LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
Konetekniikka

Joonas Tietäväinen

ROBOTTIHITSAUKSEN TOIMINTOJEN KEHITTÄMINEN HITSAUSTUOTANNOSSA

Työn tarkastajat:	Professori Jukka Martikainen
	DI Juha Riikonen
Työn ohjaaja:	Petri Jolkkonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Konetekniikka

Joonas Tietäväinen

Robottihitsauksen toimintojen kehittäminen hitsaustuotannossa

Diplomityö

2015

112 sivua, 51 kuvaa, 7 taulukkoa ja 1 liitettä

Tarkastajat: Professori Jukka Martikainen
DI Juha Riikonen

Hakusanat: MAG-hitsaus, robottihitsaus, läpimenoaika, kaariaikasuhde, etäohjelmointi, hitsauskiinnittimet, hitsaustuotanto

Keywords: MAG welding, robotic welding, lead time, duty-cycle, offline programming, fixtures, welding production

Tämän diplomityön tarkoituksena oli kehittää robottihitsauksen toimintoja KKR Steel Oy:ssä. Tärkeimmät tutkimuskohteet olivat robottisolujen toiminnan tehostaminen ja uusien robottihitsaukseen sopivien tuotteiden kartoittaminen.

Työ on jaettu teoreettiseen ja käytännön osuuteen. Teoriaosassa perehdytään kirjallisuuskatsauksen kautta robottihitsauksen perusteisiin, hitsauksen robotisointiin sekä tuottavuuteen ja laatuun. Robottihitsauksen osuudessa käsitellään hitsausrobotin rakennetta, siihen liittyviä oheislaitteita ja robottien ohjelmointia. Hitsauksen robotisoinnissa selvitetään syitä robottihitsauksen käyttöönotolle, robotisoitavilta tuotteilta vaadittavia ominaisuuksia sekä erilaisia toimenpiteitä robottiaseman toiminnan tehostamiseksi. Tuottavuuteen liittyvässä osuudessa selvitetään erilaisten laskentakaavojen ja tunnuslukujen käyttöä ja merkitystä hitsauksessa.

Käytännön osuudessa kartoitettiin yrityksen robottihitsauksen lähtötilanne ja selvitettiin ongelmakohtien perusteella kehittämistoimenpiteitä. Tutkimuksissa seurattiin ja havainnoitiin hitsaustuotannon eri vaiheita, minkä perusteella laadittiin erilaisia parannuskeinoja. Toimenpiteistä saatavan hyödyn arviointiin käytettiin yrityksen tuotantoon sopivia mittareita kuten läpimenoaikaa ja kaariaikasuhdetta. Havaittujen ongelmakohtien perusteella ryhdyttiin kehittämään hitsauskiinnittimien suunnittelua ja käsittelylaitteiden käyttöä hitsaustuotannossa sekä hyödyntämään etäohjelmointia tuotteiden viennissä robottiasemille. Lisäksi robottiasemien käyttöastetta pyrittiin nostamaan tutkimalla käsinhitsattavia tuotteita ja siirtämällä niistä robotille soveltuvimmat robottiasemille hitsattavaksi.

ABSSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Mechanical Engineering

Joonas Tietäväinen

Development of the robotic welding functions in the welding production

Master's thesis

2015

112 pages, 51 figures, 7 tables and 1 appendices

Examiners: Professor Jukka Martikainen
M. Sc. (Tech.) Juha Riikonen

Keywords: MAG welding, robotic welding, quality, shortening lead-time, offline programming, fixtures, welding production

Aim of this Master's thesis was to improve robotic welding functions in KKR Steel Oy. The main areas of development were to improve the efficiency of robot cells and finding new suitable products for robot welding.

The study is divided into theoretical and practical part. The theoretical part focuses on robotic welding, productivity and quality issues. The robotic welding part deals with basic equipment of welding robots, demands of robotic welding and different methods to improve robotic welding. Productivity related chapter explains the meaning of different formulas and key fixtures in welding.

The practical part reviews company's initial situation with robotic welding and problem areas of production. All the production phases of welding operations are monitored and observed. This information is used when deciding development measures. Based on the detected problem areas in the welding production, welding fixture design and use of handling equipment was developed. Steps were also taken to utilize offline programming for welding robots operations. In addition, the utilization rate of robot stations was raised by examining the hand welded products and transferring best suited products to be welded in robot stations.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty palvelukonepajalle KKR Steel Oy:lle Joensuussa syksyn 2014 ja kevään 2015 aikana. Työssä selvitetään robottihitsauksen kehittämiseen liittyviä toimenpiteitä hitsaustuotannossa ja sovelletaan niitä KKR Steel Oy:n tuotantoon.

Haluan kiittää toimitusjohtaja Juha Riikosta diplomityömahdollisuudesta ja opastuksesta työn aikana. Kiitokset myös työni ohjaajalle Petri Jolkkoselle, jolta sain hyviä neuvoja työni suhteen ja apua ongelmien ratkaisemisessa. Lisäksi haluan kiittää koko KKR Steel Oy:n henkilökuntaa hyvästä vastaanotosta ja avusta diplomityön aikana.

Suuret kiitokset professori Jukka Martikaiselle mielenkiinnosta työtä kohtaan ja asiantuntevasta neuvonnasta työn aikana.

Tahdon kiittää myös kaikkia opiskelukavereitani hienoista opiskeluajoista Lappeenrannassa. Erityiskiitokset menevät vanhemmilleni kaikesta tuesta ja kannustuksesta koko opiskelupolkuni ajalta.

Joensuussa 15.9.2015

Joonas Tietäväinen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
ALKUSANAT
SISÄLLYSLUETTELO
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1 JOHDANTO 10
1.1 Työn taustaa 10
1.2 Työn tavoite ja rajaus 10
1.3 Työn rakenne ja menetelmät 11
1.4 KKR Steel Oy 11
2 MIG/MAG-HITSAUS 13
2.1 Kaarityypit 14
2.2 Lisäaineet 16
2.3 Suojakaasut 16
3 ROBOTIT JA ROBOTTIHITSAUS 17
3.1 Robottityypit ja rakenteet 19
3.2 Hitsausrobotit ja apulaitteet 20
3.3 Käsittelylaitteet 21
3.4 Railonhaku ja -seuranta 22
3.4.1 Railonhaku sähköisen kontaktin avulla 23
3.4.2 Hitsausvirtaan perustava railonseuranta 23
3.4.3 Optiset menetelmät 24
3.5 Robotin ohjelmointi 25
3.5.1 Opettamalla ohjelmointi 26
3.5.2 Etäohjelmointi 26
4 HITSAUKSEN ROBOTISOINTI 29
4.1 Mihin tarvitaan robotisointia hitsauksessa? 29

4.2 Robottihitsauksen tehostaminen 31
4.3 Robotisointiprojektissa huomioitavia seikkoja 34
4.3.1 Muodonmuutosten huomioonottaminen robottihitsauksessa 36
4.3.2 Kappaleen muotoilu 38
4.3.4 Hitsauskiinnittimet 41
5 HITSAUKSEN TUOTTAVUUS JA TUOTTAVUUDEN TUNNUSLUKUJA 44
5.1 Kustannuslaskelmat ja hitsauslaskelmat 44
5.2 Tuotantoajat 46
5.3 Kaariaikasuhde 48
5.4 Hitsiaineentuotto 48
5.5 Hitsausasennon merkitys hitsausnopeuteen 50
5.6 A-mitta ja sen merkitys hitsauksessa 51
6 LAATU 54
6.1 Laatukustannukset 54
6.2 Hitsauksen laatu 56
6.3 Robottihitsauksen laatu 59
7 ESIVALMISTELUT 61
7.1 Aihioiden leikkaus ja sen merkitys robottihitsauksessa 61
7.2 Särmäys 62
7.3 Silloitushitsaus 62
8 ROBOTTIHITSAUS KKR STEEL OY:SSÄ 64
8.1 Robottihitsausasemat ja robottioperaattorit 64
8.1.1 Robo1-asema 65
8.1.2 Robo2-asema 65
8.1.3 Robo3-asema 66
8.1.4. Robo4-asema 67
8.2 Robottiohjelmien tarkistus 68
8.3 Robottien ohjelmointi 69
8.4 Hitsauskiinnittimien suunnittelu 72
8.5 Robottituotteiden silloitus 74

8.6 Viimeistelyn suorittaminen 75
8.7 Hitsauksen laatu 76
8.7.1 Robottihitsauksen laatu ja laadunvarmistus 76
8.7.2 Työohjeet ja ”jigikortit” 78
9 UUSIEN ROBOTTIHITSAUSTUOTTEIDEN KARTOITUS 79
9.1 Uudet robottihitsattavat tuotteet 80
10 CASE: POHJAPANSSARIT 83
11 CASE: SUOJAKAARI 87
12 CASE: HENKARIT 92
12.1 Henkarien hitsaus lähtötilanteessa 94
12.2 Kehitysvaihtoehdot ja niiden toteuttaminen 95
12.2.1 Robo1-aseman toiminnan optimointi 95
12.2.2 Henkarien siirto Robo4-asemalle 96
13 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULEVAISUUDEN KEHITTÄMISKOHTEET 100
14 YHTEENVETO 105
LÄHTEET 107
LIITTEET
LIITE I: Jigikortti.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

A	Hitsin poikkipinta-ala [mm^2]
a	Pienahitsin a-mitta [mm]
e	Kaariaikasuhde [%]
H_t	Hitsaajan/operaattorin työtunnin hinta [€/h]
M	Hitsiainemäärä [kg/m]
K_h	Hitsauksen kokonaiskustannukset [€]
K_{Ty}	Työkustannukset [€]
K_{Hi}	Hitsausainekustannukset [€]
K_{Ko}	Konekustannukset [€]
K_{En}	Energiakustannukset [€]
K_{Ku}	Kunnossapitokustannukset [€]
s	Hitsin pituus [mm]
t_{va}	Vaiheaika [s; min]
t_{ka}	Kaariaika [s; min]
t_{si}	Sivuaika [s; min]
$t_{kä}$	Käsittelyaika [s; min]
t_{ap}	Apuaika [s; min]
t_{te}	Tehtäväaika [s; min]
t_{as}	Asetusaika [s; min]
t	Hitsausaika [s; min]
T	Hitsiaineentuotto [kg/h]
v	Hitsausnopeus [mm/s; cm/min]
ρ	Tiheys [kg/m^3]

a-mitta	Pienahitsin sisään piirretyn tasakylkisen kolmion korkeus
MAG-hitsaus	Metallikaasukaarihitsaus käyttäen aktiivista suojakaasua (Metal Active Gas)
MIG-hitsaus	Metallikaasukaarihitsaus käyttäen inerttiä suojakaasua (Metal Inert Gas)
TWM	Total Welding Management, hitsauksen kokonaisvaltainen johtaminen
Ar	Argon

CO_2	Hiilidioksidi
He	Helium
NO	Typpioksidi
131	MIG-hitsauksen numerotunnus
135	MAG-hitsauksen numerotunnus

1 JOHDANTO

Suomen kaltaisessa länsimaalaisessa teollisuusmaassa on vaikea kilpailla matalan palkkatason maiden kanssa hitsausten työkustannuksilla. Tämä tarkoittaa, että kilpailukyky tulee hakea muuta kautta kuten esimerkiksi panostamalla laatuun ja tuottavuuden parantamiseen. Yksi tapa näiden tavoitteiden toteuttamiseksi on yrityksen hitsaustoimintojen automaatioasteen nosto ja kehitys. (Stenbacka, 2011, s. 37.)

Tämän diplomityön tarkoitus on löytää keinoja, joilla laatua ja hitsauksen tuottavuutta voidaan parantaa robottihitsauksen avulla. Diplomityö on tehty KKR Steel Oy:n hitsaustuotantoon liittyen.

1.1 Työn taustaa

Yksi keino tuotannon tehostamiseen on hitsauksen mekanisoinnin ja erityisesti robotisoinnin hyödyntäminen hitsaustuotannossa. Ei kuitenkaan riitä, että yrityksessä investoidaan hitsausrobottiin, jos robotin toiminnan kehittämiseen ei panosteta riittävästi. Tämä tarkoittaa muun muassa olemassa olevien tuotteiden robottihitsattavuuden kehittämistä, laadun varmistamista ja kehitystä sekä uusien tuotteiden löytämistä robottihitsaukseen.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Diplomityön aiheena on selvittää robottihitsauksen toimintojen kehittämistä konepajateollisuudessa ja erityisesti KKR Steel Oy:ssä. Työn tavoitteisiin kuuluu robottihitsausasemien käyttöasteen ja tuottavuuden kasvattaminen.

Käyttöastetta pyritään nostamaan kartoittamalla tuotteita, joiden hitsaukset voitaisiin siirtää kokonaan tai osittain käsinhitsauksesta robotilla hitsattavaksi. Tuottavuuden kasvattamisen osalta pyritään hyödyntämään enemmän offline-ohjelmointia robottien liikeratojen määrittämisessä, parantamaan kappaleen käsittelylaitteiden ja hitsauskiinnittimien käyttöä sekä löytämään mahdollisia tehostamistoimenpiteitä robottisolujen toiminnassa.

1.3 Työn rakenne ja menetelmät

Työ koostuu teoriaosuudesta ja käytännön tutkimusosuudesta. Teoriaosa on kirjallisuuskatsaus robotisoidusta hitsauksesta ja sen tehostamisesta sekä katsauksesta hitsauksen laatuun.

Käytännön osuudessa käsitellään jo robottihitsauksen piirissä olevia tuotteita ja näiden joukosta valitaan yksi tuote ja tuoteperhe, joiden eri työvaiheisiin kuluvat ajat hitsaamossa ”kellotetaan” ja analysoidaan. Näille tuotteille selvitetään läpimenoajat, kaariaikasuhteet sekä hitsiaineentuotot. Tämän jälkeen mietitään erilaisia kehittämistoimenpiteitä ja keinoja kuinka ne tulisi toteuttaa.

Robottiasemien toiminnan kehittämisen lisäksi pyritään löytämään uusia tuotteita robotilla hitsattavaksi. Uusien tuotteiden kohdalla soveltuvuutta robotisointiin arvioidaan monilla eri ominaisuuksilla, joista tärkein on, että tuote on ylipäänsä mahdollista hitsata yrityksen nykyisillä robottiasemilla. Robottihitsaukseen soveltuvien tuotteiden joukosta valitaan muutamia tuotteita, joihin keskitytään tarkemmin. Työssä tarkastellaan myös robottihitsauksen laatua ja siihen liittyviä ongelmia. Lopuksi työssä on johtopäätökset, jossa työn tärkeimmät tulokset kootaan yhteen.

1.4 KKR Steel Oy

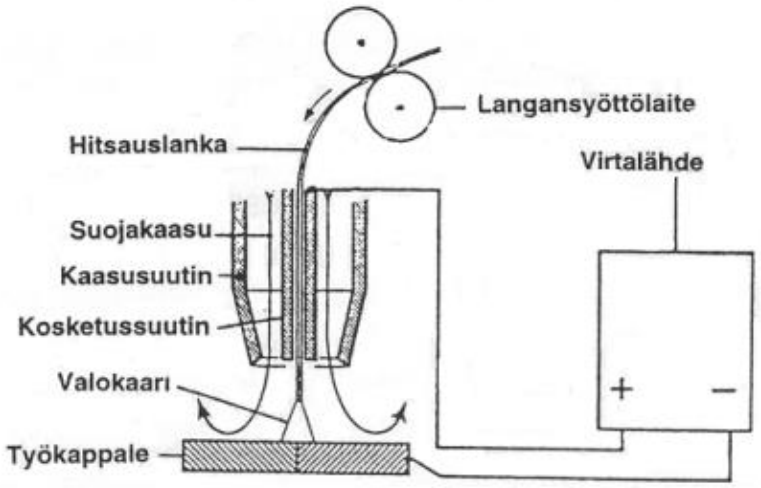
KKR Steel Oy on palvelukonepaja, jonka historia ulottuu jo 30 vuoden päähän. Alun perin yritystoiminta lähti pienestä konekorjaamosta, mutta se on vuosien myötä kasvanut ja laajentunut kattamaan kokonaisvaltaisemman toiminnan. Vuonna 2014 palvelukonepaja eriytyi omaksi osakeyhtiökseen KKR Steel Oy:ksi. Yrityksen yksiköt sijaitsevat Joensuun ympäristössä ja niihin kuuluvat muun muassa oma teräspalvelukeskus ja hitsaamo (kuva 1). (KKR Steel Oy, 2015.)

Kuva 1. KKR Steel Oy:n Hitsaamo. Kuva vuodelta 2015.

Palvelukonepajassa onnistuu suurienkin osakokonaisuuksien kasaaminen valmiiksi kokoonpanoiksi. Valmistettavat tuotteet vaihtelevat yksinkertaisista teräksisistä levyleikkeistä vaativampiin kokoonpanoihin, joihin voi muun muassa sisältyä erilliset särmäys- ja hitsausvaiheet. Yrityksellä on tuotannossaan valmiudet osien leikkaukseen, taivutukseen, koneistukseen, hitsaukseen, pintakäsittelyyn ja maalaukseen. Hitsaamossa käytössä on tavallisen käsinhitsauksen lisäksi monipuolinen robottihitsauskapasiteetti. (KKR Steel Oy, 2015.)

2 MIG/MAG-HITSAUS

Metallikaasukaasukaarihitsauksessa eli MIG/MAG-hitsauksessa lisäainetta syötetään vakionopeudella hitsattavaan kohtaan. Lisäaine siirtyy hitsisulaan pisaroina suojakaasulla suojatun valokaaren (kuva 2) kautta. Eniten lisäainepisarojen siirtymiseen hitsisulaan vaikuttaa sähkömagneettinen pinch-voima. Valokaari syntyy, kun lisäainelangan pää koskettaa perusainetta, jolloin muodostuu oikosulku ja valokaari syttyy sulattaen ja höyrystäen lisäainelankaa. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 103; Lukkari, 2002, s. 159.)

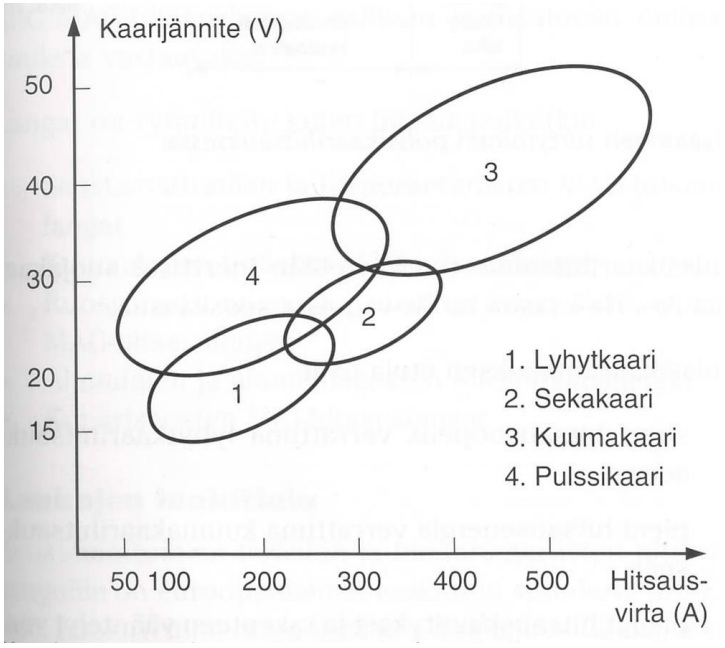


Kuva 2. MIG/MAG-hitsauksen toimintaperiaate (Lukkari, 2002, s. 159).

MIG- ja MAG-hitsaus eroavat toisistaan prosessissa käytettävän suojakaasun mukaan. MIG-hitsauksessa käytetään inerttiä suojakaasua eli passiivista kaasua. Inerttejä kaasuja ovat argon (Ar), Helium (He) tai näiden seoskaasu. MIG-hitsausta käytetään suojakaasuna yleensä ei-rautametallien hitsauksessa kuten alumiinin, kuparin ja titaanin kanssa. MAG-hitsauksessa käytetään aktiivista suojakaasua, joka reagoi hitsisulan aineiden kanssa. Aktiivisiin suojakaasuihin lasketaan sataprosenttinen hiilidioksidi sekä erilaiset argonista, hapesta (O_2) ja hiilidioksidista (CO_2) koostuvat suojakaasuseokset. SFS-EN ISO standardin mukainen tunnus MAG-hitsaukselle on 135 ja MIG-hitsaukselle 131. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 103; Lukkari, 2002, s. 159; SFS-EN ISO 4063.)

2.1 Kaarityypit

MIG/MAG-hitsauksessa peruskaarityypit jaetaan lyhyt-, seka-, kuuma- ja pulssikaareen (kuva 3). Kaarityyppi vaihtelee käytettyjen hitsausparametrien ja suojakaasun mukaan. Lisäaine siirtyy kaarityypistä riippuen hitsisulaan joko pisaramaisesti tai suihkumaisesti. (Lepola & Makkonen, 2006. s. 115; American Welding Society, 1999, s. 11.)



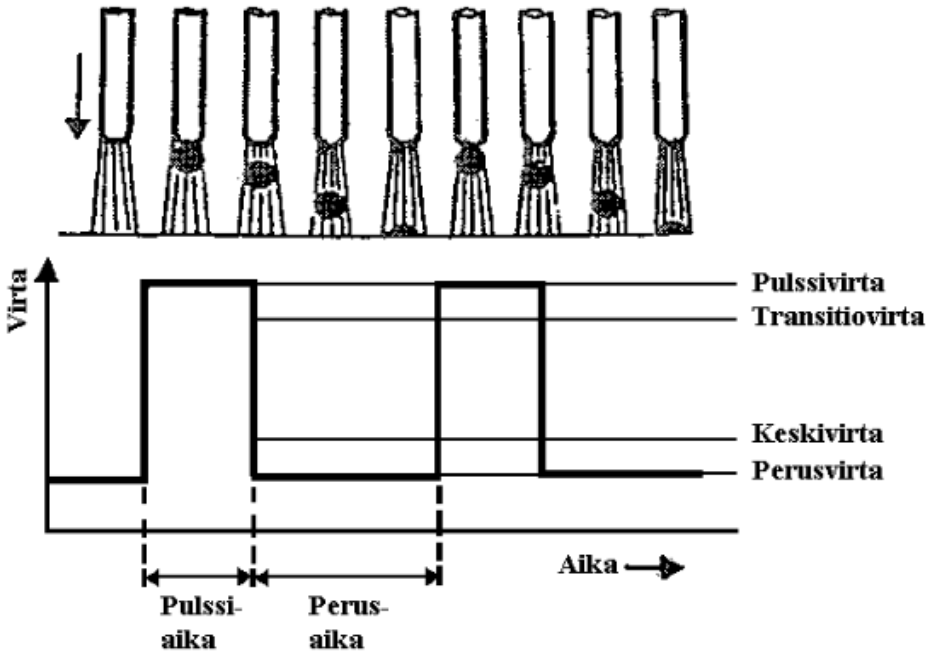
Kuva 3. Kaarityyppien alueet virta-jännitekentässä (Lepola & Makkonen, 2006, s. 115).

Lyhytkaarihitsauksessa lisäaine siirtyy oikosulkujen avulla hitsisulaan. Oikosulun seurauksena yksittäinen lisäainepisara siirtyy hitsisulaan. Lyhytkaarihitsauksessa käytetään alhaisia virta- ja jännitearvoja, joiden seurauksena hitsisula pysyy pienenä ja sula jähmettyy nopeasti. Pääasiassa lyhytkaarta käytetään asentohitsauksissa sekä ohutlevyjen ja juuripalkojen hitsauksessa. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 115; Lukkari, 2002, s. 168–169.)

Sekakaari on lyhytkaari- ja kuumakaarialueen välissä oleva kaarityyppi. Lisäaineen siirtyminen tapahtuu oikosulkuvaiheessa suurina pisaroina ja kaarivaiheessa suihkumaisena. Hitsaamisessa syntyy usein runsaasti roiskeita, joten tämän kaarialueen käyttöä vältetään. Sekakaarta käytetään, kun lyhyt- tai kuumakaarialue ei sovellu hitsaukseen. Tavallisia hitsauskohteita sekakaarelle ovat ylhäältä alaspäin hitsaus sekä vaakahitsaus. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 115; Lukkari, 2002, s. 169.)

Kuumakaarella hitsattaessa kaariteho nousee niin korkeaksi, että valokaari palaa ilman oikosulkuvaihetta. Hitsausvirran noustessa lisäaineen pisara koko pienenee ja aineensiirtyminen muuttuu suihkumaiseksi. Kuumakaarihitsausta käytetään suurien aineenpaksuuksien hitsaukseen lähinnä jalko- ja alapienahitsauksena. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 115–116; Lukkari, 2002, s. 169.)

Pulssikaaressa lisäainepisarat irtoavat hitsilangan päästä virtapulssin ansiosta. Pulssikaari on oikosuluton ja se synnytetään syöttämällä virtapulsseja perusvirran päälle, minkä seurauksena lisäaine siirtyy hitsisulaan suihkumaisena korkean virtapulssin aikana (kuva 4). (Lepola & Makkonen, 2006, s. 116; Lukkari, 2002, s. 170.)



Kuva 4. Pulssikaaren periaate (Lukkari, 2002, s. 171).

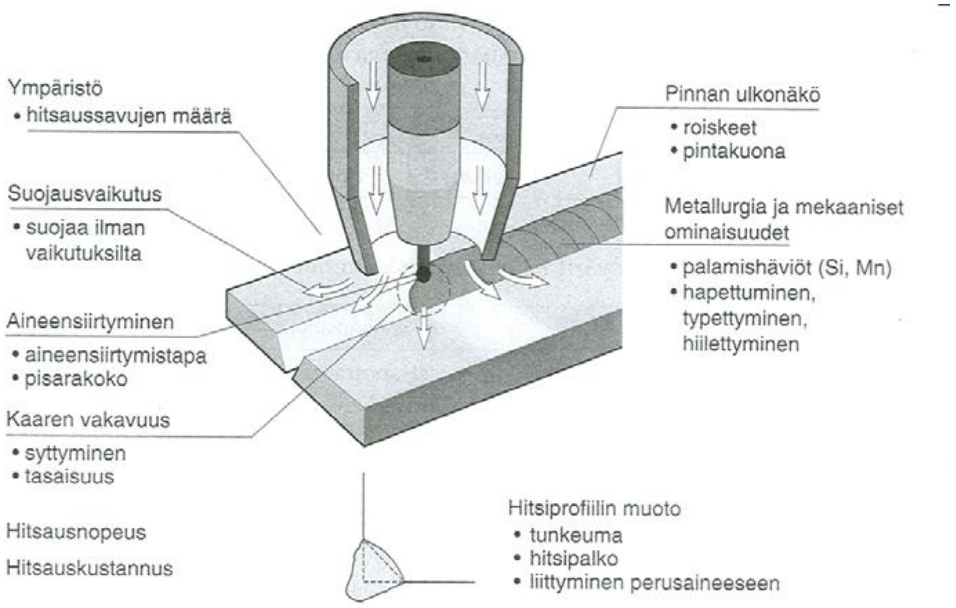
Perinteisten kaarityyppien lisäksi on olemassa niin sanottuja modifioituja prosesseja, joilla pyritään tehostamaan hitsausta erilaisissa käyttötapauksissa kuten ohutlevyjen ja lujien terästen hitsauksessa. Suuret hitsauslaitevalmistajat ovat kehittäneet omia sovelluksiaan kaarihitsaukseen, esimerkiksi Kempillä on oma Wise™-tuoteperheensä, Froniuksella CMT™-prosessi (Cold metal transfer™ process) ja Lincoln Electricillä STT™-prosessi (Surface tension transfer™ process). (Kah, P., Suoranta, R. & Martikainen, 2013, s. 655–663.)

