois ja pinnalle levitetään huokoinen, valkoinen kehite, joka imee säröistä tunkeumanesteen itseensä ja näin särön kohdalle syntyy näyttämä. (Pettinen. 2006, 43)

11.5 Radiograafinen tarkastus

Röntgen on laadunvarmistusmenetelmistä varmin ja sen avulla huomataan myös pintaan ulottumattomat virheet. Tarkastettavan kohteen toiselle puolelle asetetaan säteilylähde ja vastakkaiselle puolelle filmi joka valotetaan säteilyllä. Säteily läpäisee virhekohdat helpommin kuin umpinaisen aineen, jolloin virheet esiintyvät filmissä ympäristöään tummempana. (Pettinen. 2006, 44)

11.6 Ultraäänitarkastus

Ultraäänellä havaitaan myös pintaan ulottumattomat virheet, kun luotaimella lähetetään korkeataajuisia äänipulseja tarkastettavaan kappaleeseen. Ehyessä aineessa ääni kulkee suoraan ja heijastuu kappaleen rajapinnasta takaisin josta saadaan pohjakaiku. Kappaleen sisällä olevasta virheestä ääniaalto heijastuu takaisin pohjakaikua aikaisemmin. Menetelmää käytetään yleensä hitsauksen yhteydessä vain toissijaisena tarkastusmenetelmänä. (Pettinen. 2006, 44)

12 RIKKOVA AINEENKOETUS

12.1 Murtokoe

Murtokoe suoritetaan pienahitseille. Se antaa hyvän kuvan tunkeumasta, yhteensulamisesta ja huokosten esiintymisestä. Hitsaussaumaan leikataan ura, jotta murron rajapinta syntyy hitsiin. Tämän jälkeen hitsatut levyt taivutetaan voimalla irti toisistaan, jolloin hitsiä päästään tarkastelemaan silmämääräisesti sisältäpäin. (Pettinen. 2006, 45.)

12.2 Taivutuskoe

Taivutuskoe suoritetaan päittäisliitoksille. Menetelmä antaa näytteen muutosvyöhykkeen muovattavuudesta ja lisäksi tuo esille hitsin pinnassa olevat virheet. Ennen koetta hitsin kupu hiotaan tasan perusaineen pinnan kanssa, jonka jälkeen levy taivutetaan U:n muotoiseksi tuurnan ympärille. (Pettinen. 2006, 45)

12.3 Iskukoe

Iskukokeessa tarkastellaan sauman ja muutosvyöhykkeen iskusitkeyttä. Lisäksi kappale katkeaa helpommin jos siinä on lovi, pintavika tai naarmu. Metallien iskusitkeys heikkenee kylmissä lämpötiloissa, joten kokeet tehdään yleensä jäädytetyille kappaleille. (Pettinen. 2006, 45)

12.4 Makrohietutkimus

Makrohietutkimuksella tutkitaan murretun hitsausauma rajapintaa pelkkää silmämääräistä tarkastelua tarkemmin. Tutkittava rajapinta karkeahiotaan tasaiseksi, syövytetään ja lopuksi vielä viimeistelyhiotaan, jolloin kappaleessa olevat halkeamat tulevat näkyviin. (Pettinen. 2006, 46)

13 HITS AUSLAADUN PARANTAMINEN SIX SIGMAN AVULLA

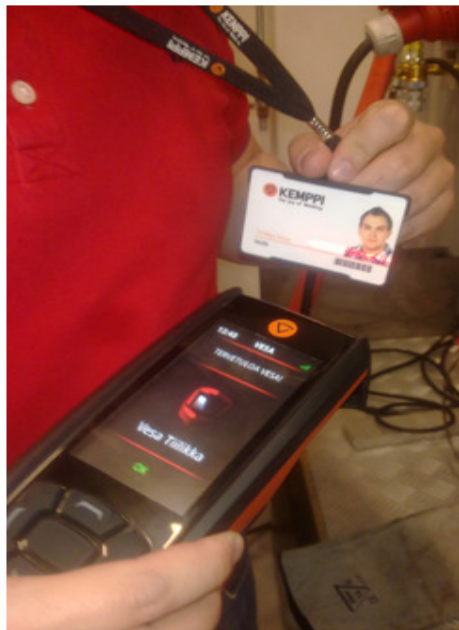
Six Sigman tarkoitus vähentää haitallisia poikkeamia tuotannossa sopii erinomaisesti hitsaukseen. Tavallisesti hitsauksen laadunhallinnassa seurataan ja säädetään hitsauksen perussuureita virtaa, langansyöttöä ja jännitettä. Säättöjen perusteella arvioidaan ja ennakoidaan syntyvän hitsin laatua. Six Sigma menetelmää toteuttaen normaalien säätöarvojen (virta ja jännite) sijaan on myös etsitty tehokkaampia muuttujia, jotka vielä paremmin kuvaavat poikkeaminen syntymekanismia ja auttavat laatuvirheen havaitsemisessa. Reaaliaikaisen hitsausparametrien seurantajärjestelmää käyttäen pystytään laskemaan näitä edellä mainittuja monimutkaisempia ja tehokkaampia muuttujia, kuten virran keskijäntöä ja tehospektriä, suoraan reaaliajassa. Näille tärkeille hitsaukseen laatuun vaikuttaville muuttujille voidaan syöttää raja-arvot, joiden ylittäminen aiheuttaa hälytyksen. Reaaliaikaisen hitsausparametrien seuraamisen avulla pystytään parantamaan hitsin tasalaatuisuutta tehokkaammin verrattuna pelkästään normaaliin virran ja jännitteen seuraamiseen.

13.1 Hitsauksen monitorointi

Hitsausliitoksille jälkikäteen tehtävä rikkomaton aineenkoestus (NDT) on erittäin oleellinen työvaihe, mutta sen avulla ei saada täysin luotettavaa kuvaa hitsauksen onnistumisesta. Sen takia on tärkeää, että valvontatoimenpiteitä kohdistetaan myös käytettyjen työmenetelmien valvontaan itse hitsaustapahtuman aikana. Tähän Kemppi Oy

on kehittänyt uuden laadunhallintasovelluksen. Kävin tutustumassa sovellukseen jo keväällä 2013, pari viikkoa ennen konseptin virallista julkaisuajankohtaa. Ohjelmalla pystytään kontrolloimaan kattavasti, että hitsaus sujuu ohjeiden mukaisesti. Järjestelmä raportoi poikkeamat automaattisesti ja tosiaikaisesti. (Mäki. 2012)