2.2 Lisäaineet

MIG/MAG-hitsauksessa käytettävät lisäaineet ovat ohuita kelalla olevia hitsauslankoja. Tavallisimmat langanhalkaisijat ovat 0,8, 1,0 ja 1,2 mm, ohuemmat ja paksummat langat ovat harvemmin käytettyjä. Käsinhitsauksessa käytettävät langat ovat usein 15–20 kg painavilla vakiokeloilla, kun mekanisoidussa ja robotisoidussa hitsauksessa käytettävissä suurkeloissa ja pakkauksissa lankaa voi olla 200 tai 300 kg. Lisäainelangat valitaan perusaineen ominaisuuksia vastaavaksi. (Lukkari, 2002, s. 192–193.)

2.3 Suojakaasut

Suojakaasulla on hitsauksen yhteydessä useita eri tehtäviä, joista tärkeimmät ovat suojata hitsisulaa ympäröivän ilmakehän vaikutuksilta ja varmistaa edulliset olosuhteet valokaaren palamiselle. Ympäröivän ilman happi, typpi ja kosteus huonontavat hitsin laatua hitsisulaan päästessään, mikä voi näkyä esimerkiksi huokoisuutena hitsissä. Kuvaan 5 on merkitty suojakaasun eri tehtävät. (AGA, 2013, s. 5.)



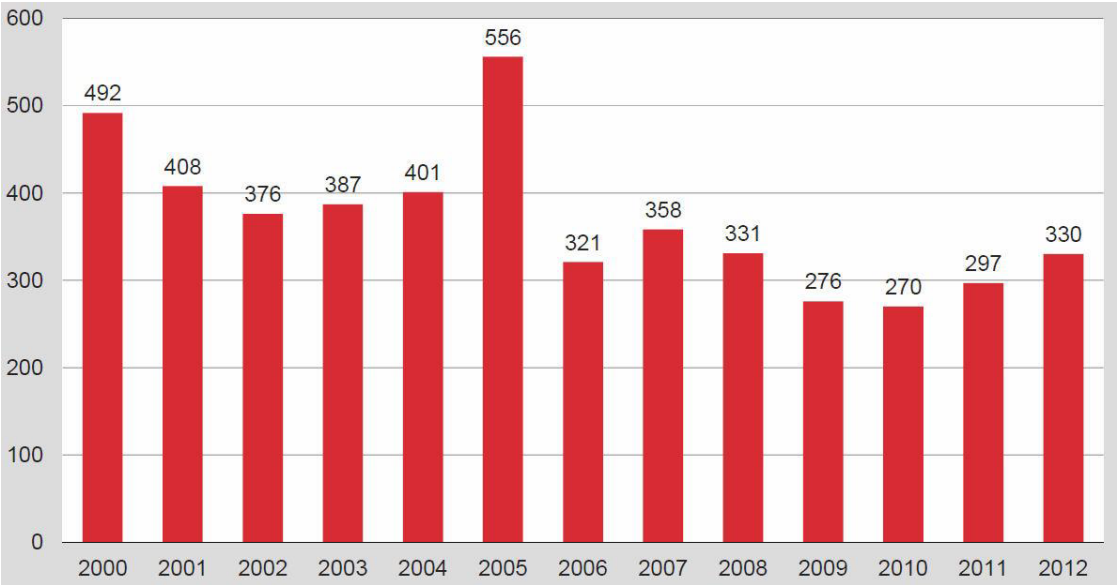
Kuva 5. Suojakaasun tehtävät hitsauksessa (Korjala, 2007, s. 5).

Oikein valitulla suojakaasulla saadaan parannettua hitsaustulosta merkittävästi. Vastaavasti huonosti valittu suojakaasu ja puutteellinen kaasunsuojaus heikentävät hitsin laatua ja aiheuttavat hitsausvirheitä. Virheet voivat johtua esimerkiksi liian suuresta tai pienestä kaasunvirtauksesta, vetoisuudesta tai huonosta kaasunsyöttöjärjestelmästä. (Lukkari, 2002, s. 197.)

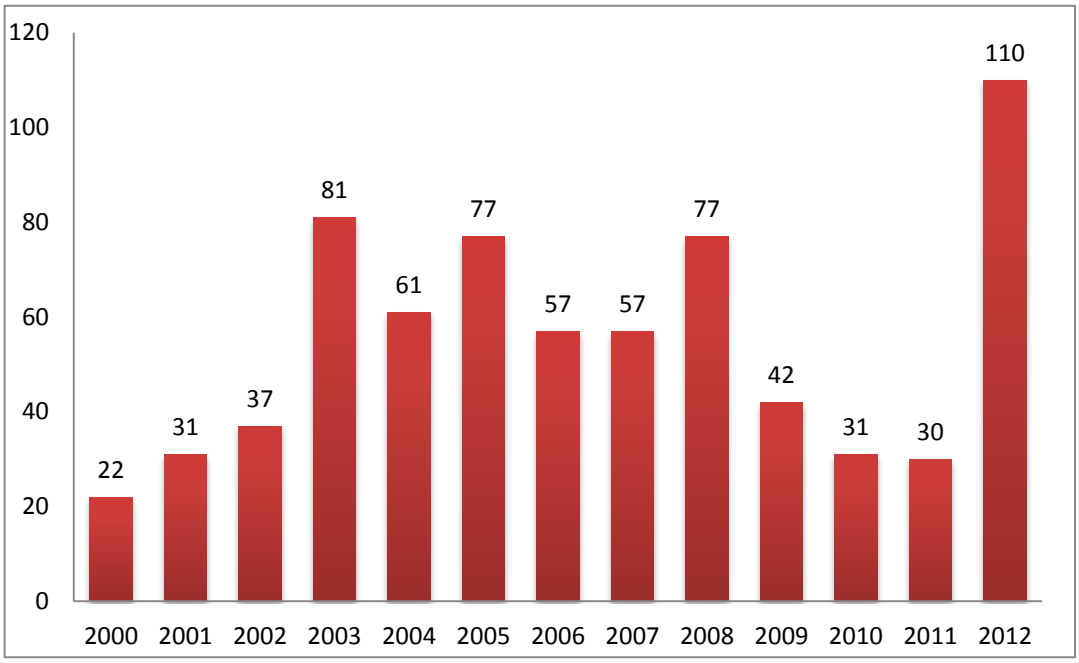
3 ROBOTIT JA ROBOTTIHITSAUS

Vuonna 2012 Suomessa oli käytössä 4311 teollisuusrobottia, joista 696 oli hitsausrobottia eli hitsausrobottien osuus kaikista teollisuusroboteista oli 16,4 %. Käyttöiäksi roboteille näissä tilastoissa on arvioitu 12 vuotta, mutta monissa yrityksissä on käytössä tätä vanhempia robotteja, joten käytössä olevien hitsausrobottienkin määrä on todellisuudessa tilastoitua suurempi. (Lempiäinen, 2012, s. 1.)

Tilastoista näkyy kuinka uusien teollisuusrobottien hankinta on vähentynyt vuoden 2008 (kuva 6) laman jälkeen ja sama ilmiö on havaittavissa myös hitsausrobottien käyttöönottojen (kuva 7) kohdalla. Vuoden 2012 tilastoissa näkyvä kasvu johtuu lähinnä Uudenkaupungin Valmet Automotiven lähes sadan teollisuusrobotin tilauksesta, joista yli 80 kpl oli pistehitsausrobotteja. Valtaosa Suomessa käytettävistä hitsausroboteista on kuitenkin kaarihitsausrobotteja. (Lempiäinen, 2012, s. 1–3.)



Kuva 6. Vuosittaiset käyttöönotetut teollisuusrobotit Suomessa 2000-luvulla (Lempiäinen, 2012, s. 1).



Kuva 7. Vuosittaiset käyttöönotetut hitsausrobotit Suomessa 2000-luvulla (Lempiäinen, 2012, s. 4).

VTT:n vuonna 2007 suomaisille hitsaaville yrityksille tekemän kyselytutkimuksen mukaan yli puolessa kyselyyn vastanneista 87 yrityksestä oli käytössä automaatti- tai robottihitsausasemia. Tavallisesti asemia oli yrityksessä 1–4 kpl ja yleensä yhtä robottiasemaa kohden työskenteli yksi operaattori. (VTT, 2008, s. 21–22.)

Hitsaustuotannon automaatioaste jää yrityksissä kuitenkin varsin alhaiseksi yleensä alle 20 %:n (kuva 8). Hitsauksen kehittäminen hitsausautomaatiota lisäämällä koettiinkin yhdeksi tärkeimmäksi kehityskohteeksi yrityksissä. (VTT, 2008, s. 24.)

	Vastaus	Lukumäärä	Prosentti	20%	40%	60%	80%	100%
1.	0 %	15	15,63%					
2.	1 - 20 %	46	47,92%					
3.	20 - 50 %	21	21,88%					
4.	50 - 80 %	8	8,33%					
5.	yli 80 %	7	7,29%					

Kuva 8. Hitsauksen automaatioasteet VTT:n kyselytutkimuksen yrityksissä (VTT, 2008, s 24).

3.1 Robottityypit ja rakenteet

Kuivanen (1999, s. 13) kirjoittaa robotin määritelmästä että ”Kansainvälisen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa."

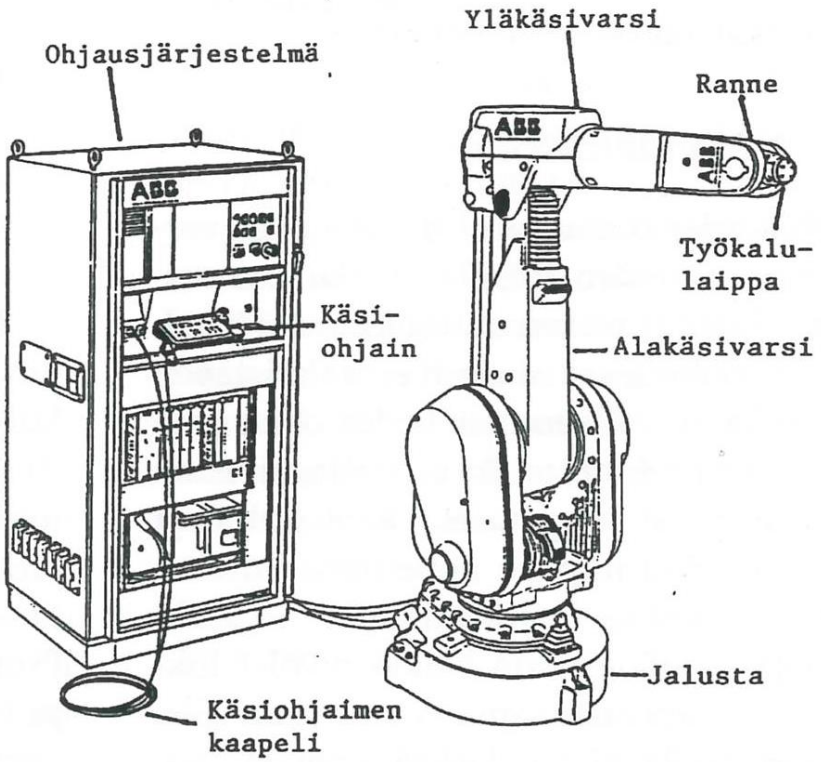
Robotti muodostuu erilaisista tukivarsista, jotka liikkuvat pareittain jonkin suoran suuntaisesti tai sen ympäri. Tämän tyyppisestä akselista käytetään nimitystä nivel. Robotin perusliikkeet suoritetaan nivelillä ja yksi nivel tarkoittaa yhtä vapausastetta. Robottisovelluksen tukivarsien liikuttaminen toistensa suhteen tapahtuu toimilaitteiden avulla. Toimilaitteita ovat muun muassa moottorit ja sylinterit, joita on tavallisesti yksi kappale yhtä vapausastetta kohti. (Kuivanen, 1999, s. 15.)

Teollisuusrobotit ovat mekaaniselta rakenteeltaan joko avoimia tai suljettuja kinemaattisia rakenteita. Avoimessa rakenteessa tukivarret on kytketty toistensa perään ja suljetussa rakenteessa tukivarret on kytketty rinnakkain. Suljetun rakenteen etuna on, että tukivoimat jakaantuvat toisiaan tukeville rakenteille, jolloin robotin kuormankantokyky kasvaa. Teollisuusrobotit muun muassa kaarihitsausrobotit, perustuvat pääasiassa avoimeen kinemaattiseen rakenteeseen, jolloin niiden kuormankantokyky on alhainen, mutta työalueesta saadaan melko suuri. (Kuivanen, 1999, s. 16–17.)

Robotin lisäksi robottijärjestelmään kuuluu erilaisia komponentteja (kuva 9), joista robotin toiminnan kannalta oleellinen on robotin ohjausjärjestelmä, jonka avulla muun muassa ohjataan robotin toimilaitteita ja reagoidaan antureilta tulevaan tietoon. Robotin ohjausjärjestelmä saa tietoa robotin liikkeistä paikanmittausantureilla, joiden lähettämän tiedon avulla saadaan selville akseleiden asematiedon lisäksi tietoa robotin akselien liikesuunnista, nopeuksista ja kiihtyvyyksistä. (Kuivanen, 1999, s. 30–32.)

Robotin käsivarteen liitetään työkalu, jota robotti sitten liikuttaa. Tavallisia työkaluja ovat tarraimet, hitsauspistoolit ja maalaussuuttimet. Nykyiset robotit ovat usein erikoisrobotteja, jotka on suunniteltu tiettyä käyttötarkoitusta varten esimerkiksi maalausrobotit.

Teollisuusrobottien toimittajilla on kuitenkin myös malleja, joita valmistetaan sarjatuotantona tuhansia kappaleita vuodessa. (Kuivanen, 1999, s. 13.)



Kuva 9. Robotti ja robotin komponentteja (Kuivanen, 1999, s. 13).

Uudelleen ohjelmoitavuuden lisäksi uudemmissa robottisovelluksissa robottien on pystyttävä muodostamaan kappaleen suunnittelutietojen ja ympäristömallin perusteella liikeratansa, jota muokataan tarpeen mukaan prosessia seuraavien antureiden avulla. Robotin liikerata voidaan joko määrittää etukäteen, liikerata muuttuu toimintaympäristön tapahtumien perusteella tai liikerata luodaan ohjelman aikana antureiden antaman informaation perusteella. (Kuivanen, 1999, s. 16.)

3.2 Hitsausrobotit ja apulaitteet

Robottihitsauksen kannalta tärkeimpiä robotilta vaadittavia ominaisuuksia ovat toistotarkkuus, ratatarkkuus, robotin ulottuvuus sekä robotin liikenopeus. Toistotarkkuudella tarkoitetaan kuinka paljon asematarkkuus poikkeaa nimellisestä asemasta. Nykyisillä roboteilla päästään toistotarkkuuden kohdalla 0,1 mm tarkkuuteen, mikä on riittävä hitsauksen kannalta. Enemmän haasteita aiheuttaa ratatarkkuus, joka on

kohtisuorissa suunnissa nimellisen liikeradan ja todellisten liikeratojen keskiarvon välisen eron poikkeama liikkeessä. Ratatarkkuuteen vaikuttavat etenkin robottiohjain ja sen laskentatehon suuruus. Kaarihitsaussovelluksissa robotin kuormankantokyky on yleensä alle 10 kg, minkä johdosta robotin liikenopeudet ovat korkeat. (Hiltunen & Naams, 2000, s. 20; Kuivanen, 1999, s. 183–185.)

Hitsausroboteista yleisimpiä ovat kuuden vapausasteen robotit, joilla päästään 0,1 mm toistotarkkuuteen. Robotit on usein asennettuna omalla kiertyvälle jalustallaan. Kun halutaan kasvattaa robotin työaluetta, voidaan robotti asettaa lineaariradalle. Robotti voidaan asentaa myös roikkumaan ylösalaisin portaaliin, jolloin saadaan esteetön ja suuri työskentelyalue. (Hiltunen & Naams 2000, s. 20; Aaltonen & Torvinen, 1997, s 147.)

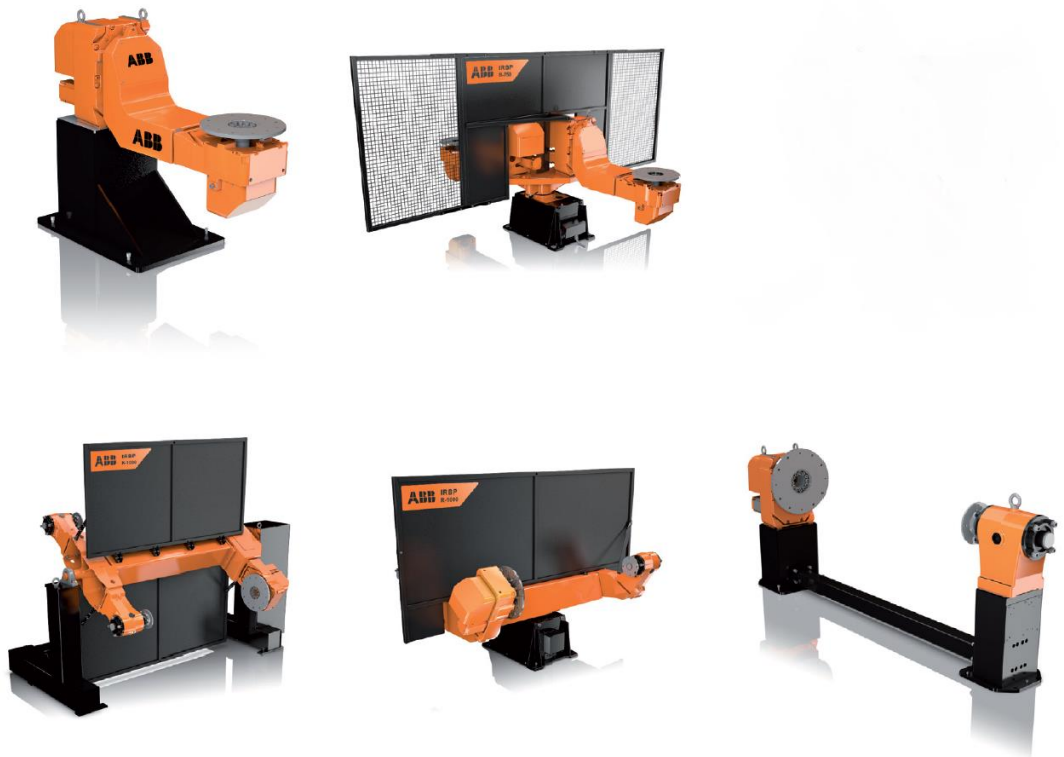
Robottihitsausasemaan kuuluu keskeisesti hitsausvirtalähde. Roboteissa käytettävien virtalähteiden kohdalla on olennaista, että parametrien säätömahdollisuudet ovat monipuoliset ja helpot ajatellen robotille luotavia parametritaulukoita. Robottihitsauksessa ovat yleistyneet prosessit, joilla päästää suurempiin hitsiaineentuottoihin kuten esimerkiksi tandem-hitsauksella varustetun virtalähteen avulla, ja prosessit, joilla voidaan hitsata ohuempia aineenpaksuuksia esimerkiksi virtalähteen pulssihitsausominaisuuksien avulla. (Hiltunen & Naams, 2000, s. 22.)

Nykyaikaisissa robottihitsausasemissa lähes kaikissa vakiona on polttimen puhdistus- ja langankatkaisulaitteet, törmäyssuoja ja lisäainelangan tynnyripakkaukset. Yleistymässä ovat myös polttimen vaihto- tai kaulanvaihtojärjestelmällä varustetut asemat, joilla hitsausasema saadaan tarvittaessa muutettua monitoimiasemaksi esimerkiksi termistä leikkausta tai jäysteenpoistoa varten. (Hiltunen & Naams, 2000, s. 21–22.)

3.3 Käsittelylaitteet

Robottiasemaan kuuluu yleensä erityyppisiä käsittelylaitteita eli robottipöytiä. Robotin käsittelylaitteiden pääasiallisena tarkoituksena on kasvattaa robottien työskentelyaluetta ja saada hitsattavat kappaleet sopiviin hitsausasentoihin. Käsittelypöydän avulla valmistettavaa tuotetta voidaan pyörittää, kallistaa tai nostaa robotin tarpeiden mukaan. Kuvassa 10 on erilaisia robottipöytiä. (Hiltunen & Naams, 2000, s. 20; Hiltunen, Pietarinen & Mäki, 2010, s. 37.)

Käsittelylaitteiden tulee olla yhteensopivia robotin ohjausjärjestelmän kanssa. Tuotteiden lataaminen ja irrotus on usein hidasta, joten on kehitetty kaksipuoleisia kappaleenkäsittelylaitteita, joissa toisella puolella voidaan suorittaa tuotteen lataaminen robotin hitsatessa toisella puolella pöytää. (Robot welding, 2001.)



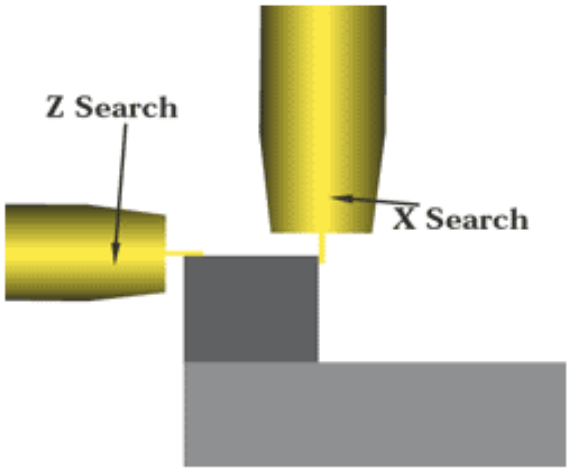
Kuva 10. Erityyppisiä kappaleenkäsittelylaitteita (ABB Oy, 2014, s.1).

3.4 Railonhaku ja -seuranta

Railonhaku ja -seuranta ovat tärkeitä työkaluja, joilla hitsausrobottien toimintavarmuutta voidaan parantaa. Osien valmistusepätarkkuuksista ja hitsauksen aiheuttamista muodonmuutoksista johtuen hitsausohjelman rata voi poiketa todellisista railonsijainneista, jolloin hitsauksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että näitä muutoksia voidaan kompensoida. Railonhaku ja -seuranta voivat tulla tarpeeseen myös tilanteissa, joissa osien koosta tai muodosta johtuen pelkästään kiinnittimillä osia ei saada paikoitettua riittävän tarkasti robottihitsausta ajatellen. (Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 34–35, Martikainen, 2006, s. 2–3.)

3.4.1 Railonhaku sähköisen kontaktin avulla

Tavallisesti railonhaku tehdään sähköisen kontaktin avulla käyttäen haussa apuna kaasuholkkia tai lisäainelankaa (kuva 11). Railonhaku suoritetaan ennen hitsauksen aloittamista tunnustelemalla hitsattavaa kappaletta yhdeltä tai useammalta sivulta. Anturit lähettävät tiedon ohjelmaan, joka tekee tarvittavat hitsauspään korjaukset kappaleen paikan suhteen. Railonhaku vaatii toimiakseen, että hakupinnat ovat riittävän puhtaat ja railomuoto mahdollistaa haun suorittamisen. Railonhaku lisää tyypillisesti ohjelma-aikaa 3–5 s jokaista suoritettua hakua kohden. (Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 34–35; Lincoln Electric, 2009.)



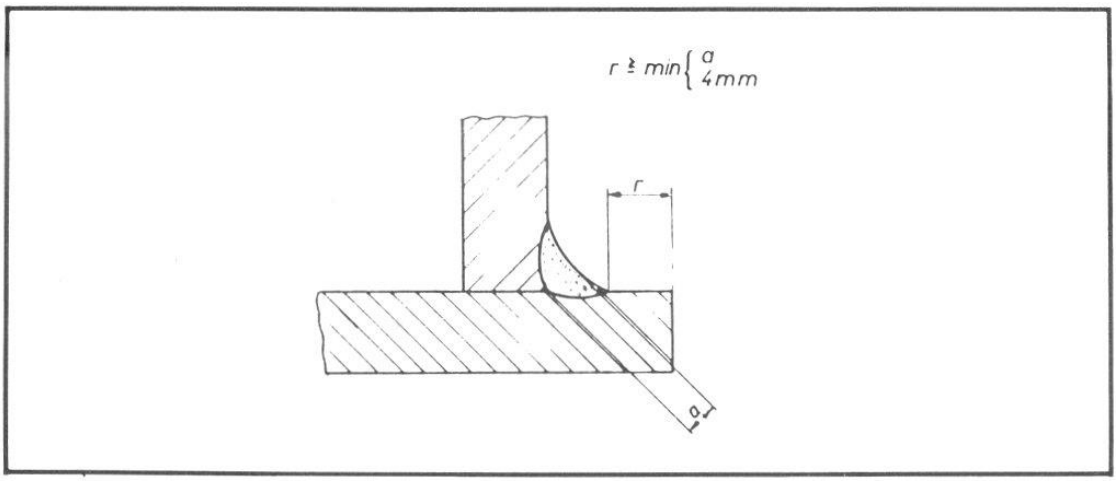
Kuva 11. Railonhaku lisäainelangan avulla (Lincoln Electric, 2008).

3.4.2 Hitsausvirtaan perustava railonseuranta

Valokaaren läpi tapahtuva seuranta perustuu hitsausvirran muutoksiin ja ohjelmiston sen mukaan tekemiin paikan korjauksiin. Hitsausvirtaan perustuva railonseuranta edellyttää vaaputustoiminnon käyttöä hitsauksen yhteydessä. Vaaputuksen ääripäissä hitsausvirran tulee olla sama, jotta hitsauspää kulkee keskellä hitsausrailoa. Jos näin ei ole, korjaa robotti hitsauspään paikkaa saadun tiedon mukaisesti. (Lincoln Electric, 2009.)

Hitsausvirtaan perustuva railonseuranta on halpa menetelmä ja sen avulla voidaan seurata railoa ja hitsata samanaikaisesti. Rajoituksia valokaaren läpi tapahtuvan seurannan toiminnalla asettaa vaaputus, mikä vaatii, että railon kyljet ovat selvästi erotettavissa ja kyljillä oltava riittävästi leveyttä vaaputuksen onnistumiseksi (kuva 12). Menetelmää ei voi

käyttää alle 2 mm paksuisten levyjen hitsauksessa eikä suurilla hitsausnopeuksilla. (Lincoln Electric, 2009.)