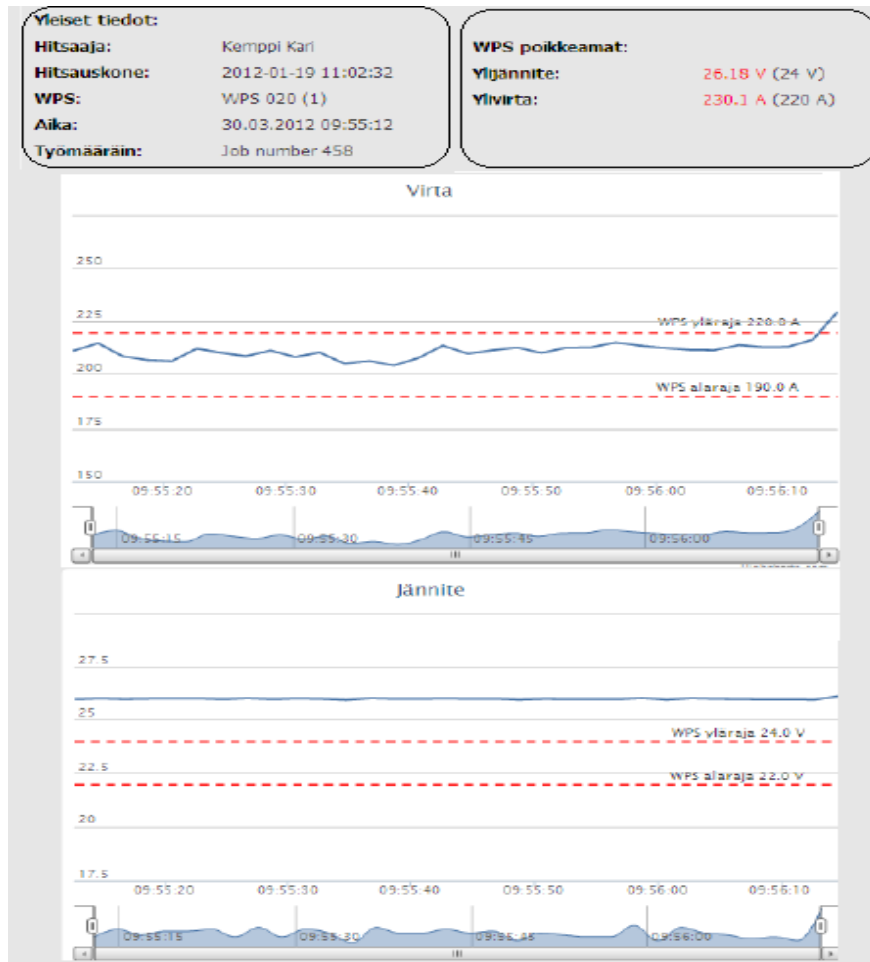
Sovellus valvoo reaaliaikaisesti noin 30 sekunnin viiveellä, että hitsausprosessin aikana hitsausvirran ja kaarijännitteen vaihteluvälit pysyvät sallittujen raja-arvojen sisällä, jotka on määritelty ennalta hyväksytyssä hitsausohjeessa. Jälkikäteen myös hitsausnopeutta voidaan tarkastella kun tiedetään hitsattavan koekappaleen pituus. Hitsausparametrien mittausta ja dokumentointia eivät anna suorankädentietoa hitsauksen onnistumisesta, mutta täydentää erittäin hyvin silmämääräistä tarkastelua.



Kuvat 18.1 ja 18.2 Kempin laadunhallintasovelluksen viivakoodinlukijalaite, jolla skannataan hitsaajan henkilökortti ja hitsausohje.

Laadunhallintasovelluksen työkaluna toimii kämmentietokone, jonka avulla saadaan laadunhallintajärjestelmään skannattua tiedot mm. hitsaajasta, WPS:stä, lisäaineesta ja suoja-kaasusta. Pätevyyskokeen valvontaan liittyen kuitenkin tarpeellisimmat tiedot ovat henkilöllisyyden todentaminen (kuva 18.1) ja WPS:n skannaaminen (kuva 18.2), jotta hitsauskoneesta mitattuja hitsausparametreja voidaan verrata hitsausohjeesta ilmeneviin vaadittuihin raja-arvoihin.

Kun WPS ja hitsaajan henkilötiedot ovat skannattu ohjelmaan, voidaan hitsaus aloittaa. Kone lähettää automaattisesti langattoman verkon välityksellä tarvittavat tiedot ja ilmoittaa reaaliaikaisesti, jos hitsauksessa havaitaan laatupoikkeama. Raportti voidaan myös tulostaa todisteeksi laadunvalvonnasta, vaikka hitsaus olisi onnistunut ilman laatupoikkeamia. Raportista nähdään raja-arvot joiden sisälle hitsausvirran ja kaarijännitteen tulee olla, sekä käyrä toteutuneista hitsausarvoista. Käyrän aika-akselia voidaan tarkastella 0,1 sekunnin tarkkuudella. (kuva 19)



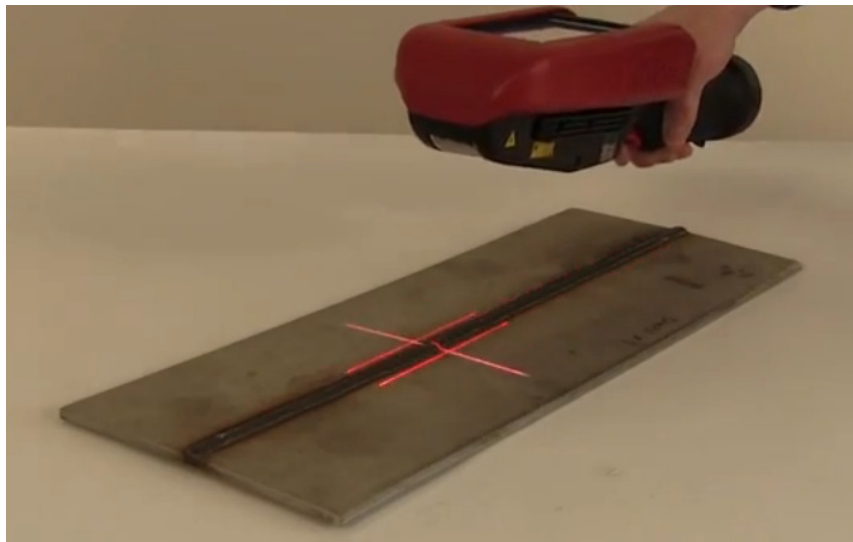
Kuva 19. Kuvankaappaus laatupoikkeamaraportista

Tosiaikainen ja läpi koko valokaaren palamisajan suoritettava hitsausarvojen seuranta on erittäin käyttökelpoinen ratkaisu pätevyyskokeen valvontaan. Pidän todennäköisenä, että hitsauksenaikainen monitorointi tulee tulevaisuudessa yleistymään huomattavasti ja tulee yleiseksi käytännöksi hitsauksen laadunvalvontamenetelmiin ja standardeihin. Koulutuskeskus Salpauksen strategian tavoitteiden mukaisesti pyrimme olemaan kansallinen huippuyksikkö. Ensimmäisenä hitsauspätevyksiä myöntämänä or-

ganisaationa Suomessa tavoitteena on myös ottaa käyttöön hitsauksen aikainen monitorointi osaksi pätevyyskokeiden valvontaa.

13.2 Hitsaussauman dimensioiden mittaaminen

Hitsausten tarkastus tehdään perinteisesti silmämääräisesti käyttäen apuna perinteisiä käsimittavälineitä, kuten esimerkiksi hitsaussauman kateetin mittaamiseen tarkoitettua A-mittaa. Nykyaikaisten laseria ja strukturoitua valoa hyödyntävien 3D-kuvantamislaitteiden avulla pystytään mittaamaan myös seuraavia hitsisaumojen ulkopuolisia dimensioita: A- ja Z-mittaa, kateetipoikkeamaa sekä kulmavirhettä. [kuva 20] Mittatarkkuus tämän kaltaisilla laitesovelluksilla on 0.1mm, joka on siis ihmisilmää tarkempi. Lisäksi mittatuloksen antaa tekninen laite, eikä tuotteen hyväksyminen tai hylkääminen perustu tarkastajan arvioon tai mielentilaan.



kuva 20: Hitsisauman ulkopuolisten dimensioiden tarkastamista konenäöllä

14 MATERIAALINHALLINTA

Pätevyyskokeessa käytetyn perusaineen tulee olla ns. tunnistettua materiaalia. Tämä tarkoittaa sitä, että sillä on oltava sulatusnumero ja kokeen valvonnan suorittavalla organisaatiolla on oltava materiaalitodistus, jonka perusteella materiaaliryhmä on määriteltävissä. Materiaalia leikattaessa sulatusnumeron yhteys on varmistettava jokaiseen kappaleeseen. Liitteessä 6 on esimerkki materiaalitodistuksesta.