Kuva 12. Vaaputuksessa tarvittavan railon kyljen pituus (Hiltunen, 2005, s. 20).

3.4.3 Optiset menetelmät

Optisia menetelmiä voidaan soveltaa sekä railonhakuun että -seurantaan. Menetelmät perustuvat kosketuksettomaan seurantaan, jossa railoa tarkkaillaan visuaalisesti anturin avulla. Anturista tulevan tiedon perusteella ohjausjärjestelmä korjaa robotin hitsauspään sijaintia suhteessa railoon. (Drews & Starke, 1989.)

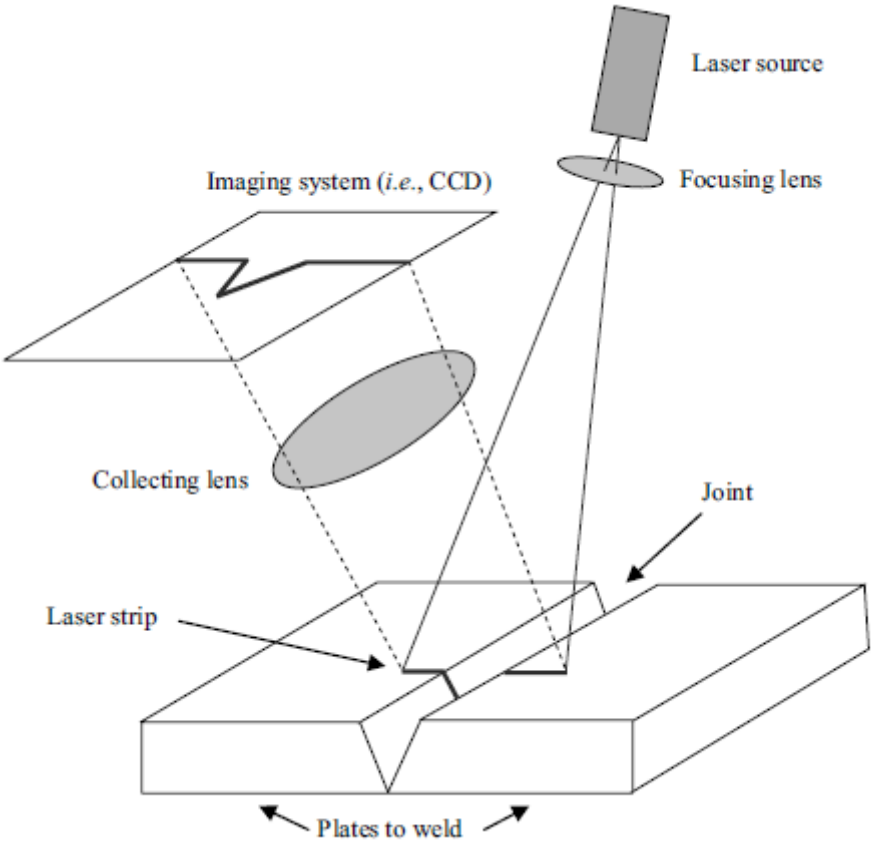
Optisia menetelmiä voidaan käyttää suurillakin hitsausnopeuksilla ja ne soveltuvat monipuolisesti erilaisille liitos- ja railotyypeille. Antureilla voidaan kerätä hitsauksen aikana muutakin tietoa tavallisen railonseurannan lisäksi kuten esimerkiksi hitsipalon muodosta ja hitsirailon tilavuudesta, minkä perusteella robotti tekee tarvittavat korjaukset ohjelmaan. Suurimmaksi ongelmaksi nousee optisen anturin koko, joka rajoittaa robotin työaluetta ahtaissa rakenteissa. Lisäksi optiset järjestelmät ovat melko kalliita ja hitsauksen valokaari voi häiritä anturin toimintaa. (Drews & Starke, 1989, s. 84–85; Hiltunen & Naams, 2000, s. 22; Martikainen, 2006, s. 7.)

Martikaisen (2012, s. 7) mukaan optiset menetelmät voidaan jakaa neljään ryhmään:

- ”Valointensiteettiä mittaava menetelmät
- Strukturoidun valon menetelmät
- Lasersäteen pyyhkäisyyn perustuvat menetelmät

- Hitsisulan tarkkailuun perustuvat menetelmät”

Robottihitsauksessa yleisimmin käytetyiksi optisiksi menetelmiksi ovat nousseet strukturoituun laservaloon perustuvat menetelmät, missä matalatehoinen lasersäde hajotetaan linssin avulla tasomaiseksi, jonka jälkeen se kohdistetaan hitsattavaan railoon (kuva 13). Hajotettu valotaso kulkee hitsauspään edellä ja heijastuu toisen linssin läpi sitä vinosta kulmasta tarkastelevaan kameraan. Railon paikassa ja geometriassa esiintyvät poikkeamat näkyvät kameran kuvassa valotason muodon muutoksena. Kameran keräämä tieto muokataan ohjausjärjestelmälle tai tietokoneelle sopivaan muotoon, minkä perusteella järjestelmä antaa toimintakäskyn robotin radan korjaukselle. (Martikainen 2006, s. 7; Pires, Loureiro & Bolmsjö, 2006, s. 110.)



Kuva 13. Stukturoidun valon periaate (Pires et al., 2006, s. 110).

3.5 Robotin ohjelmointi

Pääasialliset menetelmät robottien ohjelmointiin ovat opettamalla ohjelmointi ja etäohjelmointi. Robottien ohjelmointi perustuu hitsattavan radan paikoituspisteisiin, joiden

yhteyteen luodaan tarvittavat ohjauskäskyt, esimerkiksi hitsauksen aloitus- ja lopetuskäskyt. (Hiltunen & Naams, 2000, s. 22.)

3.5.1 Opettamalla ohjelmointi

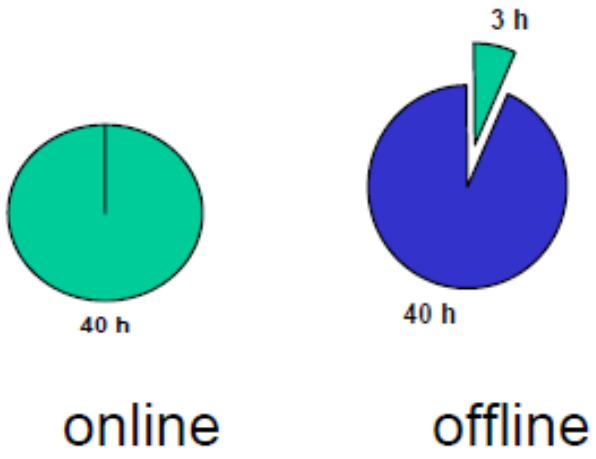
Opettamalla ohjelmoinnissa eli online-ohjelmoinnissa robottiin liikeratoja ohjelmoidaan käsiohjaimen avulla. Robotin työkalu kuljetetaan käsiohjaimella haluttuun paikkaan ja tallennetaan paikkapiste robottiaseman muistiin. (Hiltunen & Naams, 2000, s. 22.)

Robotin opettamalla ohjelmoinnissa on tärkeää pyrkiä mahdollisimman sujuvaan ohjelmointiin, sillä uuden ohjelman opettamisen ajan robotti on poissa tuotantokäytöstä, mikä heikentää robottiaseman tuottavuutta. Käsiohjaimen käytön kannalta on tärkeää, että robotin käskykantaa voidaan selata ilman erillistä ohjekirjaa ja operaattori löytää nopeasti tarvittavat käskyt ohjelman toteuttamiseen. Ohjelmoinnin nopeuttamiseksi eri a-mittoja ja hitsausnopeuksia varten on järkevää tehdä valmiiksi parametritaulukot, joiden avulla ohjelmointia saadaan nopeutettua. (Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 35; Kuivanen, 1999, s. 79.)

3.5.2 Etäohjelmointi

Etäohjelmoinnilla eli offline-ohjelmoinnilla tarkoitetaan robotin liikeratojen ja toimintojen ohjelmointia ilman varsinaista tuotantorobottia hyödyntäen tietokoneohjelmistoa, robottisolun simulointimallia ja 3D-mallia tehtävästä tuotteesta. Ohjelmointi perustuu samalla tavalla paikoituspisteiden luontiin kuin online-ohjelmointi. (Kuivanen, 1999, s. 82–83.)

Keskeisin etäohjelmoinnin avulla saatava hyöty on tuotantokatkoksien lyhentyminen itse hitsaustuotannossa. Ohjelmoinnista aihetuvat tuotantokatkot saadaan lyhennettyä jopa kymmenesosaan (kuva 14) lähtötilanteeseen nähden. (Aalto & Lylynoja, 2005, s. 11.)



Kuva 14. Offline- ja online-ohjelmointien vaikutus tuotantokatkoksien pituuteen. Vihreä väri kuvastaa ohjelmoinnista aiheutuvaa tuotantokatkosta ja sinisen aikana robotti on normaalissa tuotantokäytössä. (Aalto & Lylynoja, 2005, s. 11.)

Etäohjelmointi mahdollistaa myös tuotteen valmistettavuuden testauksen simuloinnin avulla. Tästä on etenkin hyötyä testattaessa robotin ja sen oheislaitteiden ulottuvuuksien soveltuvuutta tuotteen valmistukseen. Simuloimalla voidaan myös ennakkoon selvittää miten kappaleen kiinnitys tulisi suorittaa, jotta kiinnitys ei aiheuta ongelmia robotin ohjelmointia ajatellen. Tällä tavoin voidaan säästää esimerkiksi kiinnittimien valmistuskustannuksissa, kun hitsauskiinnitin saadaan valmistettua kerralla oikein ilman, että tuotannossa joudutaan jatkuvasti muokkaamaan kiinnitintä. (Aalto, 2010, s. 31–32; Kuivanen, 1999, s. 82.)

Etäohjelmoinnin käyttö on järkevää muun muassa seuraavissa tilanteissa: (Aalto & Lylyoja, 2005, s.11; Kuivanen, 1999, s. 82)

- Tuotannon sarjakoot ovat pienet
- Tuotteiden vaihtuvuus on suurta
- Tuotanto on asiakasohjautuvaa
- Robottiohjelmassa on suuri määrä paikoituspisteitä esimerkiksi hitsaus- tai leikkausprosessissa
- Tuotesuunnittelussa hyödynnetään 3D CAD- järjestelmiä

Jotta etäohjelmoinnilla tehdyt robottiohjelmat toimisivat tuotantosolussa, tulee simulointimallin vastata todellista tilannetta. Simulointimallin muuttamista tuotantosolua vastaavaksi kutsutaan kalibroinniksi, joka voidaan tehdä kehittyneissä etäohjelmointijärjestelmissä kalibrointimoduulin avulla. Mikäli etäohjelmisto-ohjelmassa ei ole kalibrointimahdollisuutta, joudutaan kaikki pisteet korjaamaan käsin, mikä vähentää etäohjelmoinnista saatavaa hyötyä. (Aalto, 2009, s. 44–45.)

Robottisolun kalibrointi koostuu: (Aalto, 2009, s. 45)

- geometristen virheiden mittauksista
- simulointimallin parametrien tunnistamisesta
- mallin muokkaamisesta mittaerojen kompensoimiseksi

Robottisolu mitataan ulkopuolisen mittausjärjestelmän avulla tai käyttäen hitsausrobottia mittauslaitteena. Mitatut mittauspisteet syötetään ohjelmointijärjestelmään, jossa tulokset analysoidaan ja järjestelmä tunnistaa tästä virhelähteet. Kalibrointimoduulilla pystytään korjaamaan geometriavirheiden aiheuttamat ongelmat. (Aalto, 2009, s. 45.)

Solumallin ja tuotantosolun välisessä kalibroinnissa päästään jopa 0,5–1 mm tarkkuuteen, mutta tarkkuus pienenee ulkoisten akselien määrän kasvaessa. Ulkopuolisen mittausjärjestelmän avulla tehty kalibroinnin tarkkuus on 0,5 mm/ulkoinen akseli ja robotilla kalibroinnin tarkkuus on noin 1 mm/ulkoinen akseli. Tarkkuudelle asetettavat vaatimukset riippuvat kuitenkin käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi laser- ja vesisuihkuleikkauksessa simulointimallille asetettavat tarkkuusvaatimukset ovat varsin tiukat, koska käytössä ei ole leikkausprosessin aikana tapahtuvaa adaptiivista seurantaa. Sen sijaan kaarihitsauksessa käytössä on yleensä railonhaku ja -seuranta, jolloin voidaan sallia jopa yli 10 mm poikkeamia, kunhan tämä huomioidaan ohjelman hakutoiminnoissa. Railonhaku ja -seuranta tosin pidentävät hitsaukseen kuluvaa kokonaisaikaa. (Aalto, 2009, s. 45.)

4 HITSAUKSEN ROBOTISOINTI

Länsimaalaisessa teollisuusmaassa hitsausrobotit ovat nykyisin välttämättömiä sarjatuotantoa tekevissä yrityksissä, mikäli halutaan kilpailla halvan työvoiman maiden kanssa samoilla markkinoilla. Robotisoinnin avulla haetaan ensisijaisesti teollisuusmaissa työkustannusten alentamista ja tasalaatuisuutta tuotantoon. (Stenbacka, 2011, s. 37.)

4.1 Mihin tarvitaan robotisointia hitsauksessa?

Yleisenä arviona voidaan sanoa, että yksi robotti vastaa noin kolmea käsinhitsaajaa. Tosin robotti tarvitsee yleensä yhden operaattorin eli mekanisointilaitteen käyttäjän käyttämään robottia, mutta välillä voi olla myös miehittämättömiä jaksoja. Mitä korkeammaksi automaatioaste saadaan, sitä halvemmaksi suhteellisesti työvoimakustannukset tulevat. (Stenbacka, 2011, s. 37; Meuronen, 2011, s. 14.)

Tuottavuuden kasvattamisen ja työvoimakustannusten pienentämisen lisäksi robottien hankintaa puoltavia syitä on listattu seuraavaan: (Aaltonen & Torvinen, 1997, s. 153; Meuronen, 2011, s.14)

- Ergonomian parantaminen ja raskaiden töiden siirto robotille
- Laadun parantaminen ja tasalaatuisuus
- Imagon nostattaminen uuden teknologian avulla
- Tuottavuuden ja kilpailukyvyn parantaminen
- Asiakkaan vaatimukset alihankintayrityksessä
- Ammattitaitoisten hitsaajien puute
- Lämmöntuonnin tarkka säätely

Robotisoinnin avulla voidaan parantaa työntekijöiden työskentelyolosuhteiden ergonomiaa muun muassa kaaren säteilyn, hitsaushuurujen, työasentojen sekä työturvallisuuden osalta. Robotin ei tarvitse pitää hitsauksen välillä samaan tapaan taukoja normaalin hitsaajan tavoin. Käsinhitsaajan saattaa olla tarve keskeyttää työskentely ajoittain valokaaren aiheuttaman lämpökuorman takia, minkä lisäksi raskaiden kappaleiden kääntely sopiviin hitsausasentoihin hidastaa työskentelyä ja rasittaa hitsaajaa. Robotilla kappale saadaan

sopiviin hitsausasentoihin apulaitteiden avulla ja hitsauksesta aiheutuva lämpökuorma ei hidasta robotin työskentelyä. (Salkinoja, 2010, s. 10, Meuronen, 2011, s. 14.)

Robottihitsauksen avulla voidaan myös paikata ammattitaitoisten hitsaajien puutetta. Yksinkertaisia tehtäviä voidaan siirtää hitsattavaksi robotilla, jolloin taitavat hitsaajat voidaan siirtää hitsaamaan vaativampia kohteita. Yksinkertaisiin robotin käyttötehtäviin voidaan käyttää myös vähemmän kokeneita työntekijöitä. (Aaltonen & Torvinen, 1997, s. 153.)

Yritys voi haluta osoittaa robotisointiprojektin avulla asiakkailleen ja muille sidosryhmilleen olevansa moderni ja teknologiaan panostava konepaja. Uudet robottijärjestelmät lisäävät yrityksen kiinnostavuutta myös työntekijöiden silmissä. Robottijärjestelmät tarjoavat mahdollisuuden työntekijälle kehittää jatkuvasti osaamistaan ja soveltaa jatkuvan parantamisen periaatteita, jolloin saadaan parannettua työn tuottavuutta ja työ pysyy monipuolisena. (Aaltonen & Torvinen, 1997, s. 153.)

Tavallisessa suomalaisessa konepajassa käsinhitsauksen kaariaikasuhde jää tyypillisesti alle 20 %:n. Hitsauksen mekanisoinnin ja robotisoinnin avulla valokaarisuhdetta voidaan nostaa huomattavasti, kuten taulukosta 1 näkyy. Kaariaikasuhdetta ja hitsiaineentuottoa (kg/h) voidaan kasvattaa jopa kolminkertaiseksi robotisoinnin avulla lähtötilanteeseen nähden. Hitsattava kappale saadaan robotin käsittelylaitteiden avulla tuottavuuden kannalta hyviin hitsausasentoihin. (Lahti, 2011, s. 3; Meuronen, 2011, s. 14.)

Taulukko 1. Eri prosessien kaariaikasuhteita mekanisoidussa ja käsinhitsauksessa (muokattu Stenbacka, 2011, 72).

Prosessi	Kaariaikasuhde %
Puikkohitsaus	20
MIG/MAG umpilankahitsaus	22 – 25 Käsin 40 – 90 Mekanisoitu
MIG/MAG täytelankahitsaus	22 – 25 Käsin 40 – 90 Mekanisoitu
Jauhekaarihitsaus	40 – 80

Robottihitsauksen avulla voidaan parantaa tuotteiden laatua ja etenkin saadaan vähennettyä laatupoikkeamien määrää. Robotin kohdalla voidaan olla varmoja, että kaikki ohjelmoidut hitsit hitsataan eikä hitsejä jää vahingossa pois. Alihankintayrityksen tapauksessa asiakas voi vaatia tuotteilta korkeampaa ja tasaisempaa laatua, jolloin yrityksen voi olla järkevintä alkaa hyödyntämään robottihitsausta tuotannossaan. (Aaltonen & Torvinen, 1997, s. 151–153.)

Terästen kehittymisen myötä ovat korostuneet vaatimukset lämmöntuonnin säätelylle hitsauksessa. Tilanteissa, joissa vaaditaan tarkkaa tai pientä lämmöntuontia esimerkiksi erittäin lujien terästen kohdalla tai ohutlevyjä hitsattaessa robotisoidulla hitsauksella saadaan varmistettua, että lämmöntuonti on jokaisella työkierrolla samansuuruinen. (Kivioja et al., 2007, s. 45.)

4.2 Robottihitsauksen tehostaminen

Parhaaseen tuottavuuteen robottihitsauksessa päästään, kun apu- ja häiriöaika ovat mahdollisimman pienet ja robotin tehollinen aika on mahdollisimman suuri. Kaksi robottihitsauksessa yleisesti seurattua mittaria ovat kaariaikasuhde eli paloaikasuhde ja tuotteen läpimenoaika tuotannossa. Läpimenoajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu työn aloittamisesta työn saattamiseksi päätökseen. Näiden tunnuslukujen parantamiseksi on olemassa suuri joukko erinäisiä keinoja, jotka liittyvät robotin tai sen ympäristön toimintojen optimointiin. (Piironen, 2013, s.16; Salmela, 2007, s. 42.)

Robottihitsauksen tehostamiseen sopivat toimenpiteet voidaan yleensä liittää joko kaariajan tai sivuaikojen lyhentämiseen. Osaa seuraavassa listauksessa esitetyistä keinoista on käsitelty tarkemmin työn muissa osioissa. Hitsausrobotin toiminnan tehostamiskeinoja ovat esimerkiksi: (Meuronen, 2011, s. 11; Lukkari, 2011 s. 5–6)

- Etäohjelmoinnin käyttöönotto
- Poistetaan robottiohjelmista turhat liikkeet ja nopeutetaan niitä
- Käsittelylaitteiden hyödyntäminen
- Railonseuranta ja -haku
- Odotusaikojen lyhentäminen kappaleen vaihdossa
- Ennakoiva huolto
- Lisäainelangan suurpakkausten käyttö robotilla

- Robottioperaattoreiden koulutus
- Tehokkaammat lisäainelangan sulatusmenetelmät
- Hyvin suunniteltu työympäristö
- Tunkeuman hyväksikäyttö mitoituksessa
- Hitsauskiinnittimien ja hitsattavien osien valmistustarkkuus
- Kätevät pikakiinnittimet robottihitsattavien osien kiinnittämiseen

Hitsausrobotin etäohjelmointi

Etäohjelmoinnin avulla voidaan lyhentää tuotantokatkoksia, kun robotin ei tarvitse olla poissa tuotantokäytöstä ohjelmoinnin aikana. Varsinaisella robottiasemalla tarvitsee hoitaa vain pisteiden hienosäätö, mikäli offline-ohjelmiston kalibrointi on riittävällä tasolla. Simuloinnin avulla voidaan myös saada hitsauspoltin joka pisteessä oikeaan asentoon hitsausta varten ja varmistaa, ettei robotti tee ylimääräisiä liikkeitä tai robotti ei liikuta akseleitaan turhaan liian kauaksi kohteesta. (Aalto, 2010, s. 32.)

Ennakoiva huolto

Ennakoivan huollon avulla voidaan vähentää suunnittelemattomien tuotantokatkojen määrää ja parantaa tuotteiden laatua ja välttää kalliita korjauksia. Robottiasemaan liitetyn hitsauspolttimen puhdistuslaitteen avulla voidaan lisätä kaasuholkin elinikää ja, jos asemassa on myös langankatkaisulaite, helpottuu hitsauksen aloitus. Robottien säännöllisellä huollolla voidaan parantaa myös kulutusosien kestävyyttä. Huoltotoimenpiteissä tulisi ainakin varmistaa että lisäaineet kulkevat sujuvasti, tarkastaa robotin kaapeleiden kunto, poistaa roiskeet robotista ja kappaleenkäsittelylaiteista sekä kalibroida robotin työkalu. (Whitter, 2014, s. 4–5.)

Käsittelylaitteet

Robotin apulaitteiden kuten pyörityspöytien avulla saadaan parannettua robotin ulottuvuuksia hitsattavan kappaleen suhteen ja käännettyä kappaleita parempiin hitsausasentoihin. Jos käytetään kaksipuolisia kääntöpöytiä, voidaan toisella puolella panostaa uutta tuotetta samaan aikaan, kun robotti on hitsaamassa edellistä kappaletta. Näin saadaan varmistettua, että robotti pääsee aloittamaan mahdollisimman nopeasti seuraavan tuotteen hitsauksen. (Lincoln Electric, 2008.)

Robottioperaattorien koulutus

Kaksi tärkeää tekijää, jotka vaikuttavat robottijärjestelmän tuotantokykyyn, ovat robotti laitteistoineen ja robotin käyttäjät. Operaattorien rooli korostuu kappaleen vaihtojen, robotin häiriöiden ja muiden vastaavien tilanteiden yhteydessä. (Kuivanen, 1999, s. 105.)

Robottiaseman toiminnan kannalta robottioperaattorit ovat välttämättömiä, joten on tärkeää, että operaattoreilla on riittävä koulutus tehtäviinsä. Yleensä uuden tai olemassa olevan robotin käyttö- ja ohjelmointikoulutuksessa keskitytään järjestelmän ohjelmointiosaamisen opetukseen. Robottioperaattoreita on hyvä kouluttaa tarpeen mukaan ja eritasoisiin tehtäviin. Lisäksi operaattorien olisi hyvä olla päteviä käsinhitsaajia esimerkiksi robottihitsattavien kappaleiden silloitusta tai korjaushitsausta ajatellen. (Hiltunen & Naams, 2000, s. 22; Kuivanen, 1999, s. 105–107.)

Alimmalla tasolla robotin käyttäjä osaa käynnistää robottiohjelmat, vaihtaa kappaleita hitsausohjelman välillä, poistaa yksinkertaisen häiriön sekä palauttaa robotin tuotantotilaan. Seuraavalla tasolla käyttäjä osaa korjata robottiohjelmia ja muuttaa hitsausparametrien arvoja esimerkiksi tilanteessa, jossa hitsattavien kappaleisiin on tullut pieniä muutoksia. Ylimmällä tasolla ovat ns. pääkäyttäjät, jotka laativat uusia robottiohjelmia ja osallistuvat hitsauskiinnittimien suunnitteluun, jotta uusien robottihitsattavien tuotteiden hitsaus saadaan mahdollisimman tehokkaaksi. Säännöllisesti toteutettavalla koulutuksella saadaan parannettua operaattorien tietotaitoja ja motivaatiota tehtäviensä suorittamiseen. (Hiltunen & Naams, 2000, s. 22.)

Sulatustehon kasvattaminen

Sulatustehon nostamisella saadaan nostettua hitsiaineentuottoa, mikä lyhentää hitsaukseen kuluvaa kaariaikaa. Sulatustehoa voidaan kasvattaa käyttämällä suurempia langansyöttönopeuksia ja tehokkaampia hitsausvirtalähteitä sekä paksumpaa lisäainelankaa. Sulatustehoa voidaan kasvattaa myös tehokkaampien hitsausprosessien avulla. Esimerkiksi tandem-MIG/MAG-hitsauksessa voidaan kahden lisäainelangan ansiosta hitsata ja muotoilla juuri- ja täyttöpalkoja, jolloin hitsiaineentuotto kasvaa huomattavasti. (Meuronen, 2011, s. 12.)

Pulssihitsauksen hyödyntäminen robottihitsauksessa

Uusien lujempien rakenneterästen kehityksen myötä vaatimukset alhaiselle ja tasaiselle lämmöntuonnille ovat kasvaneet. Yksi menetelmä, jolla voidaan hallita ja pienentää lämmöntuontia robottihitsauksessa, on pulssihitsaus. Menetelmällä saadaan myös vähennettyä syntyvien hitsaushuurujen ja roiskeiden määrää, jolloin jälkityön määrä vähenee. Eri laitevalmistajat ovat kehittäneet myös erilaisia modifioituja tekniikoita pulssihitsaukseen, joilla myös raollisten liitosten hitsaaminen mahdollistuu. Tällä voi olla robottihitsauksessa merkittävä vaikutus, jos tuotteita ei tarvitse pohjata käsinhitsausvaiheessa robottihitsausta varten. (Meuronen, 2011, s. 12–13.)