15 HITSAUSOHJE

Pätevyyskoehitsausten tulee perustua menetelmäkokeilla hyväksyttyihin hitsausohjeisiin (WPS). Koehitsari suorittaa oman luokkahitsauksensa aina hitsausohjeen avulla. Hitsausohjeiden laatiminen aloitetaan tarpeiden kartoituksella - toisin sanoen kartoittamalla mitä pätevyiksi tullaan myöntämään. Tämän jälkeen hankitaan tarvittavat lisäaineet ja materiaalit ainetodistuksineen.

Ennen virallista hitsausohjetta on tehtävä esihitsausohje (pWPS), josta tulee käydä selville hitsattavaan menetelmäkokeeseen tarvittavat hitsausparametrit, perusaineet, voimassaoloalue, hitsausprosessi, liitoksen kuva ja hitsausjärjestys. Tärkeitä parametreja ovat hitsausvirta, jännite, lämmöntuonti, lisäaine, lisäaineensyöttö- ja kuljetusnopeus sekä käytettävä suojakaasu. Alustavan hitsausohjeen arvot määritetään kirjallisuudesta tai kokemuksen perusteella.

Menetelmäkoe hitsataan tämän jälkeen esihitsausohjeen mukaan. Menetelmäkokeessa hitsataan näytekappale. Näytekappaleen tekemiseen tarvitaan hitsaaja, jolla on voimassa kyseinen pätevyystodistus. Pätevöittäjä suorittaa koekappaleelle kaikki tarvittavat testaukset, jonka jälkeen hyväksytystä koekappaleesta laaditaan testauspöytäkirjat ja menetelmäkoepöytäkirja (WPQR) hitsausohjeen tekijälle, joka näiden tietojen perusteella kirjoittaa lopullisen hitsausohjeen. Standardissa SFS-EN 15607 on esitetty ohjeellinen kulkukaavio WPS:n luomisesta. (Liite 6)

15.1 Hitsauskoneiden standardihitsausohjeet

Muutamit johtavat hitsauskonevalmistajat ovat laatineet yleisimmistä hitsausliitoksista standardihitsausohjeita ja hyväksyttäneet ne suorittamalla menetelmäkokeet laatimilleen hitsausohjeille. WPS:t on tallennettu hitsauskoneen omille muistipaikoille.

Silloin kun hitsausohjeen sisältämä muistipaikka on valittuna, hitsausparametrien säätömahdollisuus rajoitetaan niin, että mitään käyttöpaneelista säädettävissä olevia parametrien asetusarvoja ei pystytä säätämään WPS:n määrittämien reunaehtojen ulkopuolelle (Jauhiainen. M 2013). Käyttämällä hitsauskonevalmistajien laatimia ja hyväksyttyjä WPS:ä yritys saa helposti käyttöönsä korkeat laatuluokat täyttäviä hitsausohjeita yleisimmille hitsauksille, eikä joudu teettämään niin paljoa kalliita menetelmäkokeita.

Esiasetettuja WPS:ä käyttämällä myös hitsauksen laatu ja suoritusvarmuus paranee, sillä hitsaukseen käytettäviä virta- ja jännitearvoja ei voida käyttäjän toimesta tahattomasti säätää virheelliseksi koska säätöpotentiometrien säätöalue on teknisesti rajoitettu. Hitsaajan vastuulle jää kuljetusnopeuden, poltinkulman sekä muiden suoritusmekaniikkaan liittyvien asioiden oikeaoppinen suorittaminen.

16 PÄTEVYYKSIEN MYÖNTÄMINEN JA HALLINNOINTI

Hitsauspätevyys osoitetaan standardien mukaisella hitsauskokeella, jonka valvoo akkreditoitu tarkastuslaitos. Kokeen valvojalla tulee itsellään olla kyseinen luokka suoritettuna ja hänellä tulee olla suoritettuna hitsausneuvojan (IWS) tai hitsausinsinöörin (IWE) tutkinto. Hyväksytysti suoritetusta hitsauskokeesta hitsaaja saa nk. hitsaajan pätevyystodistuksen. Pätevyystodistus on voimassa kaksi vuotta edellyttäen, että hitsaaja on hitsannut pätevyysalueellaan olevia töitä ja hänen hitsaamistaan hitseistä löytyy vähintään kaksi tarkastettua hitsiä kuuden kuukauden ajalta, jolloin yrityksen hitsauskoordinaattori voi jatkaa pätevyyttä seuraavat kuusi kuukautta. Muuten pätevyys vanhenee kuuden kuukauden jälkeen. Kahden seuraavan vuoden jatkon voi myöntää vain tarkastuslaitos. Liitteessä 8 kopio IWS tutkintotodistuksesta.

Pätevyystodistusten luominen ja hallinnointi tulee työlääksi ja toistuvaa työtä joudutaan tekemään usein, koska myönnettäviä pätevyystodistuksia on paljon. Lisäksi Hitsausalan standardit päivittyvät lyhyin aikavälein, jolloin pätevyysalueiden muistaminen tai standardin kirjasta tarkastaminen on työlästä.

16.1 Hitsari Pro -pätevyyskokeiden hallintaa

Tämän insinööriyön johdosta otettiin Koulutuskeskus Salpauksessa käyttöön Carelsoft Oy:n kehittämä Hitsari Pro – ohjelmisto, joka on suunniteltu hitsausohjeiden ja pätevyystodistusten luomiseen ja hallinnointiin. Ohjelman tietokantaan syötetään hitsaajan pätevyyskokeissa käytettävät hitsausohjeet (WPS:t), tiedot hitsaajasta sekä suoritettavan hitsauskokeen dimensiot. Tietojen pohjalta ohjelma alustaa automaattisesti pätevyysalueet ja tulostaa pätevyystodistuksen voimassaoloalueineen. Tulostettu pätevyystodistus liitteessä 8.

Ohjelma myös arkistoi myönnettyt todistukset tietokantaansa ja valvoo niiden voimassaoloa. Halutun hitsarin kaikki voimassaolevat hitsauspätevyudet voidaan tulostaa liitteen 9 mukaiselle yhteenvetolomakkeelle. Tämä hitsaajanpassi ja pätevyystodistukset annetaan oppilaalle päättötodistuksen mukana.

17 SIISTI TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Siisteys ja järjestys ovat merkittävässä roolissa kun puhutaan hyvästä ja laadukkaasta toiminnasta. Tähän oivana työkaluna on maailmanlaajuisesti tunnettu 5S menetelmä. Työskentely on tehokkaampaa ja turvallisempaa sillä tarvittavat työkalut ovat helposti löydettävissä eikä työpisteiden ympäristössä ole ylimääräisiä tavaroita tai tuotteita jotka häiritsevät työskentelyä. Siisteys ja järjestys ovat myös vahva visuaalinen mittari arvioitaessa laadukasta toimintaa.

Lajitteluvaiheessa kaikki työpisteellä tai sen läheisyydessä oleva materiaali analysoidaan ja selvitetään jokaisen tavaran käyttötarkoitus. Tämän jälkeen luokitellaan tavarat joko tarpeellisiksi tai tarpeettomaksi. Kaikki turha poistetaan työpisteiltä, joko hävittämällä tai varastoimalla. Tarpeelliseksi katsotulle materiaalille järjestetään säilytyspaikat (Tuominen. 2010, 20).

Järjestämisvaiheessa kaikki laitteet, välineet, osat, komponentit, materiaalit jne. on järjestetty kukin paikoilleen. Toisin sanoen kaikki on helposti saatavilla ja nähtävillä. Laitteiden varoitusten ja opasteiden pitää olla selkeästi merkitty. Järjestelyä varten rakennetaan työvälineiden säilytykseen seinätauluja, hyllyjä ja lukittavia kaappeja. (Tuominen. 2010, 20)

Siivousvaiheessa työpiste siivotaan huolellisesti ja luodaan selkeät ja yksinkertaiset siivousohjeet. Pohditaan mitkä ovat työpisteen likaantumisen syyt ja eliminoidaan ne. Paikka pidetään siistinä. Siivousta tulee harjoittaa päivittäin, viikoittain ja kuukausittain. (Tuominen. 2010, 21)

Salpauksen metalliosastolla 5s otettiin käyttöön niin, että ensin opettajat tekivät suunnitelman uudesta layoutista jonka jälkeen koko paja siivottiin. Tämän jälkeen siisteyttä ja järjestystä on ylläpidetty siten, että jokainen opiskelija siivoaa valvotusti omat jälkensä päivän päätteeksi ja joka perjantai tehdään laajempi siivous. Puolivuositain tehdään suursiivous. Kaikki siivoukset suoritetaan tarkastuslistan mukaan.