Hitsirailon kaventaminen

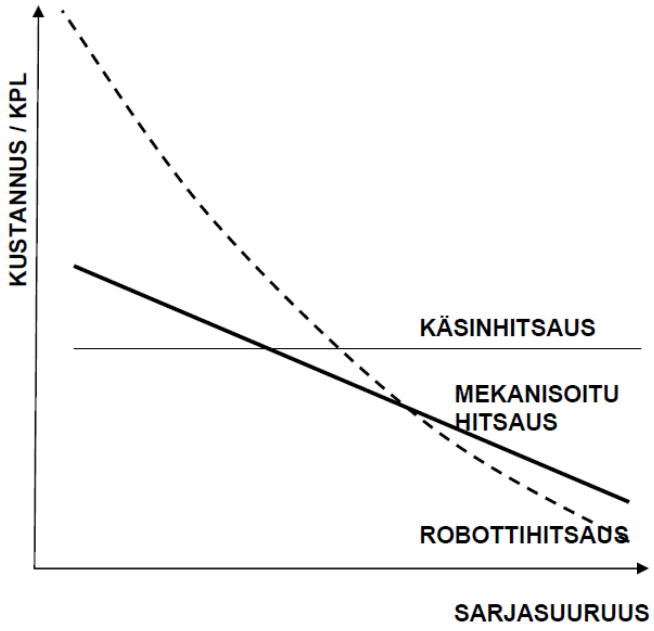
Hitsirailon tilavuutta pienentämällä saadaan pienennettyä railoon tarvittavan lisäaineen määrää ja lyhennettyä hitsauksen kaariaikaa. Samalla saadaan vähennettyä hitsauksesta aiheutuvia muodonmuutoksia ja kasvatettua robotisoidun hitsauksen hitsiaineentuottoa. (Meuronen, 2011, s. 13.)

4.3 Robotisointiprojektissa huomioitavia seikkoja

Yrityksen tuotannon kasvaessa tai uusien tuotteiden myötä voi hitsauksen automatisointi tulla ajankohtaiseksi, jolloin tulee selvittää erilaisten järjestelmien soveltuvuutta hitsaustuotannon tarpeisiin. Tämä vaatii analyysin suorittamista nykyisestä ja tulevasta tuotannosta. Analyysissä selvitettäviä seikkoja ovat esimerkiksi: (Hiltunen, 2005, s. 4–10)

- Vuotuiset tuotantomäärät
- Hitsien monimutkaisuus
- Hitsien määrä
- Tuotteen tahtiaika
- Tuotteiden lataus
- Tuotteiden modulaarisuus
- Tuotteen elinkaari
- Joustavuus
- Robottien ulottuvuuden ja aseman kapasiteetti
- Osavalmistuksen tarkkuus

Robottihitsaukseen tuottavuus on parhaimmillaan, kun hitsataan keskisuuria tai suuria sarjoja (kuva 15). Konepajatuotannossa on siirrytty kuitenkin aiempaa enemmän kohti pienempiä sarjakokoja, minkä seurauksena myös robottituotannolta vaaditaan aiempaa enemmän joustavuutta tuotannossa. Robottihitsauksen kannattavuutta pienien sarjojen kohdalla ovat lisänneet etäohjelmoinnin ja makrojen käytön tarjoamat mahdollisuudet sekä mahdollinen sarjan säännöllinen toistuvuus tuotannossa. (Aaltonen & Torvinen, 1997, s. 150; Hiltunen, 2005, s. 9; Martikainen, 2012b, s. 66.)



Kuva 15. Periaatteellinen kuva sarjakoon vaikutuksista kustannuksiin eri mekanisointitasoilla (Hiltunen, 2005, s. 3).

Tuotteiden robotisointia suunniteltaessa tulee myös huomioida tuotteiden erilaisuuteen liittyvä joustavuus ja valmistusmääriin liittyvä joustavuus. Joustavuudella tarkoitetaan tuotannon yhteydessä tuotannon kykyä sopeutua tuotantoon kohdistuviin muutoksiin ja vaatimuksiin. Joustavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa ohjelmointi, tuotannonohjaus, valmistuksen toiminta sekä suunnittelu. (Jääskeläinen et al., 2010, s. 15.)

Hitsausrobotin avulla on tarkoitus hitsata kokonaisia tuotteita ja mieluiten niin, että tuotteen hitseistä vähintään 80–90 % olisi robotilla hitsattavia. Robotisointia ajatellen sopivia ovat erityisesti tuotteet, joissa hitsataan kaarevia muotoja, lyhyitä pätkiä tai hitsejä

moniin suuntiin. Ulkopinnoilla olevat hitsit sopivat erityisen hyvin, sillä tällöin robotin luoksepäästävyys on parempi. (Hiltunen, 2005, s. 8; Martikainen, 2012b, s. 66.)

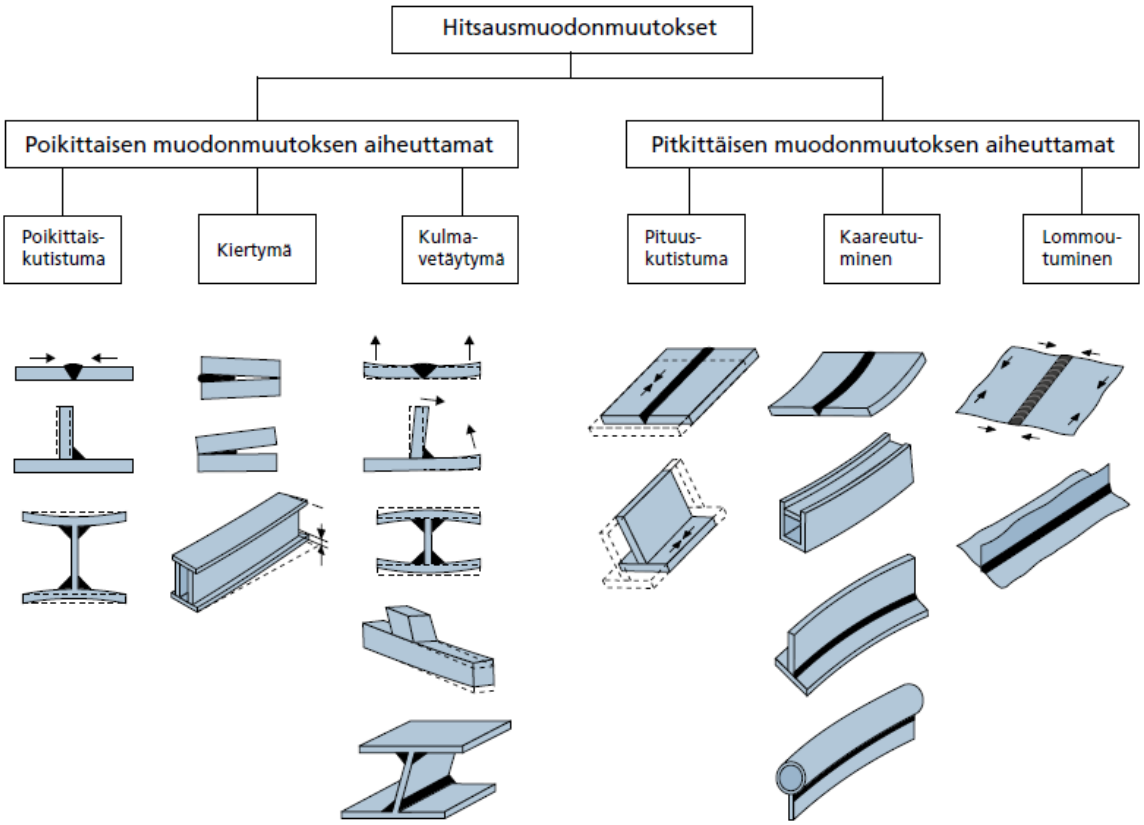
Tuotteen robotisoinnissa on huomioitava, että tuotteen valmistus sopii muun tuotannon tahtiaikaan. Suurista panostuksista tai investoinneista ei ole hyötyä, jos muu tuotanto ympärillä muodostaa pullonkaulan. Tärkeää olisi siis kiinnittää huomiota hitsauksessa osaoptimoinnin ohella kokonaisoptimointiin. (Lahti, 2011, s. 3; Martikainen, 2012a, s. 10.)

4.3.1 Muodonmuutosten huomioonottaminen robottihitsauksessa

Robottisovelluksissa hitsauspään rata ohjelmoidaan ns. kylmänä eli sytyttämättä valokaarta. Kylmänä ohjelmoitu rata ei kuitenkaan ota huomioon lämmöntuonnin aiheuttamia muodonmuutoksia ja mikäli käytössä ei ole railonseurantaa, hitsaa robotti hitsin väärään kohtaan. Muodonmuutokset tuleekin ottaa huomioon jo ennakkoon. Keinoja hitsausmuodonmuutosten pienentämiseksi: (Ahola, 1988, s. 11)

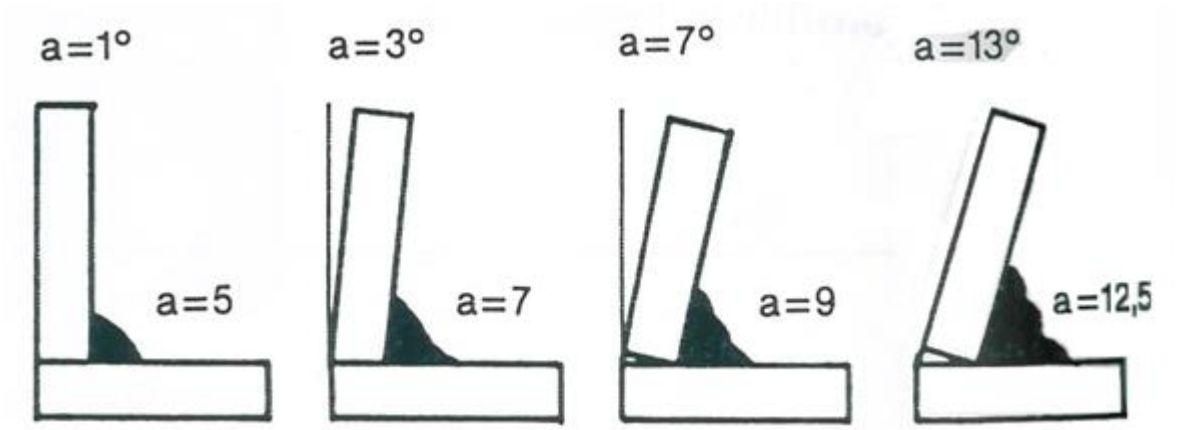
- Hitsin sijoittaminen neutraaliakselille tai symmetrisesti siihen nähden
- Ilmarakojen välttäminen
- Monipalkohitsauksen käyttö
- Pienen hitsausenergian menetelmä
- Kappaleen esitaivutus ja hitsausjännitys
- Hitsausjärjestys
- Katko- ja pistehitsien käyttö

Hitsauksen seurauksena rakenteisiin syntyy jännityksiä, jotka ilmenevät kutistumisina, taipumisina tai lommoutumisina (kuva 16). Hitsauksen kannalta parasta olisi suunnitteluvaiheessa sijoittaa hitsit kappaleen neutraaliakselille tai symmetrisesti siihen nähden. Näin saadaan pienennettyä hitsauksen aiheuttamaa taipumia kappaleeseen. Jos tuotteen suunnittelua ei voida muuttaa, voidaan robotisoidussa hitsauksessa muodonmuutoksia ottaa huomioon muilla keinoin. Muodonmuutoksia voidaan kompensoida esimerkiksi hitsauskiinnittimien ja hitsausjärjestyksen avulla. (Ahola, 1988, s. 8–9.)



Kuva 16. Hitsausmuodonmuutokset (Ovako Oy, 2012, s. 17).

Robottihitsauksessa parametreja säädettäessä tulisi varmistaa, etteivät pienahitsien a-mitat ole ylisuuria, sillä suuret a-mitat aiheuttavat kulmamuodonmuutosta (kuva 17). Muodonmuutokset johtuvat hitsausenergiasta ja tämän aiheuttamasta lämpötilamuutoksesta hitsattavassa kappaleessa. Hitsausenergian aiheuttamia muodonmuutoksia voidaan pienentää käyttämällä esimerkiksi monipalkohitsausta, jolloin hitsausenergia saadaan jakaantumaan useammalle hitsipalolle. Kulmataipumaa voidaan vähentää myös hitsaamalla kohde katkohitsauksella, mikä on suositeltavaa hitsattaessa pieniä a-mittoja. (Ahola, 1988, s. 9; Hiltunen, 2005, s. 29.)



Kuva 17. A-mitan suuruuden vaikutus kulmamuodonmuutokseen. (Ahola, 1988, s. 9).

Osa muodonmuutoksista voidaan huomioida jo ennakkoon käyttämällä esitaivutusta ja asettamalla kappaleita hitsauskiinnittimeen jännitykseen hitsauksen ajaksi. Jäykät hitsauskiinnittimet tosin lisäävät käytettäessä kappaleeseen syntyviä jännityksiä, jolloin joudutaan miettimään sallintaanko näitä jännityksiä kyseisessä tapauksessa. (Ahola, 1988, s. 10.)

Muodonmuutoksia voidaan hallita myös oikean hitsausjärjestyksen käytöllä. Tästä on hyötyä etenkin robotisoidussa hitsauksessa, jossa työkierto suoritetaan samassa järjestyksessä ja ennalta määrätyillä parametreilla jokaisen kappaleen kohdalla. Robotille määritetään kokeellisesti tai aiemman kokemuksen perusteella sopivat hitsausparametrit ja hitsausjärjestys. Näin saadaan hitsattavista tuotteista tasalaatuisia ja riittävän mittatarkkoja. (Ahola, 1988, s. 10.)

4.3.2 Kappaleen muotoilu

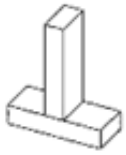
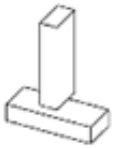
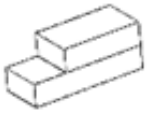
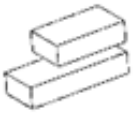
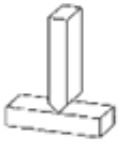
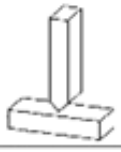
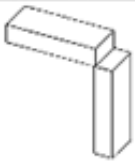
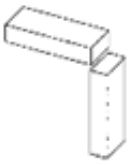
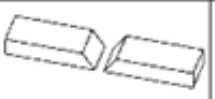
Rakenteen muotoilu ratkaisee pitkälti sen soveltuuko tuote robotilla hitsattavaksi. Tärkeitä seikkoja robotisoidun hitsauksen kannalta ovat tuotteen rakenteessa ainakin seuraavat asiat: (Ahola, 1988, s. 13)

- Osien riittävä mittatarkkuus
- Liitosten luoksepäästävyys ja sopivat liitosmuodot
- Pidetään hitsien määrä pienenä
- Standardirakenteet
- Osien paikoittaminen (paikoituspinnat, itsekiinnittyvyys)
- Kappaleen käsittelymahdollisuuksien huomioon ottaminen rakenteessa

- Tehokkaan hitsausasennon mahdollistaminen rakenteellisesti

Robotisoitu hitsaus ei aseta erityisvaatimuksia hitsattavalta materiaalilta. Hitsattava materiaali ei aiheuta robottihitsauksessa sen suurempia ongelmia kuin tavallisessa käsinhitsauksessakaan. Sen sijaan, koska robottihitsauksen onnistumiseksi valokaari on saatava suunnattua ja paikoitettua oikein hitsausrailoon nähden, vaaditaan hitsattavalta materiaalilta tarkemmat valmistustoleranssit kuin käsinhitsauksessa. Valmistustarkkuus, mikä on aiemmin riittänyt käsinhitsauksessa, ei välttämättä riitäkään siirryttäessä robottihitsaukseen. Osaa valmistusepätarkkuuksista voidaan kompensoida railonseurantajärjestelmien avulla. (Ahola, 1988, s. 5, 26; Hiltunen, 2005, s. 10.)

Nurkkaliitosten ja päittäisliitosten robotisoitu hitsaus on usein hankala toteuttaa. Läpipalamisvaara on merkittävä ja liitokselta vaaditaan tarkka paikoitus. Robottihitsauksen kannalta pienaliitosten käyttäminen on parempi vaihtoehto. Pienahitsi onkin kaikkein sopivin liitosmuoto ajatellen automatisoitua hitsausta. Pienahitsin tapauksessa lisäainelangan kohdistumisvaatimus on noin viidesosa verrattuna päittäisliitokseen. Kuvassa 18 on arvioitu erilaisten liitostyyppien sopivuutta robotisoituun MIG/MAG-hitsaukseen. (Ahola, 1988, s. 13; Hiltunen, 2005, s. 18.)

Liitosmuoto	Periaatekuva	Soveltuvuus robotisoituun MIG/MAG-hitsaukseen	Virheellinen sovitus ja sen vaikutus robottihitsattavuuteen	
Pienaliitos		5		Vähäinen
Päällekkäis-liitos		4		Vähäinen
T-liitos		3		Merkittävä
Nurkkaliitos		2 - 3		Merkittävä
Päittäisliitos		1		Erittäin merkittävä

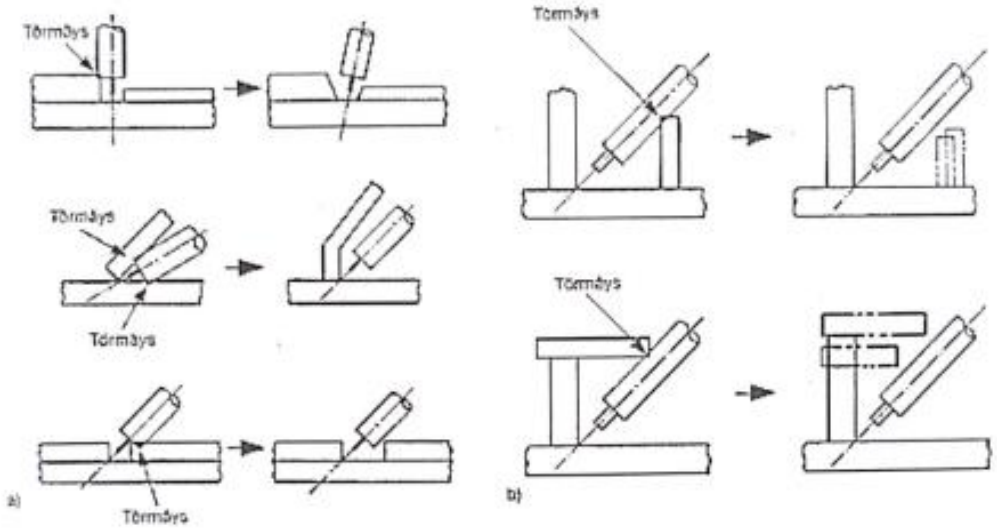
Kuva 18. Eri liitostyyppien sopivuus robotisoituun hitsaukseen (Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 33).

Pienahitsi helpottaa osien sovitusta ja railolta ei vaadita suurta tarkkuutta. Mikäli mahdollista, ajatellen robotisointia, päittäishitsien muuttaminen pienahitseiksi voi olla monissa tapauksissa järkevää. Pienahitsiksi muuttamisessa on kuitenkin huomioitava, että väsyttävässä kuormitustapauksessa ja korroosioalttiissa ympäristössä pienahitsien käyttöedellytykset on arvioitava tapauskohtaisesti. (Ahola, 1988, s. 13.)

Päällekkäisliitos on toinen automatisoidussa hitsauksessa suositeltava liitosmuoto. Edut ovat samoja kuin pienaliitoksessakin eli läpipalamisvaara on pieni ja hitsaukselta ei vaadita yhtä suurta tarkkuutta kuin päittäisliitokselta. (Hiltunen, 2005, s. 26.)

Robotin radan ohjelmointia silmällä pitäen tulisivat kappaleet muotoilla siten, että hitsattavista muodoista tulee mahdollisimman yksinkertaisia. Suorien muotojen ja ympyräkaarien käyttö monimutkaisten avaruuskäyrien sijasta lyhentää ohjelmointiin kuluvaa aikaa huomattavasti. (Ahola, 1988, s. 15.)

Robottihitsauksessa hitsauspään kuljetus tapahtuu ennalta ohjelmoitua rataa seuraten, mikä vaatii onnistuakseen, että hitsauspäällä on esteetön pääsy hitsattavaan railoon. Avoin rakenne ja soveltuvien liitosmuotojen käyttö helpottaa hitsausrailoon pääsyä. Luoksepäästävyydessä tulee huomioida myös hitsauspään saaminen riittävään kulmaan hitsausta varten (kuva 19). Monimutkaisissa kappaleissa robotin nivelten rajat tulevat nopeasti vastaan, jolloin käsinhitsaus muuttuu helpoksi ainoaksi järkeväksi ratkaisuksi. (Ahola, 1988, s 19–20; Hiltunen 2005, s. 30.)



Kuva 19. Luoksepäästävyyden huomioiminen hitsauksessa (Ahola, 1988, s. 22).

4.3.4 Hitsauskiinnittimet

Robotilla hitsattavat tuotteet vaativat yleensä jonkinlaisen hitsauskiinnittimen, johon hitsattavat kappaleet paikoitetaan. Kiinnittimien tulee paikoittaa hitsattavat kappaleet riittävän tarkasti, jotta osien keskinäinen paikoitus on riittävän tarkka robottiohjelman suoritusta varten. (Ahola, 1988, s. 31.)

Robottihitsattavat kappaleet voidaan hitsata kiinnittimien avulla usealla eri tavalla, joista seuraavassa esitettynä tavallisimmat: (Ahola, 1988, s. 31; Martikainen, 2012a, s. 64)

- Hitsattavat kappaleet voidaan silloittaa erillisessä silloituskiinnittimessä, jolloin silloituksen suorittaa käsinhitsaaja. Manuaalisen silloituksen jälkeen kappale asetetaan toiseen kiinnittimeen varsinaista robottihitsausta varten.
- Kaksivaiheista kiinnitystä käytettäessä hitsattava tuote silloitetaan robotin kiinnittimessä, minkä jälkeen ylimääräiset kiinnittimet poistetaan ja tuote hitsataan

robotilla valmiiksi. Kiinnittimen osat voidaan irrottaa joko manuaalisesti tai esimerkiksi pneumatiikkaa hyväksi käyttäen.

- Pienien kappaleiden hitsauksessa osat voidaan kiinnittää niin, että kappale voidaan hitsata ilman erillistä silloitusvaihetta. Tämän tyyppisessä tilanteessa muodonmuutosten ja hitsausjärjestyksen huomioon ottaminen korostuu. Silloitushitsauksen tarvetta voidaan myös vähentää, jos tuote on suunniteltu niin, että osat lukitsevat toisensa paikalleen, esimerkiksi paikoituslovien avulla.
- Kiinnittimenä voi toimia myös toinen robotti ns. monirobottihitsauksessa, jossa yksi tai useampi robotti käsittelee kappaletta ja hitsausrobotti suorittaa hitsauksen.

Hitsauskiinnittimien kohdalla on huomioitava hitsausmuodonmuutokset, jotta kiinnitin ei lukitse kappaletta paikoilleen. Muodonmuutosten kohdalla on huomioitava myös, että hitsausrata ajetaan kylmänä, jolloin kappaleen todellinen sijainti saattaa muuttua lämmöntuonnin seurauksena. Kiinnittimien rakenteita mietittäessä tulee varmistaa, etteivät kiinnittimen osat tule hitsauksessa robotin hitsauspään tielle. (Ahola, 1988, s. 11, 32.)

Kiinnittimien suunnitellessa tulee miettiä kiinnittimien modulointimahdollisuuksia, jotta kiinnittimiä voidaan käyttää useamman kuin yhden tuotteen hitsaukseen. VTT:n tutkimusraportin mukaan suomalaisessa (kuva 20) hitsaustuotannossa kiinnittimet ovat pääasiassa perinteisiä kiinnittimiä, joilla voidaan hitsata vain yhtä tuotetta. Joustavien kiinnittimien käyttö on hyvin vähäistä suurimmassa osassa yrityksiä, mikä johtuu osittain hitsattavien tuotteiden alhaisesta modulointiasteesta. (Ahola, 1988, s. 32; VTT, 2008, s. 24.)

	Vastaus	Lukumäärä	Prosentti	20%	40%	60%	80%	100%
1.	Ei ollenkaan	26	35,14%					
2.	Vähän	37	50,00%					
3.	Kohtalaisen paljon	8	10,81%					
4.	Paljon	4	5,41%					

Kuva 20. Modulaaristen ja joustavien kiinnittimien käyttö yrityksissä (VTT, 2008, s. 24).

Lisäksi kiinnittimien suunnittelussa tulee varmistaa, että hitsattavien kappaleiden paikoitus on mahdollisimman helppo ja nopea. Kappaleiden lukitsemisessa kiinnittimeen apuna voidaan käyttää erilaisia pikakiinnittimiä, kuten pystysuorakiinnittimiä ja työntötankokiinnittimiä. Monimutkaisempia rakenteita hitsatessa tarpeeseen voivat tulla hydraulisesti tai pneumaattiset toimivat kiinnittimet. Myös itse kiinnittimien vaihto kappaleenkäsittelylaitteeseen tulee olla tarkasti ja nopeasti tehtävissä. (Ahola, 1988, s. 32; Lincoln Electric, 2008.)

5 HITSAUKSEN TUOTTAVUUS JA TUOTTAVUUDEN TUNNUSLUKUJA

Tuottavuudella tarkoitetaan tuotosten määrän muutosta suhteessa panosten määrän muutokseen. Yksinkertaisesti ilmaistuna tuottavuus on tuotosten määrä jaettuna panosten määrällä. Panoksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä tuotantoresursseja, jotka muuttuvat valmistavassa yrityksessä tuotteiksi, joita nimitetään tuotoksiksi. Robottihitsauksen kohdalla tuottavuudella voidaan tarkoittaa muun muassa valmistuneiden kappaleiden tai hitsimetrien määrää vuorokaudessa. (Martikainen, 2012a, s. 17; Stenbacka, 2011, s. 21.)

Tuottavuutta ja kannattavuutta voidaan yrityksessä mitata erilaisien tunnuslukujen avulla. Yrityksen tulee valita omaan käyttöönsä sellaiset mittarit, jotka kuvaavat parhaiten yrityksen toimintaan ja joihin yrityksellä itsellään on mahdollista vaikuttaa. Keskeisin tieto, mikä jatkuvalla tunnuslukujen seurannalla saadaan, on tieto muutoksen suunnasta. Yleensä riittää, että yrityksellä on käytössään 3–5 mittaria, joilla tuotantoa seurataan. Käytössä olevia tunnuslukuja voivat olla esimerkiksi: (Martikainen, 2012a, s. 19–20)

- Läpimenoaika
- Toimitusvarmuus
- Tuotantokatkoksien pituus ja määrä
- Laatupoikkeamat ja reklamaatiot
- Asiakastyytyväisyys
- Varastoarvo

5.1 Kustannuslaskelmat ja hitsauslaskelmat

Kustannuslaskelmien tekemiseen hitsaustuotannossa on joukko erilaisia syitä ja ne vaihtelevat yrityksen tarpeiden mukaan. Hitsauskustannusten laskennalla voidaan arvioida eri tekijöiden vaikutusta kustannuksiin tuotannossa. Yleisiä syitä, joiden vuoksi hitsaustaloudellisia laskelmia tehdään ovat muun muassa: (Stenbacka, 2011, s. 49–50)

- Palkkakustannusten pienentäminen
- Lataus- ja irrotusaikojen lyhentäminen robottihitsauksessa
- Välivarastojen pienentäminen
- Valmistuskustannusten alentaminen hitsattavalle tuotteelle

- Suunnitelmat käsinhitsattavan tuotteen siirtämisestä robottihitsattavaksi tuotteeksi
- Halutaan antaa tarjous tuotteen valmistuksesta

Kustannuslaskelmien tarkkuus riippuu käytössä olevan tiedon tarkkuudesta. Sulahitsauksessa kokonaishitsauskustannukset voidaan laskea seuraavalla kaavalla: (Stenbacka, 2011, s. 83–84)

$$K_h = K_{Ty} + K_{Hi} + K_{Ko} + K_{En} + K_{Ku} \ , \qquad (1)$$

jossa

K_h on hitsauksen kokonaiskustannukset,

K_{Ty} on työkustannukset,

K_{Hi} on hitsausainekustannukset,

K_{Ko} on konekustannukset,

K_{En} on energiakustannukset ja

K_{Ku} on kunnossapitokustannukset.