Alkuun oppilaiden keskuudessa muutos oli vaikea, mutta noin kolmen kuukauden totutteleminen jälkeen alkoi päivittäiset ja viikoittaiset siivoukset muodostua rutiiniksi. Oppilaat tiedostivat itsekin, että hyvässä järjestyksessä olevassa ympäristössä on mukavampi työskennellä. Nykyisin päivittäiselle siivoukselle ei tarvita edes muistutusta ja viikoittainenkin siivous hoituu huomattavasti pienemmällä työnjohdon panoksella kuin projektin alkuaikoina.

18 LEAN-AJATTELUN TOTEUTUS SALPAUKSEN HITSAUSOSTOLLA

Leania hyödynnettäessä Salpauksen kolmannen lukuvuoden hitsausalan opiskelijoille teetettiin kaksi erillistä koetta. Ensimmäisessä arvioitiin hitsaajien laadullista suoritusvarmuutta, toisessa tutkittiin syntyvän hukan määrää hitsauslisäaineiden osalta.

18.1 Suoritusvarmuus, koe 1

Kokeessa testattiin hitsausalan opiskelijan laadullista suoritusvarmuutta pienahitsien osalta. Kaikki hitsaajat laitettiin hitsaamaan helppo koehitsi (FWBb) josta he olivat jo aiemmin saaneet pätevyystodistuksen. Kokeeseen liittyvän kyselyn tuloksena opettajat olettivat kaikkien opiskelijoiden suoriutuvan testihitsauksesta hyväksytysti.

Hitsisaumojen poikkileikkaukset tutkittiin. Hyväksymisrajoiksi asetettiin täydellinen tunkeuma sekä silmämääräisen tarkastuksen läpäisy standardin EN3834: mukaisesti

Kuudestatoista hitsaajasta kaksitoista onnistui tekemään hyväksymisrajat täyttävän pienahitsin. Tästä havaittiin, että hitsaajien ammattitaidossa oli parannettavaa ja opittuja taitoja on pidettävä järjestelmällisesti yllä, eikä olettaa kerran osattujen taitojen pysyvän luonnollisesti yllä.

18.2 Hävikin ja hukkan hallinta, koe 2

Toisessa Lean-prosessiin liittyvässä kokeessa annettiin hitsaajalle ohjeeksi tehdä monipalkoinen alapienahitsi (FWBbMI) siten, että valmiin hitsausnaaman vaadittu a-mitta on 7mm. Kuudentoista hitsaajan koekappaleista mitattujen hitsisaumojen keskiarvoinen a-mitta oli 8,8mm joista pienin 7,9mm ja suurin 10,5mm.

Kokeen tuloksena lisäainehukka oli 58 % joka johtui siis ylisuuren a-mitan hitsaamisesta. Virhe korostuu entisestään, mikäli myös suunnittelija ylimitoittaa suunnittelemansa hitsausliitoksen dimensiot.

Tehdyn testin avulla siis huomattiin, että lisäainehukka oli prosentuaalisesti huomattavan suuri, vaikka hitsaajille tehdyn kyselyn tuloksena 1,8mm liian suurta a-mittaa ei käsitetty kovinkaan suureksi virheeksi. A-mitan säännönmukaisella käyttämisellä vältetään ylisuurilta a-mitoilta ja saadaan merkittäviä säästöjä lisäaine- ja valmistuskustannuksissa.

Edellä olevista Lean prosessiin liittyvistä kokeista saadut havainnot ja toimet ovat Lean-ajattelun mukaista toimintaa. Laadukkuuteen panostetaan parantamalla hitsaajien ammattitaitoa sekä kartoittamalla kohteita, joista syntyy hukkaa tai turhaa työtä. Nämä ovat tärkeitä lähtökohtia toiminnan tehokkuuden parantamisessa.

19 YHTEENVETO

Päättötyön projektin tuloksena toteutettiin Päijät-Hämeen Koulutus konsernin toisen asteen ammatillista koulutusta järjestävän Koulutuskeskus Salpauksen kone- ja metalliosastoille useita toimenpiteitä, joiden avulla hitsauksen laadunhallintaa pystyttiin pa-

rantamaan. Näiden toimenpiteiden ansiosta pystyttiin läpäisemään SHY:n asettamat laatuvaatimukset, jonka johdosta Päijät-Hämeen koulutus konserni sai järjestämisluvan IW koulutuksen järjestämiseen.

Projektiin kuului mm. hitsaajien pätevyyskokeiden ja hitsausohjeiden ylläpitoon ja hallinnointiin suunnitellun Hitsari Pro -ohjelmiston hankinta, käyttöönotto ja räätälöinti. Työhön kuului myös hitsausohjeiden laatiminen hitsaajan pätevyyskokeita varten, laatukäsikirjan laatiminen, sekä useiden laatua parantavien käytännön toimenpiteiden koordinointi ja toteutus.

Opinnäytetyöni kirjallinen osuus ei varsinaisesti sellaisenaan palvele Päijät-Hämeen koulutus konsernia, vaan työni on raportti projektin sisällöstä. Työhön on koottu myös hitsaukseen liittyvää teoriaa, jota on tarvittu mm. hitsausohjeiden ja laatukäsikirjan laatimiseen. Insinöörityöni oli siis pikemminkin toiminnallinen työ, kuin alaan liittyvä tutkimus. Työn tuloksena otettiin käyttöön uusia innovatiivisia ratkaisuja ja teorian lähdetietoina on käytetty nykypäivän uusimpia tietoja monipuolisesti, useita eri lähteitä käyttäen.

Projektin jälkityönä Päijät-Hämeen metallialan yrityksiä informoidaan koulutuksesta, jotta he voivat tulevaisuudessa hyödyntää valmistuneiden oppilaiden tietotaitoa ja virallista pätevyyttä suorittaa vaativia hitsauksia. Lisäksi työelämäyhteistyön avulla koulutuksessa suoritettavia pätevyysalueita voidaan räätälöidä myös lähiseudun yritysten todellisiin tarpeisiin.

LÄHTEET

Ala-Kojola, L. 2013 Teknoliateollisuuden puheenvuoro, Kone- ja Metallialan kehittämisseminaarissa Vaasassa 6.6.2013 -Seminaariluento

Beijing Smartech Corporation (kuva)

http://www.bikudo.com/product_search/details/96990/ceramic_weld_backing.html - WWW-sivu [Viitattu 18.11.2014]

directindustry.com (kuva)

http://www.directindustry.com/prod/leifert-induction-gmbh/pre-heating-before-welding-induction-coils-flexible-112885-1188993.html#product-item_1101343 - WWW-sivu [Viitattu 20.11.2014]

ESAB Oy 2009, itsauslisäaineiden varastointi ja käsittelyohjeet -Tekninen käsikirja

Halonen, J Team leader. 10.05.2012. Helsinki, ESAB Oy (tieto perustuu ESAB:n lisäaineiden myyntiin vuonna 2011.) -Puhelinhaastattelu

International Institute of Welding 2010, Improving the quality and effectiveness of welding by utilizing the standard ISO 3834, International Institute of Welding, ROISSY CH DE GAULLE CEDEX – FRANCE

Iso-Markku, S. 2012 Hitsausvirtälähteen ohjaus lämmöntonnin ja jatkuvan jäähtymisen S-käyrän perusteella. Lappeenranta University on technology - Diplomityö

Jauhianen, M, 2013. Haastattelu 14.2. 2013 Lahti, Kemppi Oy.

Jylhä, K. 1994, TIG- ja MIG/MAG-hitsauksen suojakaasut, Hitsaustekniikka 4 / 94 - Lehtileike

Kajaste, V. - Liukko, T.1995. Lean-toiminta, Suomalaisten yritysten kokemuksia. - Kirjallinen Lähde

Karjalainen, S. Haastattelu 05.06.2012. Tampere, Pronius Oy.

Kemppi Oy 2010, Koulutus CD, hitsaustekniikat - Multimedia

Kemppi Oy, 2012, Tuoteluettelo 2012-2013. -Tuotekuvasto

Kotkajuuri, P. 1986, MIG/MAG-, TIG- ja plasmahitsauksen suojakaasut, osa 1, Hitsaustaito 1/83

Leino, K., Karppi, R. & Hentula, M. 2008 Suomalaisen hitsaustuotannon kilpailukyky. VTT -Tutkimusraportti.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2010 Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Sanoma Pro, Helsinki

Lincoln Electric 2012, Equipment Catalog 2012 -Tuotekuvasto

Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka – Perusteet ja kaarihitsaus. 4. painos. Opetushallitus, Helsinki

Lukkari, J. 2003a. Lämmöntuonti ja hitsausenergia, osa 1. Hitsausuutiset, 2/2003

Lukkari, J. 2003b Ruostumattomien putkien TIG-hitsien juurensuojaus. Hitsaustekniikka3/03, s. 5-9. -Lehtileike

Martikainen, J. 2010. Hitsausmetallurgia. Lappeenranta: -Luentomateriaali

Martikainen, J. 2009. Hitsauksen laadunvarmistus, Lappeenrannan teknillinen yliopisto Lappeenranta, - Luentomateriaali

Mäki, M. Haastattelu 27.06.2012 Lahti, Kemppi Oy

Mäkimaa, T. & Uusitalo, J. 2007. Lämmöntuonnilla yhä merkittävämpi osa hitsauksen suunnittelussa. Kemppi ProNews, 2/2007, s. 31–33. -Lehtileike

Ovako Oy. 2012, Ovakon terästen hitsaus 2012 - Tekninen käsikirja

Oy AGA Ab, 2008 Suojakaasukäsikirja -Tekninen Tuotekuvasto

Pettinen, R, 2006. Hitsauksen Materiaalioppi, Suomen Hitsaustekninen Yhdistys. Helsinki

Pronius Oy, 2012, Tuote-esite, CMT-pulssitekniikka. -Tekninen käsikirja

Salmela, A. Haastattelu 15.05.2012. Lahti: Kuusakoski recycling Oy.

SFS-EN 1011-2, 2001 Metallisten materiaalien hitsaussuositukset, Osa 2. -Standardi

Sun, M. 2009. Quality management of outsourcing welded structure: case China. Lappeenranta University on technology. -Diplomityö

Tuominen, K. 2010,. Lean – kohti täydellisyyttä. Readme.fi Oy, Tampere

Wallius hitsauskoneet Oy Wallius T, -Sähköposti haastattelu

Wallius, T. Haastattelu 04.06.2012. Tampere, Wallius Hitsauskoneet Oy.

Valtanen, E. 2008, Tekniikan Taulukkokirja, 16.painos. - Otava, Tampere

Vähäkainu, O. 2003. Rautaruukin teräkset hitsaajan opas 2003. 3. painos. Otava, Keuruu. -Tekninen käsikirja

Liite 1:Luettelo vaadittavista toimenpiteistä

Laatuvaatimukset EN-ISO 3834-1 mukaan

	Kohde	Laatuvaatimus
1	Vaatumusten Katselmus	Katselmus ja pöytäkirja vaaditaan
2	Tekninen katselmus	Katselmus ja pöytäkirja vaaditaan
3	Hitsausopettajat	Hitsauspätevyudet vaaditaan
4	Hitsauskoordinoija	Vaaditaan
5	Tarkastushenkilöstö	Pätevöinti vaaditaan
6	Tuotanto ja testauskalusto	Spesifioitava
7	Laitteidenhuolto	Dokumentoidut suunnitelmat ja raportit vaaditaan
8	Laiteluettelo	Luettelo vaaditaan
9	Tuotanto suunnitelma	Dokumentoidut suunnitelmat ja raportit vaaditaan
10	Hitsausohjeet	Vaaditaan
11	Hitsausohjeiden hyväksyntä	Vaaditaan
12	Hitsausaineiden eräkohtainen testaus	Vain tarvittaessa
13	Hitsausainesten varastointi ja käsittely	Vaaditaan lisäaine toimittajan vaatimat menettelyt
14	perusainesten varastointi	Vaaditaan tunnistettavuus ja suojaaminen ympäristön vaikutuksilta
15	Hitsauksen jälkilämpökäsittely	Vaaditaan ohje, pöytäkirja ja sen jäljitettävyyden kappaleeseen.
16	Tarkastus ja testaus ennen-, jälkeen- ja hitsauksen jälkeen	Vaaditaan
17	Poikkeamat ja korjaavat toimenpiteet	Vaaditaan menettelyohje ja raportit
18	Mittauslaitteiden kelpuus ja kalibrointi	Vaaditaan
19	Tuotannonaikainen Tunnistettavuus	Vaaditaan
20	Laatuasiakirjat	Vaaditaan

Liite2: Venäläisen Severstal:n toimittama materiaalitodistus S355J2 Teräslevylle.



JSC "SEVERSTAL"

Система качества сертифицирована на соответствие требованиям МС ИСО 9001-2008

Quality system was certified for compliance with IS ISO 9001-2008

СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА И КОЛИЧЕСТВА
CERTIFICATE OF QUALITY AND QUANTITY

110358
27.11.10

Продавец (экспортер)

ЭКСПОРТ

EXPORT

10030054

Seller (exporter)

СЕРТИФИКАТ ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

INSPECTION CERTIFICATE

EN 10204-3.1.

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «СЕВЕРСТАЛЬ»

JOINT STOCK COMPANY "SEVERSTAL"

ЗАКАЗ №

548040/057H

POZ 3

Грузополучатель, адрес

КОНТРАКТ №

CONTRACT №

428/00186217-00131

СПЕЦИФИКАЦИЯ №

SPECIFICATION №

11020

АО "ЭРТС ВАЛГА ВАБА ТЕРМИНАЛ", ВАЛГА УЛ.КУНГЛА, 56

JSC "ERTS VALGA VABA TERMINAL", VALGA-56, KUNGLA

Страна назначения

ЭСТОНИЯ

Разрешение на вывоз №

лицензируется

Country of destination

ESTONIA

Export licence №

subject of licence

Вагон №

52815560

Лист 1

Листов 1

Freight car №

Sheet 1

Sheets 1

Наименование и код товара

ОКП

Стандарт

Вид груз. мест

Description and code of goods

ШАУ

Standard

Type of packages

Сталь горячекатаная в листах согласно EN 10025-2-04

090100

EN 10025-2-04

Пачка

Hot rolled steel in sheets according to EN 10025-2-04

401743200

EN 10025-2-04

EN 10029-01

Bundle

№ П.П. Item no	Номер плашки Heat no	Номер партии Lot nr	Марка Grade	Класс прочности Class strength	Категория Category	Размеры, мм Dimensions, mm	Кол-во товара Quantity	Кол-во листов Pieces	Масса, кг Mass, kg	
									Брутто Gross	Нетто Net
1	X306691	22371	S355J2			6.00 1500 3000	7		34210	33790
							7		34210	33790

Форма раскроя:

Группа поверхности:

Класс точности:

Плоскостность:

Кромка:

НО

Pattern cutting:

Group of surface:

Class of precision:

Flatness:

Edge:

NK

Сталь прокатана на непрерывном стане. Нетравленная. Непромасленная. Не дроссированная. Steel rolled in continuous mill. Unpickled. Unpickled. Non-skinpassed.