Hitsauskustannuksiin ei yleensä lasketa hitsaustyön valmisteluun ja jälkityöhön liittyviä muita vaiheita, kuten raaka-aineita, aihioiden leikkausta ja jälkilämpökäsittelyjä. Selkeästi suurimman osan kokonaishitsauskustannuksista muodostavat työkustannukset, joiden osuus seostamattoman teräksen hitsauksessa on 75–90 % kokonaiskustannuksista. Robotisoidussa ja mekanisoidussa hitsauksessa konekustannusten osuus on korkeampi kuin käsinhitsauksessa, mutta työkustannusten osuus on silti hallitseva etenkin koneiden pitkillä takaisinmaksuajoilla. Työkustannukset (K_{Ty}) lasketaan seuraavan kaavan avulla: (Lukkari, 2005, s. 8–9; Stenbacka, 2011, s. 93)

$$K_{Ty}(\frac{€}{m}) = \frac{M(\frac{kg}{m})}{T(\frac{kg}{h})} \times \frac{1}{e} \times H_T(\frac{€}{h}) \ , \qquad (2)$$

jossa

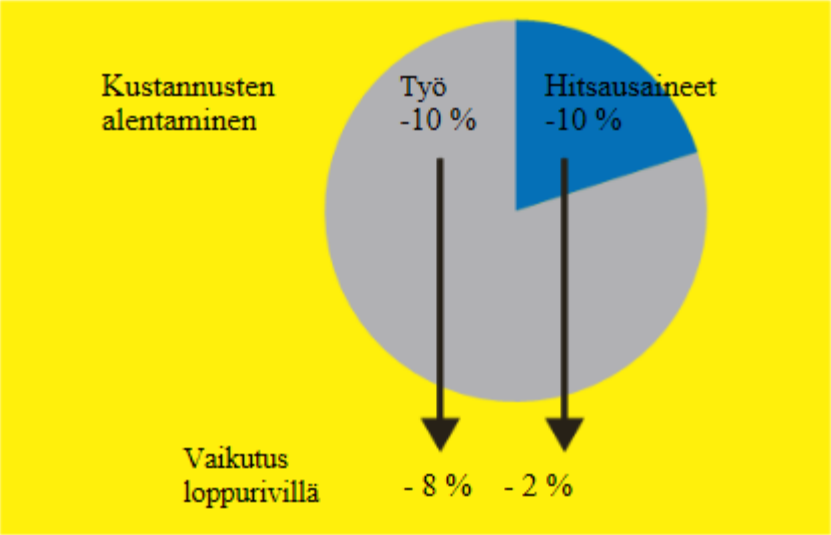
M on hitsiainemäärä,

T on hitsiaineentuotto,

e on kaariaikasuhde ja

H_t on hitsaajan/operaattorin työtunnin hinta.

Koska työkustannusten osuus on suuri kokonaiskustannuksista, onkin kannattavaa pyrkiä lyhentämään hitsauksen eri vaiheisiin kuluvaa aikaa. Kuvassa 21 näkyy kuinka tilanteessa, jossa työkustannukset ja hitsausaineet alenevat prosentuaalisesti yhtä paljon, työkustannusten aleneminen vaikuttaa loppurivillä kokonaiskustannuksiin enemmän. (Lukkari, 2011, s. 4.)



Kuva 21. Työ- ja hitsausainekustannusten alenemisen vaikutus kokonaiskustannuksiin (Lukkari, 2011, s. 4).

5.2 Tuotantoajat

Robottihitsauksen työkierto koostuu eri osa-ajoista hitsaustuotannossa. Osa-ajat voidaan jakaa asetusaikaan eli aikaan mikä kuluu uuden työn kuntoon laittoon ja vaiheaikaan, joka sisältää tuotantoon kuluvan ajan. Vaiheaika (t_{va}) lasketaan kaavan (3) mukaisesti: (Stenbacka, 2011, s. 65–67)

$$t_{va} = t_{ka} + t_{si} + t_{kä} + t_{ap} \ , \qquad (3)$$

jossa

t_{ka} on kaariaika,

t_{si} on sivuaika,

$t_{kä}$ on käsittelyaika ja

t_{ap} on apuaika.

Asetusaika on aika, joka tarvitaan ennen hitsausta ja joka sisältää hitsausvaihetta edeltäviä aikoja. Näihin laskuihin lasketaan usein kappaleenkäsittelylaitteen asettaminen paikoilleen, robotin ohjelmointi ja hitsauskiinnittimien valmistaminen. Tämä vaihe tehdään tavallisesti sarjatuotannossa vain, kun tuote tuodaan ensimmäistä kertaa robotille hitsattavaksi. (Stenbacka, 2011, s. 65.)

Vaiheajan ja asetusajan summa on tehtäväaika. Asetusaika pitää jakaa valmistettavien kappaleiden määrällä, jos halutaan selvittää yhden kappaleen tehtäväaika. Tehtäväaika yhdelle kappaleelle lasketaan seuraavalla tavalla: (Stenbacka, 2011, s. 67–68)

$$t_{te} = \frac{t_{as}}{n} + t_{va} \ , \qquad (4)$$

jossa

t_{te} on tehtäväaika

t_{as} on asetusaika,

n on kappalemäärä.

Kaariaika (t_{ka}) on aika, jolloin valokaari palaa, ja se vaihtelee paljon eri hitsausprossien kesken. Muita kaariaikaan vaikuttavia tekijöitä ovat hitsauskohde, käytetyt parametrit, railomuoto ja hitsausasento. Kaariaika (t_{ka}) lasketaan puikko-, MIG/MAG- ja jauhekaarihitsauksessa seuraavalla kaavalla: (Stenbacka, 2011, s. 67)

$$t_{ka}(h) = M(kg)/T(\frac{kg}{h}) \ , \qquad (5)$$

Sivuaika (t_{si}) eli lisäaika on suoraan hitsaukseen liittyvä aika, esimerkiksi lisäaineenvaihto (hitsauspuikko tai lankakela), kosketussuuttimen ja kaasupullon vaihto, kuonanpoisto ja kaasusuuttimen puhdistus jne. Lyhyt lisäaika on hitsaustaloudellinen etu. (Stenbacka, 2011, s. 67)

Käsittelyaika ($t_{kä}$) tarkoittaa kappaleen käsittelyyn kuluvaa aikaa esimerkiksi tuotteen lataus kiinnittimeen tai käsittelylaitteeseen sekä esivalmisteluihin (silloitus, kappaleen mittaus ja jne.) kuluvaa aikaa. (Stenbacka, 2011, s. 67.)

Apuajalla (t_{ap}) tarkoitetaan aikaa, jota ei voida suoranaisesti liittää hitsaustyöhön ja se arvioidaan laskuissa yleensä prosenttilisänä. Hitsaustaloudellisesta näkökulmasta ajateltuna tämän ajan tulisi olla mahdollisimman lyhyt. (Stenbacka, 2011, s. 67.)

5.3 Kaariaikasuhde

Kaariaikasuhde (e) eli paloaikasuhde ilmoittaa kaariajan ja tekemiseen käytetyn kokonaisajan (vaiheajan) välisen suhteen %:na. Korkea kaariaikasuhde yhdistetään usein suureen tuottavuuteen, mutta asia ei kuitenkaan välttämättä aina ole näin. Tilanteessa, jossa hitsausnopeutta saadaan kasvatettua optimoimalla hitsausprosessia, kaariaika lyhenee ja jos muut ajat eivät muutu, kaariaikasuhde pienenee. Todellisuudessa tuottavuus on kasvanut ja vaiheaika lyhentynyt. Kaariaikasuhde kertoo enemmänkin mihin kaikkeen muuhun hitsausvaiheessa kuluu aikaa ja se antaa karkean kuvan tuottavuudesta. Kaariaikasuhde e lasketaan seuraavalla kaavalla: (Stenbacka, 2011, s. 71–72)

$$e = t_{ka}(s)/t_{va}(s)\ , \qquad (6)$$

5.4 Hitsiaineentuotto

Hitsiaineentuotto (T) on aikayksikössä hitsiin sulatetun hitsiaineen määrä ja se ilmoitetaan tavallisesti yksikössä kg/h. Hitsiaineentuoton suuruuteen vaikuttavat muun muassa käytetty hitsausmenetelmä, hitsausasento, lisäaine, hitsausvirta ja vapaalangan pituus. Yleensä hitsiaineentuotto ilmoitetaan 100 %:n kaariaikasuhteella, mutta haluttaessa tietää tehollinen hitsiaineentuotto, tulee kaariaikasuhde ottaa huomioon. Hitsiaineentuotto voidaan määrittää esimerkiksi seuraavan kaavan avulla, josta voidaan vaihtoehtoisesti laskea hitsausnopeus tai hitsiainemäärä: (Lukkari, 2007, s. 8; Stenbacka, 2011, s. 68)

$$v\left(\frac{cm}{min}\right) = 1{,}67 \times \frac{T(\frac{kg}{h})}{M(\frac{kg}{m})}\ , \qquad (7)$$

jossa

v on hitsausnopeus.

Hitsausnopeus (v) voidaan laskea myös seuraavalla kaavalla (Valtanen, 2008, s. 191):

$$v(\frac{mm}{s}) = \frac{s(mm)}{t(s)}\ , \qquad (8)$$

jossa
v on hitsausnopeus
s on hitsin pituus ja
t on hitsaamisen kulunut aika.

Hitsiainemäärä (M) on railoon kuluva hitsiaineen määrä ja se voidaan ilmoittaa esimerkiksi yksikössä kg/m. Teoreettinen hitsiaineen määrä voidaan laskea hitsin poikkipinta-alan ja hitsiaineen tiheyden perusteella kaavalla (9): (Lukkari, 2011, s. 7; Stenbacka, 2011, s. 73)

$$M\ (\frac{kg}{m}) = A(m^2) \times \rho(\frac{kg}{m^3})\ , \qquad (9)$$

jossa
A on hitsin poikkipinta-ala ja
ρ on hitsiaineen tiheys (teräksellä noin 7800kg/m^3).

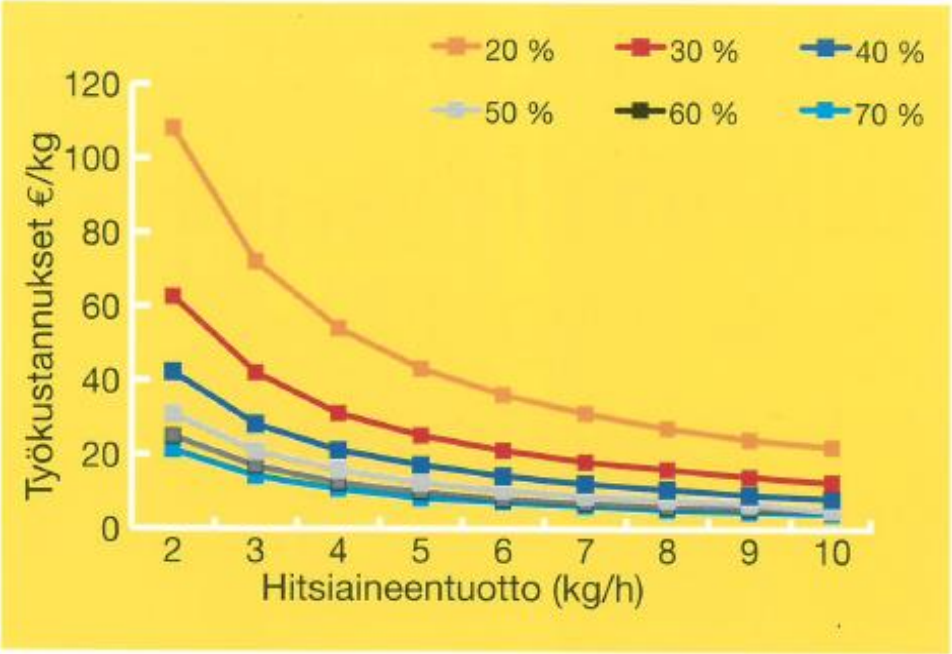
Pienahitsin kohdalla poikkipinta-ala A(mm^2) saadaan, kun hitsi on muodoltaan tasahitsi, seuraavalla kaavalla: (Stenbacka, 2011, s. 73)

$$A(mm^2) = a^2(mm)\ , \qquad (10)$$

jossa
a on pienahitsin a-mitta.

Hitsiaineentuotolla ja kaariaikasuhteella on merkittävä vaikutus hitsauksesta aiheutuviin kustannuksiin erityisesti työkustannusten osalta. Kuvassa 22 nähdään kuinka alhainen kaariaikasuhde ja pieni hitsiaineentuotto kasvattavat hitsauksen työkustannuksia. Erityisesti kaariaikasuhdetta kasvattamalla työkustannuksia saadaan alennettua huomattavasti. (Lukkari, 2006, s. 10.)

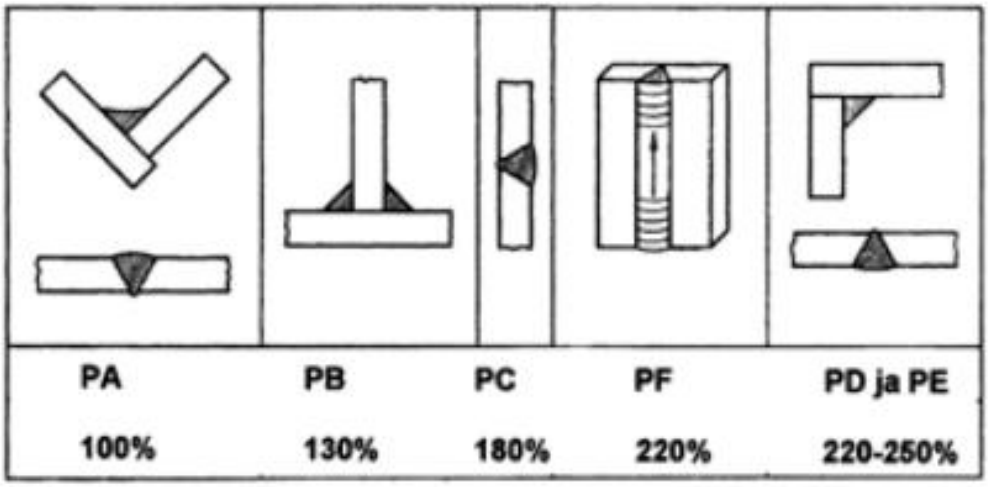
Kuva 22. Hitsiaineentuoton ja kaariaikasuhteen vaikutus työkustannuksiin (Lukkari, 2006,



s. 11).

5.5 Hitsausasennon merkitys hitsausnopeuteen

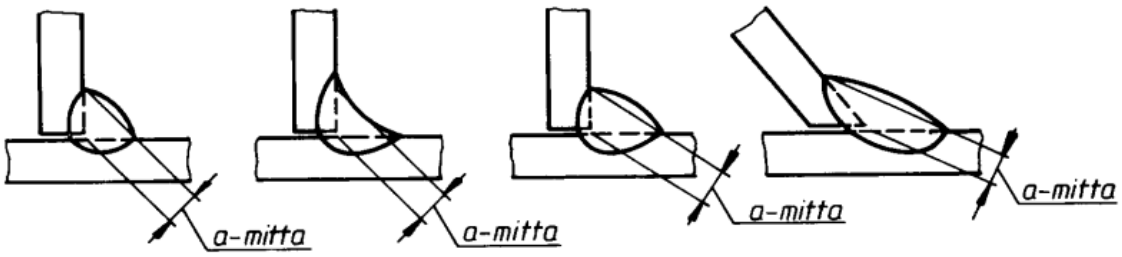
Robottihitsauksessa päästään jalkoasennossa hitsattaessa parhaimmillaan jopa kolme kertaa suurempaan hitsausnopeuteen kuin hitsattaessa pystyasennossa (kuva 23). Lyhyissä hitseissä jalko- ja pystyhitsauksen välinen ero ei ole yhtä merkittävä hitsausnopeuden suhteen, noin 10–20 % jalkoasennon eduksi. Aikasäästön lisäksi jalkoasennossa hitsattaessa saadaan myös parannettua hitsin laatua, sillä jalkoasennossa ilmaraon ja robotin ratavirheen vaikutus on pienin hitsausvirheiden esiintymiseen. (Ahola, 1988, s. 35: Leino, 1991, s. 5.)



Kuva 23. Hitsausasennon vaikutus hitsausaikaan, %= työaika (Piironen, 2013, s. 43).

5.6 A-mitta ja sen merkitys hitsauksessa

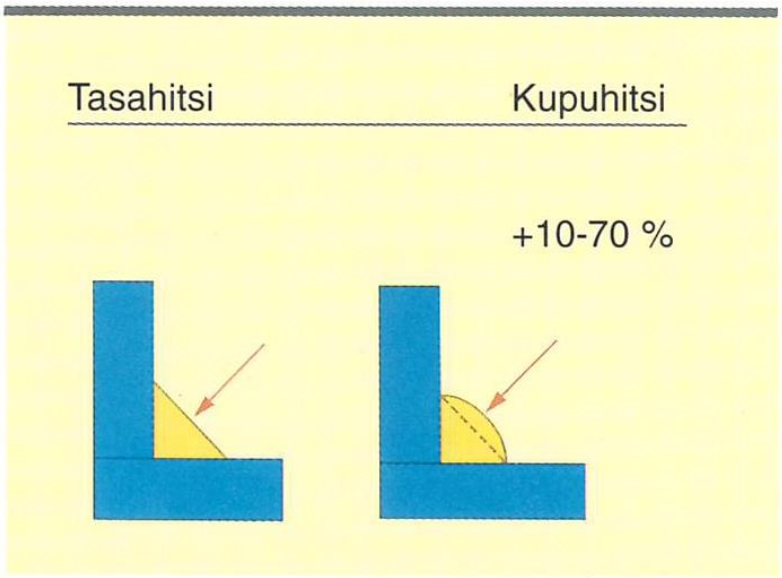
Suunnitteluvaiheessa pienahitsille määritetään a-mitta, jolla huomioidaan hitsattuun rakenteeseen kohdistuvat rasitukset ja voimat. A-mitan koko on 3–15 mm ja sen tulee täyttää käyttökohteen vaatimukset liitoksen ominaisuuksien ja kestävyyden kannalta. A-mitta on määritelty pienahitsauksessa suurimmaksi mahdolliseksi kolmion korkeudeksi (kuva 24), missä kolmion sivut koskettavat hitsirailon kylkiä. (SFS 2373, 1980, s. 7; Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys, 2004, s. 137.)



Kuva 24. A-mitan määrittäminen pienahitsauksessa (SFS 2373, 1980, s. 7).

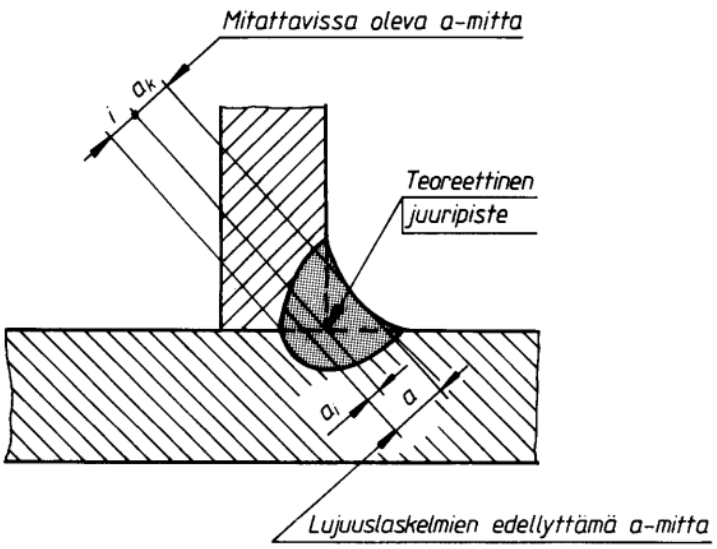
Ylisuuria a-mittoja tulee välttää hitsauksessa, sillä ne lisäävät hitsaustyön määrää ja kasvattavat tarvittavan lisäaineen määrää. Hitsiainemäärä kasvaa a-mitan toisessa potenssissa, jolloin a-mitan kasvaessa hitsausnopeus pienenee suuremman lisäaineen sulatustarpeen vuoksi. (Lukkari, 1999, s. 11.)

Hitsiainemäärä voi kasvaa pienahitsin kohdalla myös korkean kuvun johdosta. Pienan kuperuus voi johtua esimerkiksi väärästä suoritustekniikasta, liiallisesta lisäaineesta tai hitsausasennosta. Pienahitsin koko vaikuttaa selkeästi lisäainemäärään. Kuvullinen pienahitsi voi lisätä hitsaukseen kuluvan hitsiaineen määrää huomattavasti (kuva 25). (Lukkari, 1999, s. 11.)



Kuva 25. Kuvun merkitys hitsiainemäärään pienahitsissä (Lukkari, 1999, s. 11).

Pienahitsauksessa voidaan joissakin tapauksissa hyödyntää tunkeumaa a-mitan yhteydessä (kuva 26). Tällä tarkoitetaan sitä, että osa tunkeumasta voidaan hyväksyä lisänä laskennallista a-mittaa. Tunkeuman hyväksikäytöllä voidaan vähentää tarvittavan lisäaineen määrää, kasvattaa hitsausnopeutta ja pienentää hitsauksessa tapahtuvia muodonmuutoksia. (Ahola, 1988, s. 40; Lukkari, 1999, s. 11.)



Kuva 26. Tunkeuman hyväksikäyttö a-mitassa (SFS 2373, 1980, s. 8).

Tunkeuman hyväksikäyttö hitsauksessa soveltuu erityisesti automatisoiduille menetelmille, joilla saadaan varmemmin hitsattua tasaista laatua. Käsinhitsauksessa tunkeumaa ei voida käyttää hyväksi. Tunkeuman hyväksikäyttäminen hitsauksessa vaatii kuitenkin muun muassa asiakkaan hyväksynnän, menetelmäkokeen tekemistä sekä asianmukaista dokumentointia. (Ahola, 1988, s. 40; Lukkari, 1999, s. 11.)

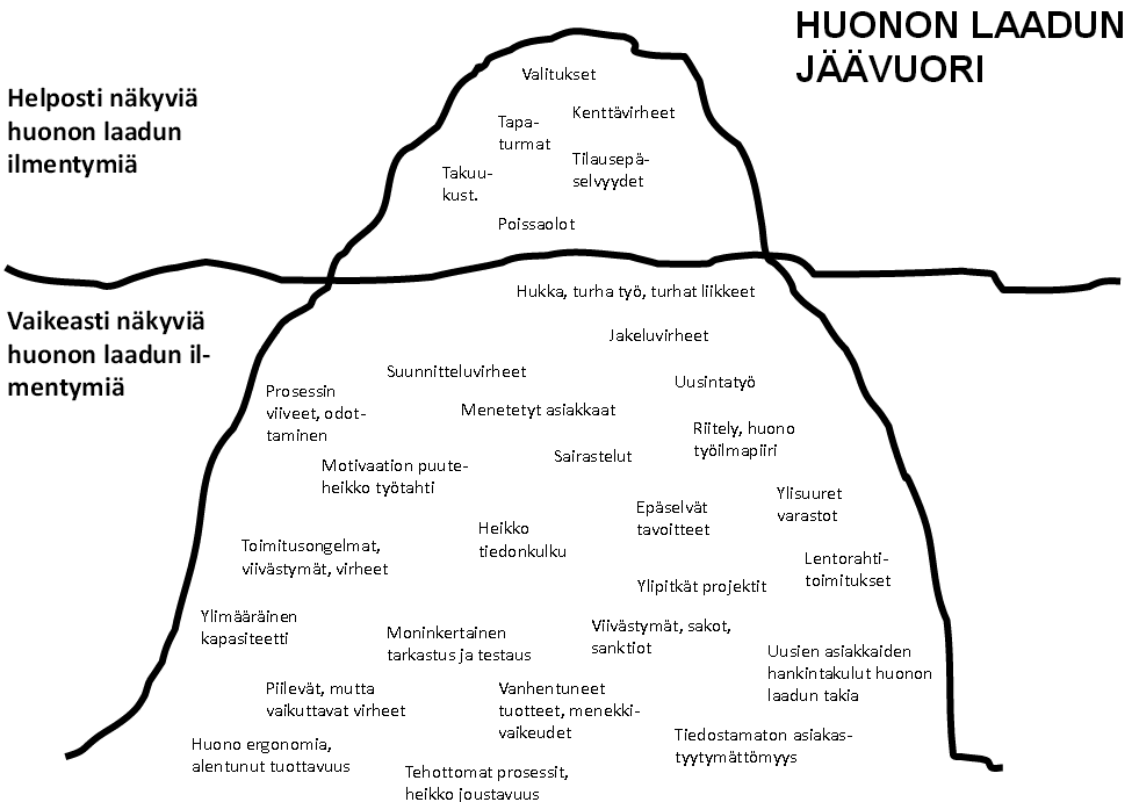
6 LAATU

Laatu on käsite, joka voidaan määritellä usealla eri tavalla. Yksi tavallisimmista määritelmistä on se, että laadulla tarkoitetaan asiakkaan tuotteelle tai palvelulle esittämää vaatimustasoa, johon tuotteen tai palvelun toimittajan tulee pyrkiä. Yleisellä tasolla laadun voidaan sanoa olevan sitä, että asioita tehdään hyvin. Hyvä laatu voi näkyä niin, että yhdessä pohditaan ja sovitaan asioita, jotka dokumentoidaan ja tehdyt dokumentit ovat saatavilla kaikilla asianomaisilla henkilöillä. (Martikainen, 2012b, s. 2; Martikainen, 2013, s. 3.)

Samalla tulee kuitenkin muistaa, että laadusta puhuttaessa on muistettava sen keskeinen yhteys tuottavuuteen ja taloudellisuuteen. Laatua tulisikin muistaa tarkastella kokonaisuutena, jossa tuottavuus ja taloudellisuus ovat osatekijöitä. (Martikainen, 2013, s. 3.)

6.1 Laatukustannukset

Suomessa huonon laadun eli laatupuutteiden aiheuttamat kustannukset nousevat metalliteollisuudessa noin 3 miljardiin euroon vuodessa. Laatupuutteiden aiheuttamista kustannuksista selkeästi tunnistettavissa on vain muutama prosentti. Näihin kuuluvat asiakkaiden tekemät reklamaatiot ja niistä aiheutuva korjaustyö, takuukustannukset sekä jo tuotannossa huomatut vialliset tuotteet. Vaikeammin huomattavissa oleviin laatukustannuksiin kuuluvat esimerkiksi turhat palaverit, vikojen etsiminen, menetetty maine ja luottamus. Kuvassa 27 on näkyvissä erilaisia huonon laadun ilmentymiä. (Martikainen, 2013, s. 3.)



Kuva 27. Huonojen laatukustannuksien ilmentymiä (Martikainen, 2013, s. 3).

Laatukustannukset voidaan jakaa näkyvien ja vaikeasti näkyvien laadun ilmentymien lisäksi hyviin, pahoihin ja rumiin kustannuksiin. Hyvät kustannukset syntyvät ennakointitoimenpiteistä esimerkiksi laatujärjestelmän kehittämisestä ja käyttöönotosta. Pahat kustannukset muodostuvat poikkeamista ja virheistä, jotka huomataan jo yrityksen sisällä. Rumissa kustannuksissa virheellinen tuote on päätynyt asiakkaalle, josta on seurannut reklamaatiokustannuksia. Laatupuutteen korjaaminen maksaa aina sitä enemmän, mitä pidemmälle se on tuotantoketjussa ehtinyt. Kustannukset jakaantuvat karkeasti hyvien, pahojen ja rumien suhteessa 1:10:100. (Martikainen, 2013, s. 4.)

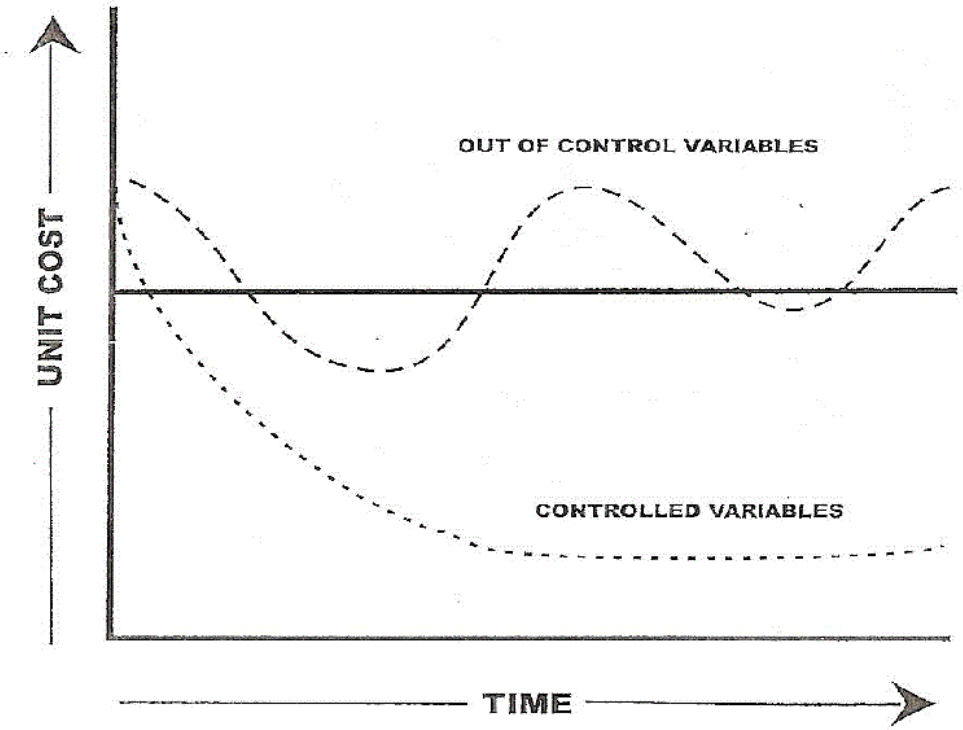
Laadun kohdalla on tärkeää huomata, että ylilaatukin voi aiheuttaa lisäkustannuksia. Liian suurien a-mittojen käyttö hitsaavassa tuotannossa ja ylilaadun tekeminen nostavat huomaamattomasti tuotteen valmistuskustannuksia. (Savolainen, 2009, s. 20.)

6.2 Hitsauksen laatu

Hitsauksen laatu voidaan ajatella koostuvan hyvin yksinkertaisista asioista esimerkiksi mittatarkoista osista hitsaustuotannossa, hyvin toimivista hitsauslaitteistoista, ergonomisesta työympäristöstä ja kerralla valmiiksi hitsatuista tuotteista. Hitsauksen laatua voidaan käsitellä myös kahtena osa-alueena: yksittäisen hitsin teknisenä laatuna ja hitsaustuotannon toiminnan laatuna. (Martikainen, 2013, s 5.)

Hitsaustoiminnan laatu ja laatutyökalut

Hitsaustoiminnan laadussa keskitytään tuotteiden laatuun vaikuttaviin tekijöihin, joita ovat laaduntuottotekijät ja niiden parannuskeinot. Hitsaustoiminnan laatuun kuuluu luonnollisesti hitsaus ja siihen liittyvät toimenpiteet, mutta sen lisäksi hitsausta edeltävät ja hitsauksen jälkeiset työvaiheet. Järjestelmällisen laatutyön vaikutukset nähdään pitkällä aikavälillä muun muassa tuotteiden valmistuskustannuksissa. Kuvassa 28 on kuvattuna kuinka tuotannon systemaattinen kontrollointi vaikuttaa tuotteen yksikkökustannuksiin. (Martikainen, 2013, s. 6–7.)



Kuva 28. Hitsaustoimintojen vaikutukset tuotteiden yksikkökustannuksiin kontrolloituna ja ilman kontrollia (Barckhoff 2006, s. 5).

Hitsaavan konepajan laadunhallintaan kehitetty on joukko laatutyökaluja, joista hitsaavalla konepajalle sopivimpia ovat EN ISO 9001 ja EN ISO 3834-2. Verkostoituneessa toiminnassa näiden työkalujen avulla yrityksillä on yhteinen käsitys, miten asioita hoidetaan ja mitä asioita otetaan huomioon. (Martikainen, 2013, s. 7.)

EN ISO 9000 on laadunhallintajärjestelmiin liittyvä standardisarja, jossa selvitetään yritysten toiminnan johtamista laadunvarmistuksen ja laadunhallinnan pohjalta. Varsinainen käytännön työkalu, mikä sopii myös hitsaavan konepajan tarpeisiin, on EN ISO 9001, jossa selvitetään perusvaatimukset laadunhallintajärjestelmälle. (Martikainen, 2013, s. 7.)

EN ISO 3834 on puolestaan hitsauksen laatuvaatimukset-standardisarja, joka voi toimia laatujärjestelmästandardia EN ISO 9000 täydentävänä tai itsenäisenä standardina, mutta ei tätä korvaavana. Haastavia tuotteita valmistavassa yrityksessä on usein tarpeellista lähteä rakentamaan laatujärjestelmää standardin EN ISO 3834-2 eli kattavien laatuvaatimusten mukaisesti. (Martikainen, 2013, s. 7.)

Laatujärjestelmää rakentaessa kaikkea ei kuitenkaan tarvitse tehdä kerralla, vaan yritys voi aloittaa asioista, jotka ovat organisaation kannalta merkittävämpiä. Käytännön konepajatyöskentelyn kannalta tärkeimpiä laatuasioiden toimenpiteitä ja dokumentointeja ovat: (Martikainen, 2012b, s. 88–89; Martikainen, 2013, s. 7)

- Hitsauskoordinoijan nimeäminen yritykseen (IWS, IWE)
- Hitsausoperaattorien ja hitsaajien pätevyydet
- Hitsausohjeiden eli WPS:n käyttö
- NDT-tarkastajien pätevyydet
- Yrityksen tuotteilleen määrittämät hitsiluokat ja niiden toteaminen
- Ohjeistus hitsausaineiden käsittelystä, varastoinnista ja käytöstä

Näiden lisäksi on olemassa suppeampia laatutyökaluja, jotka sopivat yrityksille, joilla laatutoiminnot ovat vähintään kohtuullisella tasolla. Tällaisilla työkaluilla voidaan hyvin puuttua yksittäisiin ongelmakohtiin ja pienempiin kokonaisuuksiin. Hitsaustuotantoon soveltuvia fokusoituja laatutyökaluja ovat muun muassa Lean, SixSigma ja Total Welding Management (TWM). (Martikainen, 2012b, s. 11–12; Martikainen, 2013, s. 9.)

Yrityksen tulee kuitenkin itse päättää, mitkä työkalut ovat niiden tarpeisiin soveltuvimmat. Asiakkaiden vaatimukset ja viranomaisten määräykset sekä standardit vaikuttavat osaltaan laatutoiminnan määrittämiseen, mutta yritys vastaa tekemiensä tuotteiden laadusta ja tuotantonsa laadusta itse. (Ylönen, 2005, s. 30.)

Hitsin tekninen laatu

Teknisen laadun voidaan kokea olevan riittävä, kun tuote täyttää sille asetetut vaatimukset, jotka voivat olla esimerkiksi asiakkaan asettamia tai standardien valmiiksi määrittämiä kuten painelaitteiden ja ydinvoimalalaitteiden kohdalla. Lisäksi yrityksen on itse hyvä pohtia tuotteilleen asetettavia laatuvaatimuksia, jos tuotteille ei ole asetettu muita vaatimuksia. Hitsin teknisellä laadulla voidaan tarkoittaa ainakin seuraavia asioita: (Martikainen, 2013, s. 5)

- Visuaalinen laatu
- Hyvä konepajalaatu
- Hitsiluokkalaatu
- Metallurginen laatu

Visuaalista laatua ei ole määritetty tarkalleen, vaan sen arvioiminen on asiakas- ja yrityskohtaista. Yleensä kuitenkin tärkeää on, että hitsi on hyvännäköinen eli hitsissä ei ole pintahuokosia, hiontajälkiä, reunahaavoja ja hitsin pinnan tulee olla sileä. (Martikainen, 2013, s. 5.)

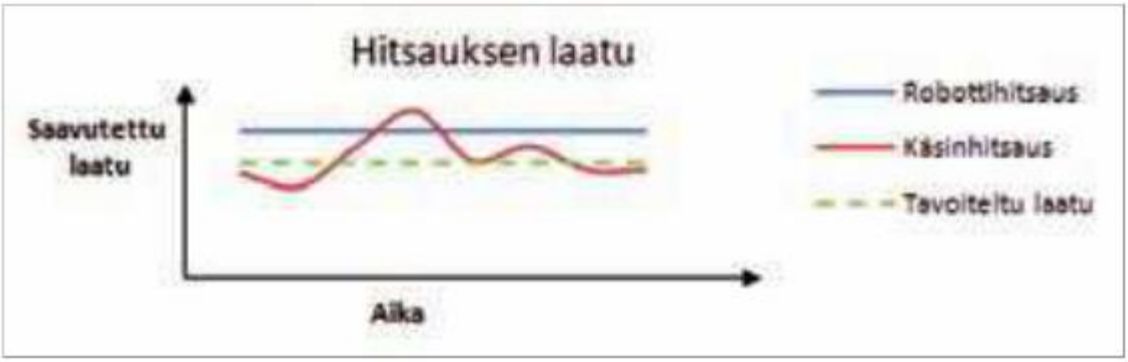
Hitsiluokalla tarkoitetaan tuotannossa valmistettavan hitsin laatua. Hitsiluokkastandardi ei määrittele tuotannon hitsiluokkaa, vaan sen määrittää yleensä tuotteen suunnittelija, ellei rakenne kuulu jonkin sovellusstandardin piiriin. Hitsiluokat jaetaan B- (vaativa), C- (hyvä) ja D-luokkiin (tyydyttävä) niissä sallittavien hitsausvirheiden ja virheiden koon mukaan. B+ tarkoittaa lisävaatimusta B-luokan hitsille esimerkiksi rajaviivan jouhevuuden tai pinnan sileyden suhteen. Hyvästä konepajalaadusta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä hitsiluokkaa C. (Martikainen, 2012b, s. 24; VTT, 2006, s. 60.)

Metallurgisen laadun merkitys on korostunut uusien materiaalien tulon myötä. Keskeisiä seikkoja hitsin kestävyyden kannalta on, että mikrorakenne on tarpeeksi sitkeä ja sularajan

ympäristössä raekoko pysyy pienenä. Metallurginen laatu voidaan varmistaa menetelmäkokeiden avulla. (Martikainen, 2013, s. 5.)

6.3 Robottihitsauksen laatu

Yksi syy robottihitsauksen tuomiselle yritykseen on tuotteilta vaadittava laatu. Käsinhitsauksessa ei saavuteta yhtä hyvää tasalaatuisuutta kuin robottihitsauksessa (kuva 29). Käsinhitsauksessa hitsaustyön laatu saattaa vaihdella paljon ja uuden tuotteen hitsauksessa ei alkuun ylletä vaadittuun laatutasoon. Laatuvaihtelut pienenevät ajan kuluessa, mutta käsinhitsaaja ei aina siltikään saavuta haluttua laatutasoa. Vaativien rakenteiden hitsauksessa huippuhitsaaja kuitenkin voi tehdä laadukkaampaa jälkeä kuin robotti. (Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 33.)



Kuva 29. Laadun vaihtelu robottihitsauksessa ja käsinhitsauksessa (Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 33).

Robottihitsauksessakin saattaa esiintyä välillä laadun kohdalla epätasaisuuksia. Laatupoikkeamat tai hitsausvirheet voivat robottihitsauksessa syntyä missä tahansa tuotannon vaiheessa. Tärkeää onkin käydä läpi kaikki vaiheet aina aihioiden leikkauksesta itse robottihitsaukseen. (Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 33.)

Hitsausrobotilla voidaan yleensä tehdä erittäin tasalaatuisia tuotteita. Hyvä ja tasainen laatu vaatii kuitenkin robottihitsauksenkin kohdalla panostamista laadunvarmistukseen yrityksessä. Yksi tärkeä laatuun vaikuttava tekijä on hitsausratojen ohjelmointi. Eri robottioperaattorien ohjelmoimissa hitsausradoissa voi olla suuriakin eroja ja näillä voi olla paljon vaikutusta hitsiliitosten laatuun. Kokenut ja taitava robottioperaattori saa tehtyä

paremman robottiohjelman kuin kokematon tai aloitteleva robottioperaattori. (Holamo & Aalto, 2009, s. 31.)

Robottihitsauksessa laatua saadaan myös parannettua, jos aikaisemmin käytetyt hitsikohtaiset parametriarvot tallennetaan järjestelmään, jolloin kokematonkin robottioperaattori voi käyttää hyväksi havaittuja parametreja hitsauksessa. (Holamo & Aalto, 2009, s. 31.)

Robotin ohjelmoimisella voidaan vaikuttaa hitsausparametreihin sekä polttimen ja geometrian muuttujiin, jotka molemmat ovat laatuun vaikuttavia tekijöitä. Kokeneellekin robottihitsaajalle saattaa olla haastavaa ohjelmoida monimutkaisempia geometrisia muotoja tai tilanteita, joissa kappaleenkäsittelijän ja robotin tulisi liikkua synkronoidusti. Tällöin vapaalangan pituuden ja poltinkulmien pitäminen vakiona voi osoittautua haastavaksi opettamalla ohjelmoitaessa ja tällä on suuri vaikutus robottihitsauksen laatuun. Tavallisimmat robottien tekemät hitsausvirheet ovat usein seurausta väärästä poltinkulmasta ja polttimen kuljetuksesta. (Holamo & Aalto, 2009 s. 31; Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 35.)

Hitsauksen aikaisilla polttimen kallistus- ja kuljetuskulmien muutoksilla on selkeä vaikutus hitsin muotoon, tunkeumaan ja sijaintiin suhteessa railoon sekä hitsin jouhevaan liittymiseen perusaineeseen. Vaikutukset ovat erityisen suuria, jos robotti ei pääse hitsaamaan jalkoasennossa. Suutinetäisyyden vaihtelu vaikuttaa hitsausvirtaan, mikä voi näkyä hitsin riittämättömänä tunkeumana, läpipalamisena tai roiskeiden määrän lisääntymisenä. (Holamo & Aalto, 2009, s. 31.)

Etäohjelmoimilla voidaan hallita vaativissa ja monimutkaisissa rakenteissa poltinkulmia ja vapaalangan pituutta tarkasti tai ainakin paremmin kuin opettamalla ohjelmoitaessa. Tämä yhdistettynä railonhaun ja -seurannan käyttöön mahdollistaa robottihitsauksen laadun vakioinnin haluttavalle tasolle hitsattaessa vaativia liitosmuotoja. (Holamo & Aalto, 2009, s. 31.)

7 ESIVALMISTELUT

Robottihitsauksen onnistuminen riippuu pitkälti aiempien työvaiheiden onnistumisesta. Usein loppuvaiheen korjaukset johtuvat esivalmisteissa ja silloituskiinnittimissä esiintyvistä epätarkkuuksista. Korjaukset kasvattavat kustannuksia ja työntekijät käyttävät ylimääräistä aikaa korjausten suorittamiseen. Hitsausta edeltävissä vaiheissa onkin tärkeää panostaa levyjen ja aihioiden puhtauteen ja tarkkuuteen. (Meuronen, 2011, s. 14.)

7.1 Aihioiden leikkaus ja sen merkitys robottihitsauksessa

Aihioiden leikkaus voidaan tehdä joko mekaanisesti tai termisiä menetelmiä hyväksi käyttäen. Mekaaninen leikkaus voidaan suorittaa esimerkiksi suuntaisleikkurin, sahan tai levytyökeskuksen avulla. Termisiä menetelmiä ovat laserleikkaus, polttoleikkaus ja plasmaleikkaus. Aihioiden leikkauksessa käytetään tehokkainta ja taloudellisinta menetelmää, jolla otetaan huomioon osilta vaadittava laatu ja tarkkuusvaatimukset. (Piironen, 2013, s. 17–21.)

Robottihitsauksessa aihioiden valmistuksen tarkkuusvaatimukset ovat usein suuremmat, mikä tulee huomioida robotilla hitsattavien osien valmistuksessa. Esimerkiksi polttoleikkauksella voi olla vaikeaa saavuttaa riittävää tarkkuutta (taulukko 2) robottihitsaukseen onnistumiseksi, jolloin soveltuvammiksi vaihtoehdoiksi nousevat termisistä menetelmistä erityisesti hienosädeplasmaleikkaus ja laserleikkaus sekä mekaanisesta leikkauksesta levytyökeskuksen käyttö. Jos hitsausrailolta vaaditaan erityistä tarkkuutta, voidaan leikatut pinnat myös koneistaa. (Ahola, 1988, s. 26–28.)

Taulukko 2. Termisten menetelmien soveltuvuus seostamattoman teräksen leikkaukseen (muokattu Piironen, 2013, 19).

	Polttoleikkaus	**Plasmaleikkaus**	**Laserleikaus**
Aineenpaksuus (mm)	3–250…3200	…30	…25
Tarkkuus (mm)	0,5–5	0,1–0,5	0,05–0,1
Leikkausnopeus (mm/min)	60…800	1000…10000	500…2000
Leikkausjälki	Tyydyttävä	Kiitettävä	Kiitettävä

Robottioperaattori tekee hitsausohjelman kappaleen railogeometrian mukaan ja robotti suorittaa jokaisen työkierron näillä ohjelmoiduilla hitsausarvoilla, vaikka railomuoto poikkeaisikin asetetusta. Väärä railokulma tai juuripintavirheet muuttavat hitsausrailon tilavuutta, jolloin seurauksena voi olla railon vajaa hitsautuminen tai liiallinen täyttyminen. Jos robotti on hitsannut ylisuuren pohjapalon, voi se aiheuttaa seuraavan hitsattavan palon kohdalla hitsausvirheitä esimerkiksi liian jyrkän liittymän. Liian täyteen hitsattu railo voi myös saada robotin railonseurannan eksymään, jolloin hitsi sijoittuu väärään kohtaan ja hitsauspään törmäysriski kasvaa. Liian pienen pohjapalon kohdalla vaarana on läpipalamisen riski ja vajaa hitsi. Epätarkan railopinnan vaikutus korostuu etenkin hitsattaessa ohuita aineenpaksuuksia. (Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 34.)

7.2 Särmäys

Särmäyksessä levymateriaalia muovataan kylmänä taivuttamiseen tarkoitettujen työkalujen välissä. Menetelmä sopii kaikille levynvahvuuksille ja suurien aineenpaksuuksien särmäyksessä rajoittavana tekijänä on lähinnä koneen teho. Särmäysmenetelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään: vapaaseen taivutukseen ja pohjaiskusärmäykseen. Vapaassa taivutuksessa painin ei paina särmättävää kappaletta vastimen uran pohjalle, jolloin taivutuksessa on huomioitava takaisinjousto särmäyksen yhteydessä. Vapaata taivutusta käytetään paksujen levyn särmäyksessä. Pohjaiskusärmäyksessä käytettävä puristusvoima on asetettu niin korkeaksi, että aihio painetaan kokonaan vastimen uran pohjalle, jolloin takaisinjoustoa ei tapahdu. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 300–305.)

Särmäyksen hyödyntämisellä voidaan monissa tapauksissa vähentää tarvittavaa hitsien määrää ja samalla pienentää kokoonpanossa tarvittavien osien määrää. Nykyisillä särmäyspuristimilla päästään tarvittavaan tarkkuuteen robottihitsauksen kannalta, mutta ongelmia saattavat aiheuttaa materiaalierien välillä olevat poikkeamat muun muassa aineenpaksuuden ja seostuksen suhteen. Särmätyt osat olisikin hyvä tarkistaa esimerkiksi tulkilla jo särmäysvaiheessa, jolloin varmistetaan, että osa sopii varmasti hitsausta varten. (Ahola, 1988, s. 6–7.)

7.3 Silloitushitsaus

Silloitushitsauksen avulla varmistetaan hitsattavan tuotteen mittojen oikeellisuus. Silloitus olisi suositeltavaa suorittaa hyppelehtivällä tekniikalla hitsaamalla ensin silloitushitsit

harvaan ja palaamaan lopuksi tekemään väleihin silloitushitsit. Varsinaisten hitsien aloitus- ja lopetuskohtiin ei suositella tehtäväksi silloitushitsejä. Silloitushitsauksessa tulee ottaa huomioon jo etukäteen hitsauksessa tarvittavat ennakot ja hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset. Hitsaus on mahdollista suorittaa ilman silloitushitsausta, jos tuotteelle on valmistettu sopiva hitsauskiinnitin. (Ovako Oy, 2012, s. 16.)

Silloituksen tasalaatuisuus on erityisen tärkeää robotisoidun hitsauksen kohdalla. Silloitushitsauksesta olisikin hyvä tehdä hitsausohjeet, joihin on otettu esimerkiksi valokuvat silloituksen eri työvaiheista. Työohjeiden avulla uusikin silloittaja oppii nopeasti tuotteelle tehtävän työjärjestyksen. Silloitushitsaajalla tulisi olla lisäksi perustiedot robotin toiminnasta ja sen vaatimasta paikoitustarkkuudesta ja yleisestä laadusta silloitushitsien suhteen. (Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 34.)

Usein silloituksen yhteydessä saattaa olla tarve hitsata osa hitseistä valmiiksi jo ennen varsinaista robottihitsausta, koska hitsit saattavat olla hankalia robotilla hitsattavaksi. Tämän tyyppinen tilanne voi tulla eteen esimerkiksi hitsattaessa kappaleessa olevia teräviä nurkkia, joissa robotin hitsaamasta hitsistä tulee helposti liian suuri. (Hiltunen & Purhonen, 2008, s. 34.)

8 ROBOTTIHITSAUS KKR STEEL OY:SSÄ

Tässä osiossa tarkastellaan KKR Steel Oy:n robottiasemien toimintaa ja pyritään löytämään erilaisia kehitystoimenpiteitä robottihitsausta ajatellen. Tarkoituksena on kehittää olemassa olevien robottituotteiden hitsausta yrityksessä ja pyrkiä tuomaan tuotannosta uusia tuotteita hitsattavaksi robottiasemille. Roboteilla hitsataan erilaisia terästuotteita, joiden paino vaihtelee muutamista kilogrammoista useisiin satoihin kilogrammoihin.

8.1 Robottihitsausasemat ja robottioperaattorit

KKR Steelin robotit on nimetty yritykseen tulojärjestyksen mukaan Robo1, Robo2, Robo3 ja viimeisimpänä Robo4. KKR Steelin robotit ovat ABB:n hitsausrobotteja ja jokaisessa asemassa on kappaleenkäsittelylaite lisäämässä robotin työaluetta. Lisäksi jokaisesta robotista löytyy polttimen puhdistus- ja langankatkaisulaite sekä Robo3-asemaa lukuun ottamatta kaikissa asemissa on valokaaren seurantaan perustuva railonseuranta. Robo3 on vanhempaa mallia ja siitä puuttuu erillinen railonseurantamahdollisuus.

Kaikki robotit ovat soveltuvia MAG-hitsaukseen ja lisäainelankana käytetään umpilankaa, jonka paksuus on 1,0 mm, minkä lisäksi käytetään jonkin verran 1,2 mm lisäainelankaa. Roboteilla käytetään lisäaineen suurpakkauksia tuotantokatkojen minimoimiseksi. Suojakaasuna roboteilla käytetään MISON 8 (Ar + 8%CO_2 + 0,03%NO), joka johdetaan roboteille suoraan kaasujärjestelmää pitkin.

Robottioperaattoreita yrityksessä on neljä, joista yksi toimii osan ajasta tavallisena hitsaajana. Robottihitsaus toimii yhdessä vuorossa ja ainoastaan Robo2-asemalla on koko vuoron ajan tuotteita hitsauksessa. Uuden robottihitsausaseman myötä osa Robo2-aseman hitsattavista tuotteista voidaan siirtää Robo4-asemalle, jolloin Robo2-asemaltakin vapautuu kapasiteettia. Robottiasemilla on kuitenkin huomattava määrä käyttökapasiteettia vapaana ja tarvittaessa voidaan siirtyä kahteen vuoroon, mikäli robottihitsattavien tuotteiden osuutta saadaan nostettua riittävän korkeaksi.

8.1.1 Robo1-asema

Robo1 on pisimpään yrityksessä ollut robottihitsausasema. Alun perin robotti on ollut kiinteällä paikallaan pysyvällä alustalla, mutta robotti on myöhemmin nostettu lineaariradalle. Tämä on mahdollistanut sen, että robotti voi nyt hitsata kolmessa eri paikassa: a-, b- ja c-asemassa. Eri paikoissa hitsaaminen on mahdollistanut suurien kappaleiden hitsauksen, mutta robotin liikkuminen asemien välillä on kuitenkin hidasta ja liike keskiasemasta laitaan ja takaisin vie noin 35 s.

Kappaleenkäsittelijä robottiasemassa on 3,5 m leveä kaksipuolinen grillipöytä, johon hitsauskiinnittimet paikoitetaan pääasiassa grillipöydän levyisten puomipalkkien päälle hitsaamalla ne suoraan palkkiin kiinni (kuva 30). Asemalla on hitsauksessa paljon erityyppisiä ja kokokoisia kappaleita, mutta kaikkein vaikeimmat kappaleet on jätetty hitsattavaksi Robo2-asemalle.

Kuva 30. Robo1-aseman 3,5 m leveä kappaleenkäsittelylaite.