Термомеханическая прокатка - thermomechanical rolling + M

Указанный в настоящем документе товар соответствует по качеству требованиям спецификации к контракту и может быть отгружен на экспорт. It is hereby certified that the quality of goods mentioned in this shipping document is in conformity with demands of specifications to contract, and the goods may be exported.

Показатели качества товара

Quality characteristics of goods

№ П.П. Item no	Химический состав Chemical composition													CEV					
	C%	SI%	MN%	S%	P%	CR%	NI%	CU%	AL%	N2%	MO%	V%							
1	*100	*100	*100	*1000	*1000	*100	*100	*100	*100	*1000	*100	*100							
	13	22	125	6	20	6	4	6	4	8	2	0,8	0,36						

Механические свойства

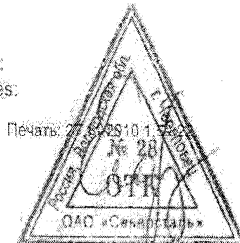
Mechanical properties

№ П.П. Item no	Рулон Coil test	Испытание № Test №	Прочность на растяжение Tensile strength MPa	Предел текучести Yield point MPa	Удлинение 5 Elongation 5 %	Холодный изгиб Cold bend test	Работа удара Work of impact KV-20 J

Маркировка CE marking
Marking
Mill 2000

Подписи:
Signatures:

Печать:



Liite3: Hitsausohje (WPS) Yläpienahitus putkelle ja levyille


HITSAUSOHJE
WPS

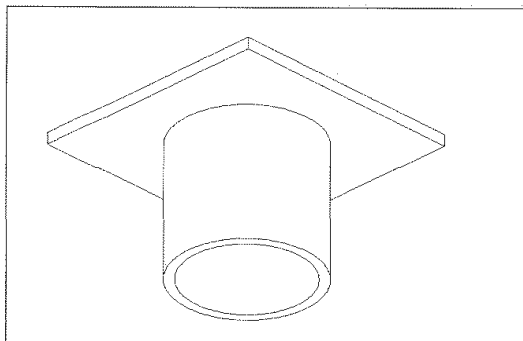
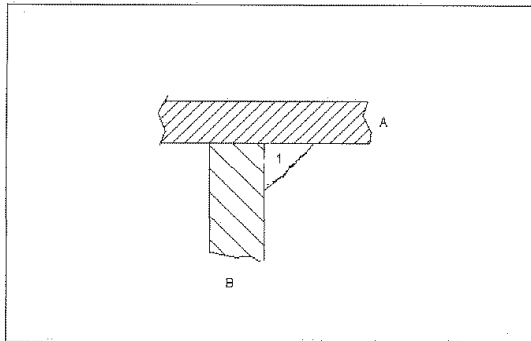
 Nro/ No. WPS135FWPD LEVYPUTKI
 Yksipalkohitus/ Single Run Welding

6.7.2012

 Menet.koep. nro/ WPQR No.
 Asema/ Status
 Hyv.tapa/ Approval by
 Käyttöalue/ Operat.range

Hitsaajan pätevyyskoe

 Laatija/ Made by
 Päivämäärä/ Date
 Hyv.stand./ Standard

 Tommi Ratia
 24.5.2012 Lahti
 EN 278-1


Perusaine/ Parent metal		Luokitus/ Classification ISO 15608	Paksuus Thickness (t)	Halkaisija Outside diam.
A	S235J0	1.1	5,0 - 8,0	-
B	S235J0	1.1	-	80,0 - 100,0

Lisäaineen käsittely/ Spec. backing or drying

--

Kööstumus / Composition		Standardi/ Standard	Luokitus / Classification	Virt.nop./ Flow rate l/min
Suojakaasu/ Shielding gas	Ar + 25% CO2	SFS-EN 439	M21	15
Juurikaasu/ Backing gas				

Juuren yks kohdat/ Back

Railon valm./ Groove prep.

Valssaushilseen poisto hiomalla

Railon puhd./ Groove cleaning

Palko Run	Prosessi Process	Lisäaine Filler metal	Mitta Size	Hitsaus- virta Current (A)	K.jännite Voltage (V)	Vap.lanka- pituus	Nap. Pol.	Kulj.nop. Trav.speed (cm/min)	S.nop F. Speed	L.tuonti Heat in* (kJ/cm)
1	135	OK Autrod 12.51 AWS A/SFA 5.18:ER70S-6	1	145-185	19.8-24		DC(+)	45-55	6.2-8.5	3.4-5.4

Hitsauspros./ Process 135 MAG-hitsaus

Pieni a-mitta 7

Tuotemuoto P

Asento/ Position

PD Levyputki, yläpienahitus

Volframidelektrodi/ Electrode

Mittausmen./ Method

Aika, lämpötila/ Time, Temp

Jälkilämpökäs./ Post Heat

Kuum.men./ Heating method

Hitsaustekniikka/ Weld.Tech.

ympärihitsattu, max. 3-jatkoksella.

Liitosmuoto

FW

Kor. työlämpö/ Preheat temp

Palk.väl.työlämpö/ Interp. temp

Kuumennusnop./ Heating rate

Jäähdytysnop./ Cooling rate

*Jos vaadittu/ If required

Lisätietoja/ Further Information

Valmistaja/ Manufacturer

Asiakas/ Customer

Hyväksytty/ Approved

Koulutuskeskus Salpaus

 Koulutuskeskus Salpaus
 Teinintie 4
 15200 LAHTI

Puhelin: 03 828 11

www.salpaus.fi

Liite4: Hitsaajan pätevyydistus Yläpiena putkilevy MAG



Opintie 1, SF-18100 HEINOLA, FINLAND

puh. +358 3 828 11
fax +358 3 828 5211**Hitsaajan pätevyydistus Welder Approval Test Certificate**

Kokeen merkintä	Designation	SFS-EN 287-1, 135, P/T89, FW, 1.1, S, t4, PD, sl		
WPS-Viittaus	WPS -Reference	MLMFWD.PÄT	Kokeen valvoja/testauksen suorittaja Viite nro	Examiner or test body Reference No. IWS Eino Salmi 120-1E10-939718
Hitsaajan nimi	Welder's name	RATIA TOMMI		
Tunnus	Identification	TRP/T M 202 PD		
Tunnistamistapa	Method of identification	Henkilöllisyystodistus	Identification card	
Syntymäaika ja -paikka	Date and place of birth	10.04.1986	KOTKA	
Työnantaja	Employer	KOULUTUSKESKUS SALPAUS		
Koodi/testausstandardi	Code/Testing Standard	SFS-EN 287-1 SFS-EN ISO 5817		
Tietopuolinen koe	Job knowledge	Ei testattu	Not tested	

		Hitsauskokeen yksityiskohdat Weld test details	Pätevyysalue Range of approval
Hitsausprosessit(t)	Welding process(es)	135	135,138
Tuotemuoto (levy tai putki)	Product type (plate or pipe)	P	P,D> 150mm
Hitsilaji	Type of weld	FW	FW
Perusaineryhmä raportin CR ISO 15608 mukaan	Material group according to CR ISO 15608	1.1	1.1,1.2,1.4
Lisäaine	Welding consumable	AWS A/SFA 5.18:ER70S-6	S,M
Suojakaasut	Shielding gases	SFS-EN 439; M21	SFS-EN 439; M21
Apuaineet	Auxiliaries (e.g backing gas)	-	-
Aineenpaksuus (mm)	Material thickness (mm)	t 4	t 2-8
Putken ulkohalkaisija (mm)	Outside pipe diameter (mm)	89	45-134
Hitsausasento	Welding position	P/T,PD (putki levy yläpiena)	FW: P/TPA,PB,PF,PD
Hitsin yksityiskohdat	Weld details	sl	sl

Lisätietoja saatavissa lisälehdestä ja/tai hitsausohjeessa nro:
Additional information is available on attached sheet and/or welding procedure specification No.