8.1.2 Robo2-asema

Robo2 on kaikkein monipuolisin yrityksen käytössä oleva robottiasema ja sillä on myös eniten kuormitusta vanhoista robottiasemista. Robo2 liikkuu 6 m (kuva 31) pitkällä

lineaariradalla, jolla robotti siirtyy radan toisesta päästä toiseen ja takaisin noin 10 s:ssa. Robotilla voidaan hitsata tuotteita joko normaalissa L-pöytä asennossa tai pöydän ollessa grillimoodissa, joka mahdollistaa suurienkin kappaleiden hitsauksen. Hitsausohjelmien kestot vaihtelevat muutamista minuuteista jopa tuntiin. Useamman akselin suhteen liikkuminen mahdollistaa monimutkaisienkin kappaleiden hitsauksen.

Aseman heikkoutena on se, että aseman hitsauspöytä on vain yhdellä puolella. Tällöin uusia tuotteita ei voida panostaa eikä hitsattuja tuotteita voida viimeistellä robotin työkierron aikana. Hitsauskiinnittimien vaihtoajat ovat pitkiä sarjakokoihin nähden. Kiinnittimen vaihtoaika riippuu hieman tuotteesta riippuen, mutta on yleensä noin 15–20 minuuttia.

Kuva 31. Robo2 grillimoodissa, jolloin voidaan hyödyntää hitsauksessa 6 m lineaariratata.

8.1.3 Robo3-asema

Robo3 on yritykseen käytettynä ostettu robottiasema, joka on KKR Steelin hitsausasemista kaikkein vanhinta mallia. Robotin työalue on muita yrityksen robotteja pienempi, minkä lisäksi robotti on kiinteällä jalustalla, mikä rajoittaa sen ulottuvuuksia. Asema on varustettu kaksipuolisella kääntöpöydällä (kuva 32), johon hitsauskiinnittimet kiinnitetään samaan tapaan kuin Robo1:ssä. Ympyräkaaret aiheuttavat hankaluuksia robotin ohjelmoinnille ja

toiminnalle, joten robotilla hitsataan lähinnä suoria hitsejä. Robo3:lla hitsataan pääasiassa pienikokoisia ja yksinkertaisia tuotteita.

Kuva 32. Robo3-asema on varustettu kaksipuoleisella kääntöpöydällä.

8.1.4. Robo4-asema

Uusi joulukuussa 2014 tullut hitsausrobottiasema on varustettu kaksipuoleisella L-pöydällä. Asemasta käytetään jatkossa nimeä Robo4 (kuva 33). Uudelle robotille on tarkoitus tehdä hitsauskiinnittimiä aina kaksin kappalein, jolloin voidaan viimeistellä ja kiinnittää uusi kappale kiinnittimeen samaan aikaan, kun robotti hitsaa edellistä kappaletta.

Ensimmäiset robottiasemalle tuotavat tuotteet ovat aikaisemmin muilla robottiasemilla hitsattuja tuotteita. Näin saadaan uudesta robotista saatava tuotantohyöty nopeasti käyttöön ja jaettua muiden robottien kuormaa tasaisemmin. Kuorman tasaamisen ansiosta robotilla saadaan lisättyä joustavuutta, kun samoja tuotteita voidaan hitsata useammalla robotilla. Alkuvaiheessa uudelle robotille tulee noin 30 nimikettä, jotka ovat pääasiassa muutamasta eri tuoteperheestä. Tämä helpottaa moduloitujen hitsauskiinnittimien käyttöä aseman yhteydessä.

Kuva 33. Robo4-asema on varustettu kaksipuoleisella L-pöydällä.

Uusi robottiasema mahdollistaa uusien tuotteiden tuonnin robotilla hitsattavaksi, koska käyttöön saadaan tarkempi railonhaku ja -seurantajärjestelmä kuin vanhemmissa robottiasemissa. Robo4 sisältää myös mahdollisuuden pneumatiikan käyttöön, mikä mahdollistaa uudentyyppisten kiinnittimien käytön, jolloin uusien tuotteiden tuonti robotille helpottuu.

Robotissa on normaalin MIG/MAG-hitsauksen lisäksi pulssihitsausominaisuus, jota voidaan hyödyntää etenkin ohuiden aineenpaksuuksien hitsauksessa. Tällä hetkellä robottihitsauksessa ei ole varsinaisia ohutlevytuotteita, mutta tulevaisuudessa joitakin kotelorakenteita pystyttäneen hitsaamaan pulssihitsauksen avulla uudella hitsausrobottiasemalla. Lisäksi nykyisiä tuotteita hitsattaessa kuumakaarialueella pulssihitsaus vähentänee hitsauksessa syntyvien roiskeiden määrää.

8.2 Robottiohjelmien tarkistus

Eri robottiasemien hitsausohjelmat käytiin läpi siltä varalta, että niissä olisi ylimääräisiä tai tehottomia liikkeitä. Valtaosa ohjelmista toimi hyvin ja robotit suorittivat ohjelman halutulla tavalla. Robo1- ja Robo2-asemien kohdalla löytyi muutamien tuotteiden kohdalla tarpeettomia robotin liikkeitä lineaariradalla, mitkä lisäsivät kokonaishitsausaikaa.

Robo2-asemassa voidaan hitsata tuotteita joko sen ollessa L-pöytä- tai grilliasennossa. Käytettäessä grillimoodia ohjelma suorittaa aina tällöin ylimääräisen radan siirtymisen ohjelman alussa ja lopussa, joista aiheutuu ylimääräinen viive kaikkiin grilliasennossa hitsattaviin tuotteisiin.

Tässä grillimoodissa hitsataan vuodessa yli 3000 kpl erilaisia tuotteita ja ylimääräisten siirtymien aiheuttama ohjelma-ajan lisäys on kerrallaan 10 sekuntia eli vuodessa 8 h kuluu pelkästään näillä osilla ylimääräisten radan siirtojen suorittamiseen. Ylimääräisen ajan lisäksi siirtymät kuluttavat lineaariradan kaapeleita, mikä lisää huollon tarvetta.

Alun perin tarkoituksena on ollut, että robotin aloituspiste olisi valmiiksi lähellä hitsattavaa kappaletta, jolloin hitsaamisen aloittaminen olisi helppoa. Ohjelman alkaessa robotti käy kuitenkin tekemässä ylimääräisen liikkeen radan toisessa päässä olevassa nollapisteessä ja aloittaa vasta sitten varsinaisen hitsauksen, jolloin aikaa kuluu hukkaan. Sama toistuu myös ohjelman lopussa, kun robotti käy suorittamassa polttimen puhdistuksen radan toisessa päässä ja palaa sitten takaisin lähtöasemaan.

Ongelma korjattiin samalla, kun ABB:n asentajat tulivat asentamaan uutta robottihitsausasemaa. Asentaja poisti lähiasemapisteen, joten robotin lähtöasema on nyt lineaariradan päässä olevassa nollapisteessä.

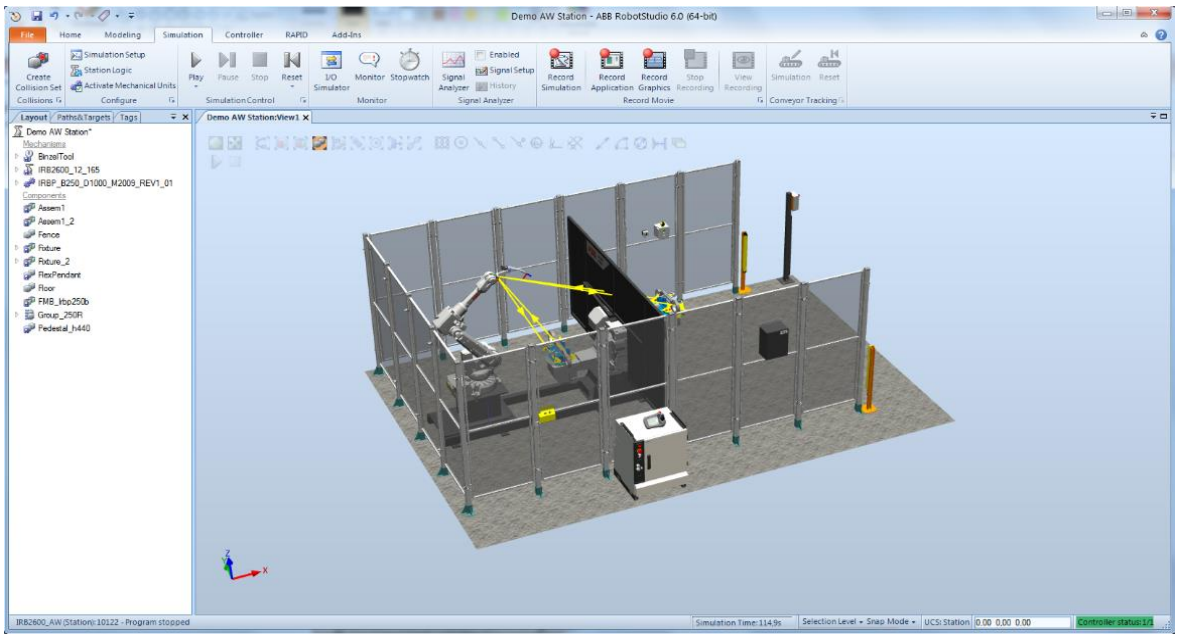
Robo1-aseman ohjelmia tarkistettaessa huomattiin, että muutamien paljon hitsattavien tuotteiden kohdalla robotti suorittaa turhan puhdistusajon ja siihen mahdollisen liittyvän lineaariradalla liikkumisen. Ylimääräiset puhdistusajot olivat jääneet ohjelmiin, kun samasta tuotteesta olevat peilikuvakappaleet alkoivat tulla tuotantoon samaan aikaan. Tuotteista valmiina olleet ohjelmat ketjutettiin toistensa perään, jolloin ohjelmien väliin jäi ylimääräinen puhdistusajo, mikä lisäsi vuodessa kuluvaa ohjelma-aikaa näiden tuotteiden kohdalla noin 4 tuntia. Peilikuvakappaleet tulevat tällä hetkellä säännöllisesti samaan aikaan tuotantoon, joten ylimääräiset puhdistusajot voitiin poistaa tuotteista.

8.3 Robottien ohjelmointi

Aiemmin uusien tuotteiden vienti roboteille on yleensä vaatinut, että robottioperaattori opettamalla ohjelmoi hitsausradan pisteet, jolloin tuotanto keskeytyy ohjelmoinnin ajaksi.

Robotille tuotavat tuotteet tulevat usein pienissä tai keskisuurissa sarjoissa, joten olisi tärkeää saada tehostettua robottien ohjelmointia.

Tulevaisuudessa KKR Steelin robottihitsauksessa on tarkoituksena hyödyntää aiempaa enemmän etäohjelmointia, jolloin tuotantokatkokset saadaan pidettyä aiempaa lyhyempänä. Etäohjelmointia varten tarvittavat virtuaalimallit on tehty kolmesta robottiasemasta. Uuden robottiaseman myötä käyttöön saadaan ABB:n RobotStudio-ohjelma (kuva 34), jolla voidaan ohjelmoida Robo4- ja Robo2-asemia. Myöhemmässä vaiheessa aiemmin Robo1:llä oleva etäohjelmointiohjelmisto on tarkoitus korvata RobotStudio-ohjelmalla, jolloin kaikkia robotteja voidaan ohjelmoida samalla ohjelmalla. Tämä selkiyttää ja yhtenäistää yrityksessä robottien etäohjelmointia. Robo3 on muita robotteja vanhempaa mallia ja sille ei ole käytössä etäohjelmointiohjelmistoa, joten sen hitsausradat ohjelmoidaan jatkossakin online-ohjelmointina.

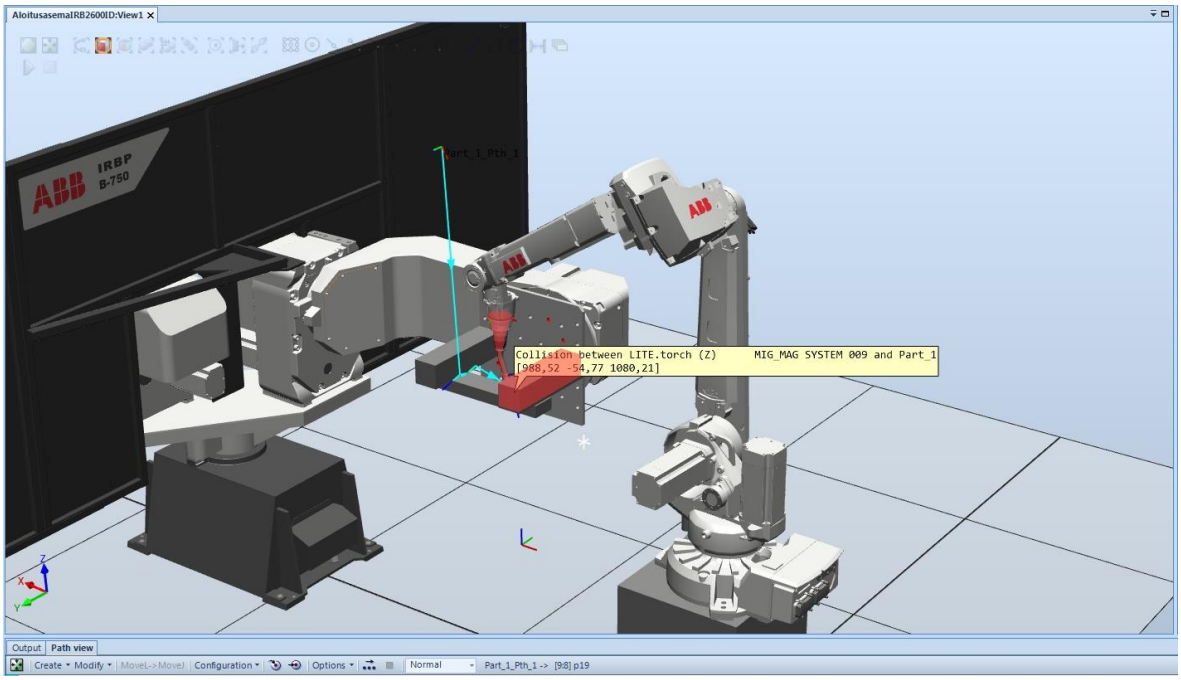


Kuva 34. RobotStudio-ohjelman ohjelmointia virtuaaliympäristössä.

Onnistunut etäohjelmointi vaatii sen, että asiakkaat lähettävät 3D-mallit tuotteista sopivassa tiedostomuodossa hitsauskiinnittimien suunnittelua varten. Hitsauskiinnittimet suunnitellaan niin, että kiinnittimien 3D-malleissa on näkyvissä kaikki lukitusmekanismit ja kiinnittimen osat, jotka tulee ottaa huomioon hitsausratoja suunniteltaessa. Toinen vaatimus etäohjelmoinnin toteuttamiselle on virtuaalimallin ja todellisen solumallin tarkka

toistensa vastaavuus eli kalibroinnin on oltava riittävän tarkka. Robottioperaattorin saattaa olla tarve tehdä pientä hienosäätöä ohjelmiin, mutta mikäli mallit poikkeavat liikaa toisistaan, etäohjelmoinnista saatava hyöty pienenee, koska robottioperaattori joutuu säätämään jokaisen pisteen uudelleen. Yleensä on järkevämpää etäohjelmoida rata mieluummin vähän kauemmas kuin liian lähelle hitsiä. Liian lähelle ohjelmoitu rata törmää helposti tarkistusvaiheessa kappaleeseen, jolloin radan korjaamiseen kuluu enemmän aikaa.

Etäohjelmoinnilla voidaan varmistaa myös etukäteen, että robotin ulottuvuudet ovat riittävät kappaleen hitsaukseen ja saadaan asetettua hitsauspoltin oikeaan asentoon kaikkia hitsauksia varten. Ohjelmiston simulointitoiminnon avulla voidaan varmistaa, että ohjelmoitu rata voidaan suorittaa ilman robotin ja työkappaleen välisiä törmäyksiä (kuva 35).



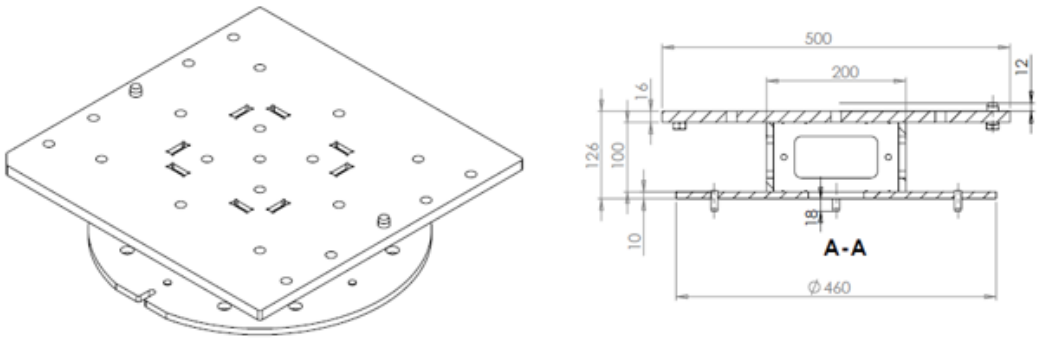
Kuva 35. Simulointi varoittaa mahdollisesta törmäysvaarasta.

Etäohjelmoidut radat tallennetaan muistitikulle ja viedään robottiasemille. Etäohjelmointia varten käydään yhdessä robottioperaattorin kanssa läpi sopiva hitsausjärjestys ja määritetään minkä hitsaustaulukon parametriarvoja hitsauksessa käytetään. Ohjelmat nimetään aina samalla periaatteella ja talletetaan robotilla samaan kansioon. Näin ohjelmat ovat helposti löydettävissä robotin muistista ja muokattavissa edelleen.

Yksinkertaiset ohjelmoinnit, joissa on vain muutamia ohjelmoitavia pisteitä, voidaan jatkossakin tehdä online-ohjelmointina. Etenkin tilanteissa, jossa hitsauskiinnitintä ei ole suunniteltu tietokoneavusteisesti, vaan kiinnitin valmistetaan suoraan tuotannossa vanhojen tietojen perusteella.

8.4 Hitsauskiinnittimien suunnittelu

Uusien hitsauskiinnittimien suunnittelussa pyritään jatkossa käyttämään enemmän suunnitteluohjelmia. Aikaisemmin hitsauskiinnittimet on usein valmistettu suoraan tuotannossa ilman tarkkoja työpiirustuksia. Eri robottiasemia varten tehdään nollapistekiinnittimet, joiden päälle varsinaiset hitsauskiinnittimet paikoitetaan ohjaustappien avulla. Robo1-aseman nollapistekiinnittimessä (kuva 36) jätetään levyn alapuolelle tilaa pneumatiikan läpivientiä varten.



Kuva 36. Robo4-asemalle suunniteltu kiinnitinalusta.

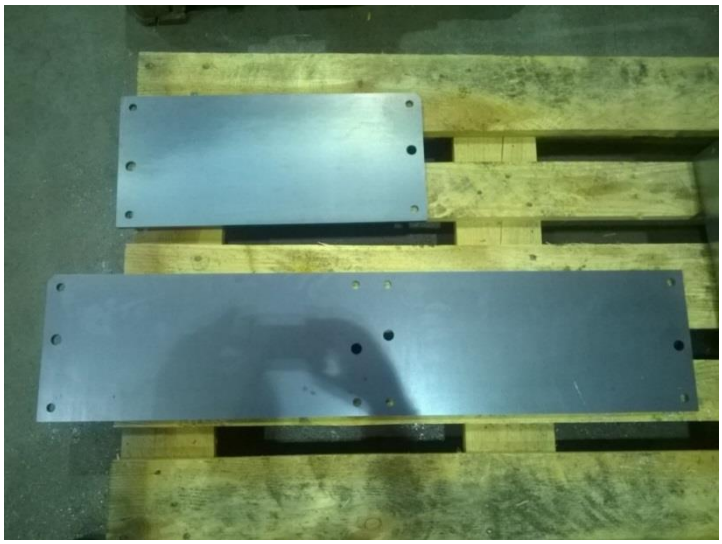
Suunnittelussa pyritään myös tarkastelemaan mahdollisuutta vähentää työvaiheita, etenkin silloitushitsauksien osalta. Jos erillinen silloitusvaihe saadaan poistettua robottihitsauksesta hyvän hitsauskiinnittimen avulla, lyhenevät läpimenoajat hitsauksessa merkittävästi. Osa tuotteista vaatii edelleen silloituksen ja näiden tuotteiden kohdalla voidaan pohtia pystytäänkö uudella kiinnittimellä lyhentämään silloitukseen kuluvaa aikaa.

Hitsauskiinnittimien suunnittelussa pyritään myös hyödyntämään modulointia, jotta samalla hitsauskiinnittimellä voidaan hitsata useita tuotteita yksinkertaisilla kiinnittimen muokkauksilla hitsattavan tuotteen mukaan. Tämän tyyppisiä kiinnitinratkaisuja käytetään

esimerkiksi hitsattaessa henkareita. Kiinnittimien moduloinnilla pyritään pääsemään myös tilanteeseen, jossa samaa hitsauskiinnitintä voidaan käyttää usealla eri hitsausasemalla. Näin saadaan lisättyä joustavuutta ja vähennettyä tarvittavien hitsauskiinnittimien määrää. Parhaiten modulointi toimii tilanteissa, joissa samaan tuoteperheeseen kuuluu suuri joukko tuotteita.

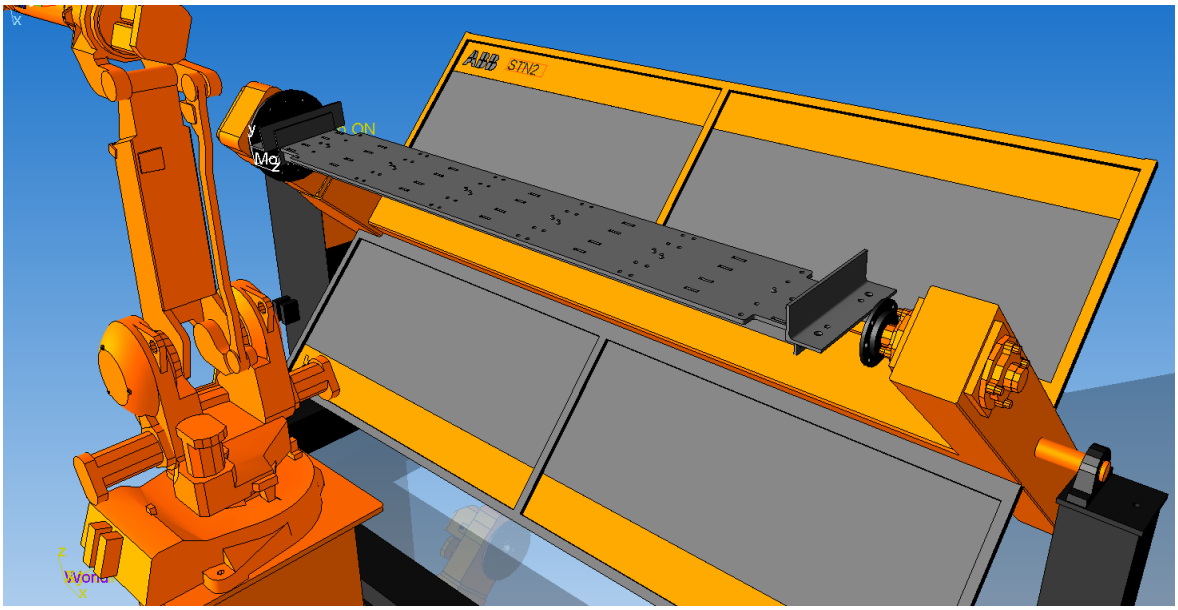
Jatkossa kaksipuoleisilla robottiasemilla hitsattavilla tuotteille on tarkoitus tehdä suoraan hitsauskiinnitin kaksin kappalein, jotta uusi kappale voidaan panostaa samaan aikaan kun robotti hitsaa edellistä kappaletta. Eri puolille pöytää tuleviin hitsauskiinnittimiin merkitään selkeästi, kummalle puolelle kiinnitin on tarkoitettu käytettäväksi. Pienet erot kiinnittimien valmistuksessa voivat muuttaa robottiohjelman paikoituspisteiden paikkaa, mikä vaikuttaa hitsauksen lopputulokseen. Molemmille puolille robottipöytää tehdäänkin omat ohjelmat. Tämä on tärkeä edellytys hitsauksen onnistumiselle, etenkin tilanteissa, joissa ei ole käytössä railonseurantaa.

Kaikkein yksinkertaisimpien tuotteiden robotisoinnin suunnittelu ja valmistus tehdään jatkossakin suoraan tuotannossa. Yksinkertaisissa kiinnittimissä tullaan jatkossa käyttämään vakioituja hitsauskiinnittimien pohjalevyjä (kuva 37), joihin lisätään tarpeen mukaan pikakiinnittimiä ja osia hitsattavien kappaleiden paikoituksia varten.



Kuva 37. Vakioituja hitsauskiinnittimien pohjalevyjä, joihin voidaan lisätä esimerkiksi pikakiinnittimiä.

Robo1- ja Robo3-asemien kohdalla on tarkoitus päästä myöhemmässä vaiheessa kokonaan eroon suoraan palkkeihin hitsattavista kiinnittimistä, sillä ne vievät paljon tilaa ja palkkien vaihtaminen on hidasta. Tarkoitus olisi korvata ne palkin levyisillä nollapistekiinnittimillä (kuva 38), joihin hitsauskiinnittimet voidaan nostaa helposti paikalleen. Menettelyllä saadaan lyhennettyä hitsauskiinnittimien vaihtoon kuluvaa aikaa, kun hitsauskiinnittimet ovat yksinkertaisempia kiinnittää ja kevyempiä nostaa paikoilleen. Robo1-asemalla tehdyissä mittauksissa hitsauskiinnittimen vaihtoaika lyheni noin 4 min, kun hitsauskiinnitin voitiin vaihtaa ilman kattonosturin apua. Tuotteita voidaan hitsata aiempaa enemmän keskiasemassa, jolloin robottiohjelman kesto lyhenee, kun robotin ei tarvitse siirtyä keskiasemasta pois hitsausta varten.



Kuva 38. Robo1-aseman nollapistekiinnitin, jolla korvataan vanhat puomipalkit.

8.5 Robottituotteiden silloitus

Valtaosa robottiasemille hitsattavaksi tulevista tuotteista joudutaan silloittamaan ennen robottihitsausta. Silloitushitsauksen suorittaa joko robottioperaattori tai käsinhitsaaja, jos tuotteeseen tulee lisäksi käsinhitsattavia hitsejä. Käsinhitsaaja yleensä silloittaa myös tuotteen tilanteessa, jossa tuote on monimutkainen ja silloitusaika on pitkä. Silloitusvaihetta varten on valtaosalle tuotteista olemassa jo erillinen silloituskiinnitin.