Testausmenetelmä	Type of test	Suoritettu ja hyväksytty Performed and acceptable	Ei vaadittu Not required
Silmämääräinen	Visual test	30.05.2012	-
Murtokoe	Fracture test	30.05.2012	-
Magneettijauhe/ tunkeumaneste	Magnetic particle/ Dye penetrant	-	x
Radiografia	Radiography	-	x
Taivutuskoe	Bent test	-	x
Lovivetokoe	Notch tensile test	-	x
Makrohie	Macroscopic	-	x
Lisäkoeket*	Additional tests	-	x

MLMFWDWPS



Nimi ja päivämäärä	Name and date	
Allekirjoitus	Signature	
Kokeen valvoja /testauksen suorittaja	Examiner or test body	IWS FI448 Eino Salmi
Päivämäärä	Date of issue	30.05.2012
Paikka	Location	Heinola
Viimeinen voimassaolopäivämäärä	Validity of approval until	30.05.2014 saakka

*Lisälehtiä annetaan tarvittaessa. Append separate sheet if required.
Kokeen valvojan/testauksen suorittajan antaman voimassaolon jatkaminen seuraavaksi 2 vuodeksi (kohta 10.2)

Prolongation for approval by examiner or test body for the following 2 years (refer 10.2)

Työnantajan/koordinaattorin antaman voimassaolon jatkaminen seuraavaksi 6 kuukaudeksi (kohta 10.2)

Prolongation for approval by employer/coordinator for the following 6 months (refer 10.2)

Päivä	Allekirjoitus	Asema tai arvonimi	Päivä	Allekirjoitus	Asema tai arvonimi
-------	---------------	--------------------	-------	---------------	--------------------

liite5: Hitsauskoneen puolivuotishuoltokortti



1/2 Vuotis Huoltokortti

Valmistaja: Kemppi
Malli: PRO 3200 evolution
Sarjanumero: S/N 1530558

Päivämäärä	Huollonsuorittaja	Koneenpuhdistaminen	Johtoliitosten tarkistaminen	Jäähdytysnesteen lisääminen	Suuttimenjektoidin vaihto	Suojakaasuletkujen tarkistus
30.5.12	Niko Laine	x	x	+	+	+

Huolto-ohjeet

- Puhdista koneen sisusta metallipölystä. MUISTA: johto seinästä irti kun avaat suojapellit
- Tarkista että johtoliitokset ovat kireällä ja koneen ulkopuoliset johdot ehjiä
- Tarkista jäähdytysnesteen pinnataso ja lisää tarvittaessa.
- Vaihda hitsaussuutin ja vaihda/teroitä elektrodi, Vaihda virtaussuutin tarvittaessa.
- tarkista että virtaussuuttimen eriste on paikallaan.
- Tarkista että suojakaasuletkut ovat ehjät ja liitokset pitävät.
- puhdista langanjohdin paineilmalla.

Liite6: hitsauskoneen validointi ja kalibrointitodistus

HR SERVICE OY

Vipusenkatu 21, 15230 LAHTI puh. (03) 874 460



valtuutettu Kemppe - huoltokorjaamo

 HUOLTOTODISTUS KALIBROINTITODISTUS

Asiakas:

KOULUTUSKESKUS SALPAUSOpintie 1, Heinola**A. Laitteiston tunnistus**

Laitetyyppi	valmistus no:	asiakkaan no:
1. Virtalähde <i>PRO 3200 Evolution</i>	<i>1530556 X</i>	
2. Mig-yksikkö <i>PRO MIG 501</i>		
3. Tig-yksikkö		
4. Vedenkiertolaite <i>PRO Cool 30</i>		
5. Hitsauspoltin <i>PMT 51 W</i>		
6. Varusteet		

 Laitteiston kunto (1 = kunnossa, 2 = korjaus/vaihto)

Kohde	1	2	kohde	1	2
1. Sähköturvallisuus	X		6. Paineilmalaitteet	-	
2. Hitsauskaapelit	X		7. Jalkapoljin	-	
3. Kulutusosat/varaosat		X	8. Vedenkierto		X
4. Hitsauspoltin	X		9. Savukaasuimuri	-	
5. Toisioliitokset	X		10.		

C. Mittarit / koestus

Kohde	Koneen näyttö	Mitattu arvo	Koneen näyttö	Mitattu arvo
1. Min	<i>10A / 20,4V</i>			
2. Med				
3. Max	<i>320A / 32,8V</i>	<i>315A / 33V</i>		
4. Langansyöttö	<i>OK</i>	<i>18 m/min</i>	<i>18,4 m/min</i>	
5. Tyhjäkäyntijännite		<i>65V</i>	<i>67,5V</i>	
6. Koehitsaus	-			

D. Mittauksessa käytetyt laitteet

Kempcal-500/7-U		Fluke-353 pihtimittari	X	Lutron DT-2253A	
LVR-600	X	Fluke-114 yleismittari	X	Tacometri	X

E. Lisätietoja (H) Kyseinen laitteisto on huollettu ja todettu sen vastaavan EN ISO 3834-1:2005 vaatimuksia (K) Kyseinen laitteisto on koekuormitettu testipenkissä ja vastaa valmistajan antamia arvoja

Paikka / päiväys / allekirjoitus

Lahti 28.10.2011

huoltoliikkeen leima


 Jari Rosti

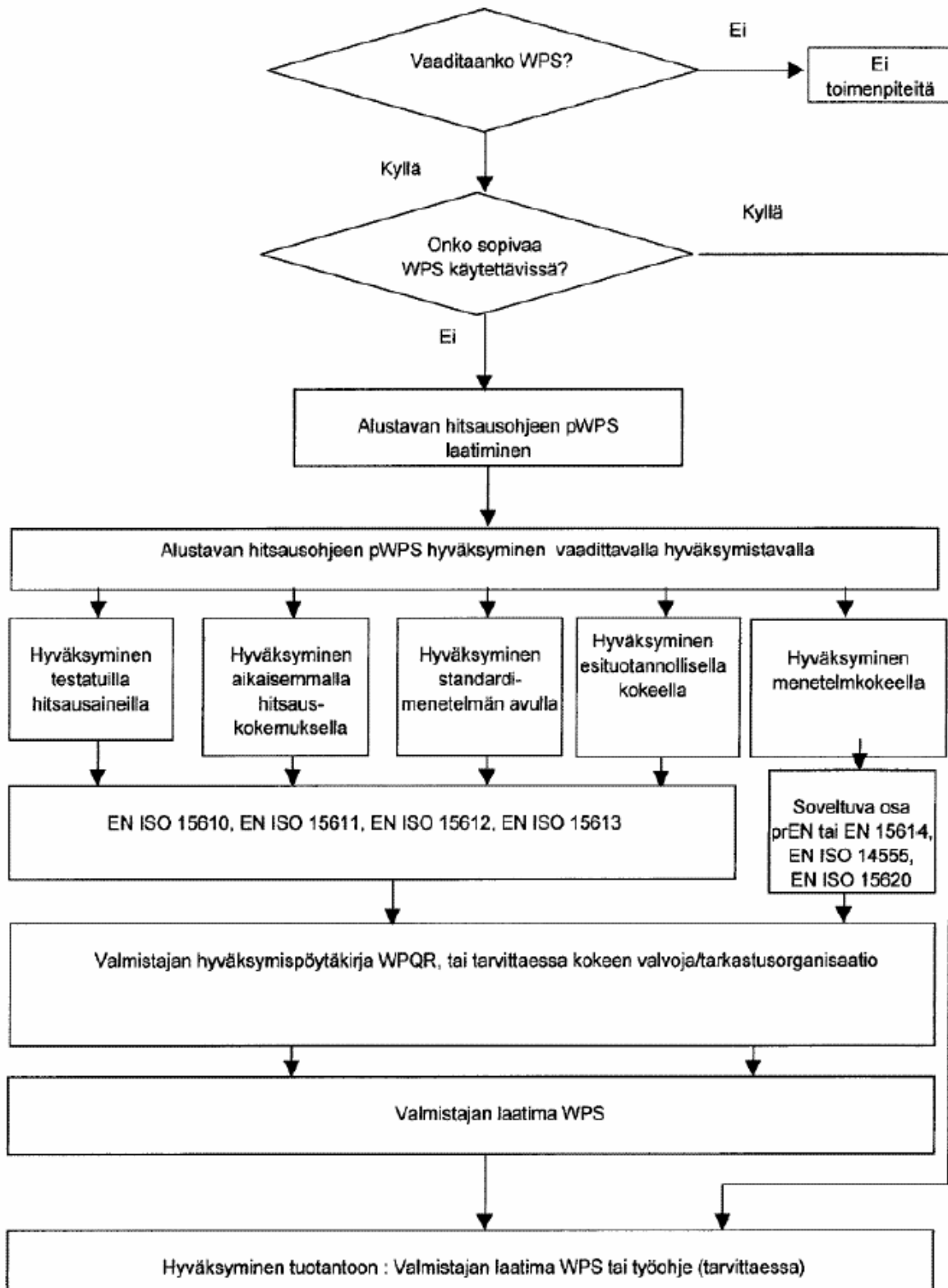
liite 7: hitsauskoneen teknisten tietojen spesifiointilista

9. TEKNISET TIEDOT

PRO EVOLUTION 3200, 4200, 5200

	Pro Evolution3200	Pro Evolution 4200	Pro Evolution 5200
Liitäntäjännite			
3~50/60 Hz	400 V -15%...+20%	400 V -15%...+20%	400 V -15%...+20%
Liitäntäteho			
80 % ED		420 A / 19,7 kVA	520 A / 26,6 kVA
100 % ED	320 A / 13,3 kVA	400 A / 18,6 kVA	440 A / 20,0 kVA
Liitäntäkaapeli/ sulakkeet	4 x 6 S - 5 m / 25 A hidas	4 x 6S - 5 m /35 A hidas	4 x 6S - 5 m / 35 A hidas
Kuormitettavuus 40 °C			
70 % ED			520 A / 40,0 V
80 % ED		420 A / 36,8 V	
100 % ED	320 A / 32,8 V	400 A / 36 V	440 A / 37,6 V
Kuormitettavuus 20 °C			
100 % ED	320 A / 32,8 V	420 A / 36,8 V	480 A / 39,6 V
Hitsausvirran ja jännitteen säätöalue			
Puikko	10 A ... 320 A	10 A ... 420 A	10 A ... 520 A
TIG	5 A ... 320 A	5 A ... 420 A	5 A ... 520 A
MIG	12 V ... 37 V	12 V ... 39 V	12 V ... 42 V
Max. hitsausjännite	46 V / 300 A	46 V / 400 A	50 V / 500 A
Tyhjäkäyntijännite	n. 65 V	n. 65 V	n. 65 V
Tyhjäkäyntiteho	< 75 W	< 75 W	< 75 W
Hyötysuhde nimellisarvoilla	n. 85 %	n. 85 %	n. 85 %
Tehokerroin nimellisarvoilla	n. 0,93	n. 0,93	n. 0,93
Varastointilämpö- tila-alue	-40 ... +60 °C	-40 ... +60 °C	-40 ... +60 °C
Toimintalämpö- tila-alue	-20 ... +40 °C	-20 ... +40 °C	-20 ... +40 °C
Lämpöluokka	H (180 °C) / B (130 °C)	H (180 °C) / B (130 °C)	H (180 °C) / B (130 °C)
Kotelointiluokka	IP 23 C	IP 23 C	IP 23 C
Ääriimitat ilman kahvoja			
pituus	530 mm	530 mm	530 mm
leveys	230 mm	230 mm	230 mm
korkeus	520 mm	520 mm	520 mm
Paino	37 kg	41 kg	48 kg
Oheislaitteiden jännitesyöttö	50 V DC	50 V DC	50 V DC
X 14, X 15	sulake 6,3 A hidas	sulake 6,3 A hidas	sulake 6,3 A hidas
Jäähdytyslaitteen PROCOOL 10 jännitesyöttö	1~, 230 V / 250 VA	1~, 230 V / 250 VA	1~, 230 V / 250 VA
X 16	sulake 1,0 A hidas	sulake 1,0 A hidas	sulake 1,0 A hidas

Liite 8: Kulkukaavio hitsausohjeen laatimiselle (SFS-EN 15607: 2004, s.26).



Hitsauslisäaineiden valinta seostamattomille, niukkaseosteisille ja lujille teräksille

Myyöriä ja m.n.	Teräksen merkintä Esim.	Iskusitkeys Koeustilämpötila	Täytelaugat	Hitsauspuikot	MAG	TIG
235-275 N/mm ²			136	111	135	141
235-275	S235JR, NVA, A106 Gr.B, A333 Gr.6, S135.8, P235GH, S275J0, S275JR	+20°C, 0°C	DWA-50, 52F, 55E, 55L, 55Ni1, 55LSR, 51B, DWX 50, MXX 100, MX 100T, MXA-100, 100XP, 55T.	Kaikki seostamattomat, kuten P48M, P48S, P51, P47D, Maxeta 11 Jne.	Elgamatic 100, Elgamatic 103	Elgatic 100, Elgatic 162
		-20°C	DWA-50, 52F, 55E, 55L, 55Ni1, 55LSR, 51B, DWX 50, MXX 100, MX 100T, MXA-100, 100XP, 55T.	P48M, P48S, 48P, P51, P47, P47D, P52T, P54, P62MR, Maxeta 5, 20, 21, 22, 24.	Elgamatic 100, Elgamatic 103	Elgatic 100, Elgatic 162
		-40°C	DWA-55E, 55L, 55Ni1, 55LSR, MXA-100, 100XP, 55T.	P48M, P48S, P51, P47, P62MR, Maxeta 21, 22, 24.	Elgamatic 103	Elgatic 162
235-355	S235J0W, S355J2WP, S355J2G2W, COR-TEN	0°C, -20°C	DW 588	P62MR	Elgamatic 140	
355	S355J2, S355M, P355ML1, NVE 36, X52, L360, S355MCD, S355ML, S355G10+N	+20°C, 0°C	DWA-50, 52F, 55E, 55L, 55Ni1, 55LSR, 51B, DWX 50, MXX 100, MX 100T, MXA-100, 100XP, 55T.	Rutiili puikot maks. perrusaine 15 mm. P48M, P48S, P48P, P51, P47, P47D, P52T, P54, P62MR, 20, 21, 22, 24.	Elgamatic 100, Elgamatic 103	Elgatic 100, Elgatic 162
		-20°C	DWA-50, 52F, 55E, 55L, 55Ni1, 55LSR, 51B, DWX 50, MXX 100, MX 100T, MXA-100, 100XP, 55T.	P48M, P48S, P48P, P51, P47, P47D, P52T, P54, P62MR, Maxeta 20, 21, 22, 24.	Elgamatic 100, Elgamatic 103	Elgatic 100, Elgatic 162
		-40°C	DWA-55E, 55L, 55Ni1, 55LSR, MXA-100, 100XP, 55T.	P62MR, P48M, P48S, P51, P47, Maxeta 24, 21, 22.	Elgamatic 103	Elgatic 162
		-50°C	DWA-55L, 55Ni1, 55LSR, MXA 55T.	P62MR, P48M, P47, Maxeta 24.		Elgatic 162
		-60°C	DWA-55L, 55Ni1, 55LSR, MXA 55T.	P62MR.		Elgatic 162