8.6 Viimeistelyn suorittaminen

Viimeistelyvaiheessa tuotteista hiotaan pois roiskeet ja suoritetaan tarvittaessa mekaaninen oikominen sekä muutaman tuotteen kohdalla tehdään viiste. Robottioperaattori suorittaa yleensä itse viimeistelyn, ellei tuotteeseen tule vielä lisää hitsattavaa tai tuotteen viimeistely vie erityisen paljon aikaa, jolloin käsinhitsaaja viimeistelee tuotteen.

Tähän mennessä viimeistely on suoritettu siten, että robottikierron päätyttyä hitsattu tuote viimeistellään kiinnitettynä hitsauskiinnittimeen. Robottioperaattori on pitkälti toimettomana sen aikaa, kun robotti hitsaa tuotetta. Jatkossa tuotteet on tarkoitus viimeistellä robotin työkierron aikana. Robottiohjelman päättyessä hitsatut tuotteet irrotetaan hitsauskiinnittimestä ja uudet tuotteet kiinnitetään paikalleen. Robottiohjelma laitetaan käyntiin ja robottioperaattori viimeistelee edellisen kierron hitsatut tuotteet robotin hitsatessa seuraavia tuotteita. Tätä tapaa voidaan käyttää robottiasemilla Robo1, Robo3 ja Robo4. Robottiasemien läheisyyteen tuodaan työpöydät (kuva 39), jossa viimeistely voidaan suorittaa. Robo2-aseman rakenteesta ja suurempikokoisista tuotteista johtuen tuotteet on tarkoituksenmukaista viimeistellä jatkossakin vasta hitsauksen työkierron päätyttyä.

Kuva 39. Robottiasema ja sen yhteyteen lisätty viimeistelypöytä.

Mikäli molemmilla puolilla pöytää on samaan aikaan tuote hitsauksessa, voidaan tuotteita edelleen viimeistellä hitsauskiinnittimessä. Tuotantoa on kuitenkin vaikea ohjata niin, että samalle robottiasemalle saataisiin samaan aikaan hitsattavaksi kahta eri tuotetta eri puolille robottia. Tällä hetkellä harvalla tuotteella on vielä samanlaisia hitsauskiinnittimiä kaksin kappalein, mutta jatkossa kaksipuoleisille robottiasemille on tarkoitus tehdä samanlaiset kiinnittimet molemmille puolille pöytää.

8.7 Hitsauksen laatu

KKR Steelissä sovelletaan laadunhallintajärjestelmää EN ISO 9001 ja hitsaustuotannon laadunhallinnassa standardia SFS-EN ISO 3834-2. Jokainen hitsaaja suorittaa omalle työlleen silmämääräistä tarkastusta ja koko hitsaushenkilöstö on koulutettu silmämääräisten tarkastuksen perusteisiin. Lisäksi hitsaajat pätevöitetään vähintään alapienan hitsausta varten hitsauskokeilla ja hitsausoperaattorit puolestaan suorittavat operaattorien työkokeen. Hitsauskokeet valvoo yrityksen hitsauskoordinoija.

Hitsausohjeiden eli WPS:n tarpeellisuus määritetään asiakkaiden kanssa tehdyssä katselmuksissa tai työsuunnitteluvaiheessa. Hitsausohjeet on pätevöity asiakkaan kanssa sovitulla tavalla tai mikäli asiakasvaatimusta ei ole, hitsausohjeen tarve ja pätevöittämistapa määritellään vaatimusten katselmuksessa. Hitsin teknistä laatua tarkastellessa yrityksessä tuotteiden osalta pyritään hitsiluokkalaatuun C, jollei asiakas ole toisin vaatinut.

8.7.1 Robottihitsauksen laatu ja laadunvarmistus

Robottioperaattorit suorittavat hitsatuille tuotteille käsinhitsaajien tapaan nopean silmämääräisen tarkastuksen. Valtaosa viallisista tuotteista huomataankin jo tässä vaiheessa ennen kuin ne menevät seuraavaan työvaiheeseen tai päätyvät asiakkaille. Robottioperaattori suorittaa usein tuotteen viimeistelyn, minkä yhtenä tarkoituksena on varmistaa, että robottioperaattori kiinnittää enemmän huomiota hitsaamiensa tuotteidensa laatuun.

Robotti voi hitsata virheellisesti tilanteissa, joissa käytössä ei ole railonseurantaa ja osien valmistustarkkuudessa on vaihteluita. Yleensä tällaisten tuotteiden tapauksessa robottiohjelmaan on lisätty railonseuranta, mikäli se on ollut mahdollista. Välillä on

kuitenkin esiintynyt tilanteita, joissa jokin syy on aiheuttanut robottiin häiriötilantilanteen, jonka seurauksena robotti pysähtyy tai hitsaa virheellisesti. Häiriöiden määrää pyritään vähentämään huoltamalla robotteja säännöllisesti ja roboteille suoritetaan kerran vuodessa isompi vuosihuolto, jonka tulee suorittamaan robottitoimittajan asentaja.

Pitkään tuotannossa olleiden robottituotteiden osalta ilmenee erittäin harvoin ongelmia, vaan laatupoikkeamia esiintyy lähinnä, kun hitsataan tuotteita ensimmäistä kertaa robotilla. Tällöin haetaan vielä sopivia hitsausparametreja ja saatetaan joutua tekemään muutoksia hitsausratoihin ja hitsausjärjestykseen.

Ongelmia saattaa tulla tilanteissa, joissa robotin liikkeet ovat robotin ulottuvuuksien rajojen tuntumassa. Etäohjelmoinnilla voidaan kuitenkin ennakkoon selvittää mahdolliset ulottuvuuteen liittyvät ongelmat, jos ohjelman kalibrointi on kohdillaan. Etäohjelmoinnilla saadaan lisäksi asetettua hitsauspistooli tarkasti oikeaan hitsausasentoon jokaista eri hitsiä varten, jolloin tuotteiden laatu samalla paranee.

Varsinaisten hitsausvirheiden takia asiakkailta tulee robottihitsauksen osalta erittäin vähän reklamaatioita. Viime vuosina reklamaatioita on tullut muutamissa yksittäistapauksissa. Reklamaatiotapauksissa virheet dokumentoidaan ja mietitään jatkotoimenpiteet. Nämäkään virheet eivät ole välttämättä olleet suoraan robotin aiheuttamia, vaan virheet ovat saattaneet tapahtua jo osien silloitusvaiheessa (kuva 40) tai mahdollisesti jo aiemmin. Silloitusvaihe aiheuttaa myös ongelmia tilanteissa, joissa osa tuotteen hitseistä hitsataan käsin, jolloin helposti hitsataan hitsi, joka on ollut tarkoitus hitsata robotilla. Tällöin robottioperaattori joutuu käyttämään ylimääräistä aikaa hitsausohjelman muokkaukseen.

Kuva 40. Siltahitsi tehty liian kulmaan, jolloin se jää näkyviin robottihitsauksen alta.

8.7.2 Työohjeet ja ”jigikortit”

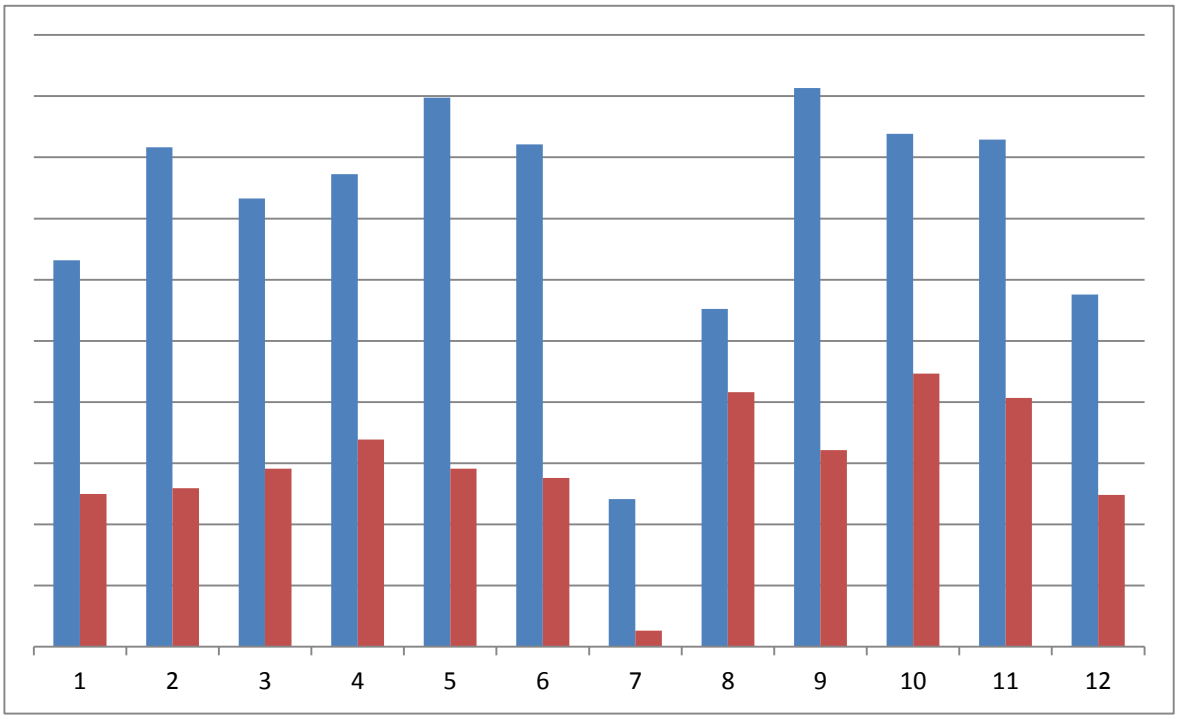
Edellisen kappaleen kaltaisten virheiden välttämiseksi robottihitsauksen silloitusvaiheesta pyritään tekemään työohjeet. Silloituksen työvaiheista otetaan valokuvat ja kirjoitetaan yksinkertaiset selitteet jokaisesta työvaiheesta. Näin pyritään varmistamaan, että silloitukset tehdään samalla tavalla joka kerta ja uusikin silloitushitsaaja osaa silloittaa kappaleen oikealla tavalla. Samanlaisia työohjeita voidaan soveltaa myös robottihitsauksessa esimerkiksi robottien uusien hitsauskiinnittimien käyttöohjeiden kohdalla.

Uudet hitsauskiinnittimet dokumentoidaan ”jigikorttien” (LIITE I) avulla. Kortteihin kirjataan mahdolliset kiinnittimet tehtävät muutokset, säilytyspaikka ja tarkastetaan hitsauskiinnittimen mittatarkkuus. Näin pyritään varmistamaan, että kiinnitin on varmasti toimiva ja ne löydetään tarvittaessa nopeasti.

9 UUSIEN ROBOTTIHITSAUSTUOTTEIDEN KARTOITUS

KKR Steel Oy:llä on noin 980 hitsattavaa nimikettä, joista ainakin 180 nimikkeessä voidaan hyödyntää robottihitsausta. Monia listoilla olevista nimikkeistä menee nykyisellään erittäin harvoin, mutta niitä voidaan tarvita varaosiksi, joten niitä ei voida poistaa järjestelmästä.

Kuvassa 41 näkyy käsin- ja robottihitsattavien tuotteiden jakaantuminen hitsaustuotannossa vuonna 2014. Vuoden aikana hitsataan tuhansia tuotteita, joista robottihitsauksen osuus kaikista hitsattavista tuotteista oli lähtötilanteesta 29,3 %. Tuote lasketaan robottihitsattavaksi tuotteeksi, jos tuote tehdään edes osittain robotilla.



Kuva 41. KKR Steelin hitsauksessa valmistetut kappaleet. Käsinhitsauksen osuus merkitty sinisillä ja robottihitsauksen punaisilla pylväillä. Vaaka-akselilla merkittynä kuukaudet ja pystyakselilla valmistetut kappaleet.

Koska KKR Steel Oy valmistaa tuotteet alihankintana asiakkaalle, ovat mahdollisuudet vaikuttaa tuotteiden suunnitteluun rajalliset. Tämä vähentää robotisointiin soveltuvien

tuotteiden määrää. Sarjakoot ovat usein melko pieniä tai keskikokoisia, mutta tuotetta tehdään tuotannossa yleensä säännöllisin väliajoin.

Kaikkein helpoiten robotisoivat tuotteet on jo pääasiassa siirretty robotilla hitsattavaksi aiemmin. Tuotannossa ei ole enää monia tuotteita, joiden hitsaus onnistuisi kokonaan robotilla tai vähintäänkin tuotteet vaativat erillisen silloitusvaiheen. Tämä vaatii hieman enemmän panostuksia työvaiheiden ja hitsauskiinnittimien suunnitteluun, kun mietitään mitä tuotteesta voidaan hitsata robotille ja mitä joudutaan hitsaamaan käsin.

Tuotantoa kartoitettaessa robotisointia varten on pyritty etsimään tuotteita, joissa olisi pienahitsejä tai päällekkäishitsejä. Tämän tyyppiset hitsit soveltuvat parhaiten robotille ja tarvittaessa ohjelmaan voidaan lisätä railonseuranta, jota voidaan tarvita esimerkiksi osien mittatarkkuuksista johtuen. Parhaiten robottihitsaukseen soveltuisivat kokoonpanot, jotka koostuisivat mittatarkoista osista, esimerkiksi laserleikkeistä tai koneistetuista kappaleista, mutta tällaisia tuotteita tuotannossa on vain vähän. Tuotteen robotisointia mietittäessä on huomioitava lisäksi kuinka robotin ulottuvuudet riittävät tuotteen hitsaukseen ja mahdolliset luoksepäästävyysongelmat.

Tuotteen robotisoinnissa tulee ottaa myös huomioon muita seikkoja, kuten esimerkiksi hitsin määrä, sarjakoot, vuotuinen valmistusmäärä ja silloituksen tarpeellisuus. Jos sarjakoko on melko pieni, mutta tuotteessa on paljon hitsattavaa ja vuotuiset valmistusmäärät ovat suuret, voi tuotteen robotisointi olla erittäin kannattava ratkaisu. Vastaavasti jos tuotteen sarjakoko on keskikokoa, mutta tuotteessa on vähän hitsattavaa ja vuotuiset valmistusmäärät jäävät erittäin alhaiseksi, tulee miettiä kannattaako robottiprojektin suunnitteluun uhrata resursseja.

9.1 Uudet robottihitsattavat tuotteet

Uusien tuotteiden etsinnässä robottihitsaukseen asetettiin yksi perusvaatimus eli tuotteen robotisoitavuus. Tällä tarkoitettiin, että tuote on ainakin pääosin hitsattavissa robotilla, robotin ulottuvuudet ovat riittävät tuotteen hitsaukseen ja robotilla on hyvä luoksepäästävyys sekä tuotteelle on nykyisessä tuotannossa sopiva robottihitsausasema. Muut vaikuttavat tekijät on arvioituna taulukkoon 3, johon on valittu vain tuotteita, joilla on selkeästi mahdollisuudet robotisoitaviksi.

Taulukkoon 3 on kerätty nykyisestä tuotannosta tuotteita, joilla on selkeästi potentiaalia robottihitsausta ajatellen. Tuotteiden ominaisuuksia robotisointia ajatellen on arvioitu numeroin 1–5, soveltuvin robottiasema on arvioitu numeroin 1–4 sekä erillisen silloitusvaiheen tarve tuotteella. Tuotteet on nimetty taulukkoon sen mukaan mitä nimitystä niistä tuotannossa käytetään. Nimi kuvaa joko tuotteen käyttötarkoitusta tai ulkonäköä. Taulukkoon 3 on arvioitu eri tuotteita käyttäen seuraavia kriteereitä:

- Robottiasemaan on merkitty soveltuvin asema hitsausta varten.
- Sarjakoon kohdalla alle 5 kpl sarja on 1 ja yli 40 kpl sarja on 5
- Kokonaismäärän kohdalla yli 250 kpl sarja on 5 ja alle 50 kpl sarja on arvioitu 1 arvoiseksi.
- Hitsattavan hitsin määrän kohdalla alle 500 mm on 1 ja yli 2500 mm on arvioitu 5.
- Pääasiallisen a-mitan kohdalla a4 on 1 ja a8 on 5.

Mikäli kaikki suunniteltavat tuotteet saadaan siirrettyä robotille, tarkoittaa se robotille 19 uutta nimikettä. Tämä tarkoittaisi, että robottihitsattavien tuotteiden osuus kaikista tuotteista nousisi näillä lisäyksillä 34,3 %:in. Lisäys nykyiseen olisi 5 prosenttiyksikköä.

Robotille suunniteltujen tuotteiden myötä hitsattavan hitsin määrä kasvaisi roboteilla noin 4300 m vuositasolla. Suurin osa hitseistä olisi joko a4- tai a5-mittaa. Lisäaineen määränä tämä tarkoittaisi vuodessa noin 640 kg vuodessa.

Taulukko 3. Robottihitsaukseen kartoitetut uudet tuotteet.

Tuote	**Robot-tiasema**	**Sarja-koko**	**Kok. määrä vuodessa**	**Hitsattavan hitsin määrä**	**Yleisin a-mitta**	**Erillisen silloi-tuksen tarve (kyllä/ei)**
Pohjapanssari A1, ja A2	4	2	2	5	1	Kyllä
Pohjapanssari B1, B2, B3 ja B4	4	2	5	5	2	Kyllä
Pohjapanssari C1 ja C2	4	2	3	4	5	Kyllä
Pohjapanssari D	4	2	5	5	3	Kyllä
Silitysrauta	1	3	5	1	5	Kyllä
Runkonivel	3	2	5	2	1	Ei
Nyrkkirauta	1	3	2	1	2	Ei
Sarana	3	5	5	1	1	Kyllä
Ohjainlevy	3	3	1	1	1	Kyllä
Kuljetustuki	1	2	1	2	1	Ei
Suojakouru	1	2	2	1	1	Ei
Tarkistus-luukku	1	5	5	1	1	Kyllä
Moottorin suoja	3	2	3	2	1	Kyllä
Puomin tuki	4	2	3	4	1	Kyllä

Robottihitsaukseen siirrettävillä tuotteilla saatavan aikahyödyn arvioiminen on vaikeaa ennen kuin kaikki tuotteet on kellotettu ensin käsinhitsauksena ja selvitetty alustava robottihitsaukseen kuluva aika. Karkeana arviona voidaan kuitenkin todeta, että ajallinen hyöty on useista kymmenistä tunneista jopa satoihin tunteihin vuositasolla.

10 CASE: POHJAPANSSARIT

Edellisen kappaleen robotisoitavista tuotteista tarkasteltavaksi tuoteryhmäksi valitaan pohjapanssarit, joista suurin osa hitsataan tällä hetkellä käsin. Robottihitsauksessa on kaksi panssarimallia, joita voidaan hitsata jo robotilla. Pohjapanssarimalleja on noin 30 erilaista, mutta osaa näistä malleista menee melko harvoin tai korkeintaan varaosiksi. Lisäksi monissa malleissa on vain vähän hitsattavaa tai hitsattavat osat ovat vaikeasti robotilla hitsattavia. Tuoteryhmästä löytyy kuitenkin noin kymmenkunta nimikettä, joissa on pitkiä pienahitsejä ja katkohitsejä, joiden robotisointi on mahdollista. Hitsauksen robotisointi vaatii kuitenkin erillisen silloitusvaiheen.

Sarjakoot eivät ole pohjapanssareissa kovin suuria, yleensä n. 6–8 kpl, mutta panssareissa on paljon hitsattavaa ja panssareita menee säännöllisesti muutaman kerran viikossa. Vuositasolla robotisointiin suunniteltuja panssareita menee lähes 1000 kpl. Suurin osa hitseistä hitsataan robotilla pienahitsauksena ja a-mitta vaihtelee a4:n ja a8:n välillä. Varsinkin a8 hitsien kohdalla kappale on saatava hitsattavaksi jalkoasentoon riittävän tunkeuman varmistamiseksi, mikäli hitsi hitsataan yhdellä palolla.

Robottihitsaukseen aiotut mallit voidaan jakaa neljään eri ryhmään ulkomuotonsa perusteella: A-, B-, C- ja D-ryhmän pohjapanssareihin. Ryhmien sisällä mallien mitat vaihtelevat muutamia kymmeniä millimetrejä keskenään, mutta malleihin hitsattavat osat ovat muuten melko samanlaisia.

A-mallin tyyppistä panssareista hitsataan jo nyt Robo1:llä kahta mallia ja tarkoituksena olisi tuoda kaksi muuta mallia robotille hitsattavaksi. A-ryhmän pohjapanssareissa hitsiä on yli 3500 mm ja hitsattava a-mitta on a3 tai a4. Vuositasolla näitä panssareita valmistetaan muutamia kymmeniä. Aiemmin Robo1-aseman ulottuvuudet ovat olleet esteenä kahden muun mallin viemiseksi robotille, mutta mallit voidaan hitsata uudella Robo4-asemalla, jonka ulottuvuudet sopivat paremmin tuotteiden hitsaukseen.

B-ryhmän pohjapanssareita on neljää eri mallia, jotka voidaan siirtää robotilla hitsattavaksi. B-mallin pohjapanssareita menee kaikkein eniten, useita satoja kappaleita

vuodessa. Hitsiä panssareissa on noin 3500 mm ja hitsattava a-mitta on a4. Näiden mallien kohdalla haasteita aiheuttavat pohjapanssarien alapuolelle hitsattavat osat, sillä nämä osat tulevat robottihitsauksen tielle, jos osat hitsataan kiinni silloitusvaiheessa. Osat joudutaan hitsaamaan käsin joko robottihitsauksen jälkeen, mikä aiheuttaisi ylimääräisen työvaiheen tai osa pohjapanssarin alapuolelle tulevista hitseistä hitsaankin jo silloitusvaiheessa valmiiksi.

C-ryhmän pohjapanssareita on kahta eri mallia, jotka soveltuvat robottihitsaukseen ja näitä malleja menee vuodessa noin sata kappaletta. Panssareissa on hitsiä noin 2500 mm, mutta robotille suunniteltujen korvakoiden hitsaus voi osoittautua haastavaksi robotille. Korvakoiden ulkopuolen hitsaus joudutaan suorittamaan melko jyrkässä kulmassa, jotta robotin hitsauspää ei törmää särmättyyn pohjalevyyn. Hitsattavat a-mitat ovat a5 ja a8.

D-ryhmän pohjapanssareita on vain yhtä mallia, mutta tätä mallia menee vuositasolla pari sataa kappaletta. Hitsiä mallissa on yli 2500 mm. Hitsauksessa haasteita aiheuttaa se, että robotilla hitsattavaksi tarkoitetut sivulevyt mankeloidaan ja hitsattava hitsi ei ole pienahitsi, jolloin robotin railonseurannan käyttö vaikeutuu. Hitsattavat osat ovat kuitenkin laserleikkeitä, jolloin ne voidaan paikoittaa melko tarkasti paikoilleen.

Muutamat pohjapanssarimallit ovat selkeästi muita yleisempiä ja niitä menee joko viikoittain tai muutaman viikon välein. Tarkoitus olisikin tehdä kiinnittimet suosituimpien mallien mukaisesti kuitenkin niin, että samaa hitsauskiinnitintä voidaan käyttää ainakin muissa saman ryhmän pohjapanssareissa ja mahdollisuuksien mukaan myös muiden ryhmien pohjapanssarien kanssa.

Pohjapanssarit ja siihen liittyvät osat leikataan pääasiassa plasmalla tai laserilla. Plasmaleikkaus saattaa aiheuttaa osissa pieniä mittaheittoja, jolla voi olla vaikutusta robottihitsauksen onnistumiseen. Pohjapanssarin levyt lisäksi särmätään. Hitsattavien osien lukumäärä on myös melko suuri ja joidenkin kappaleiden hitsauksen robotisointi on vaikeaa, joten pohjapanssarit on järkevämpää silloittaa ennen robottihitsausta kuin yrittää suunnitella hitsauskiinnitintä, jolla silloitusvaihe saataisiin eliminoitua kokonaan. Silloitusvaiheessa hitsataan lisäksi osat, jotka eivät sovellu robotilla hitsattavaksi. Erillinen silloitusvaihe helpottaa lisäksi hitsauskiinnittimen suunnittelua, kun pohjanpanssarin

kiinnitystä voidaan yksinkertaistaa ja varmistaa, etteivät hitsauskiinnittimet vaikeuta robotin hitsausratojen suunnittelua.

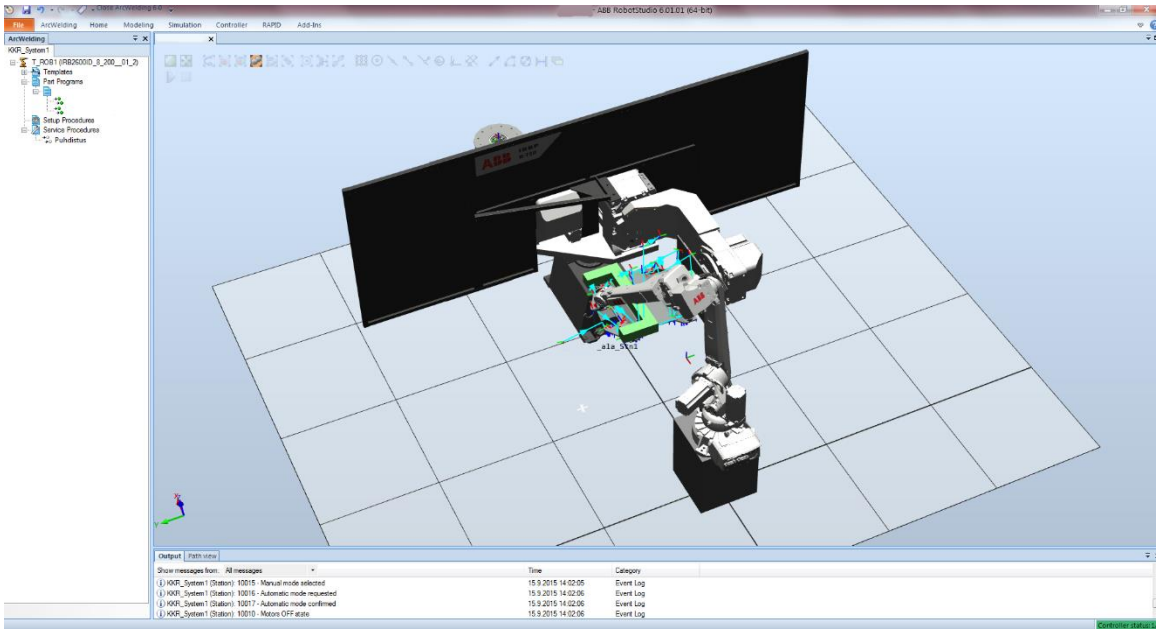
Käsinhitsattaessa eri mallien hitsaukseen kuluva aika vaihtelee paljon hitsaajasta ja mallista riippuen. ”Kellotettaessa” tuotteita huomattiin, että hitsaajien väliset erot yhden tuotteen valmistuksessa saattoivat olla pidempään hitsattavien mallien kohdalla jopa 20 minuuttia. Tämä myös vaikeuttaa ajallisen hyödyn arvioimista, kun pohjapanssareita voi hitsata jopa viisi eri hitsaajaa. Robotisoinnin avulla pystytään myös tasoittamaan käsinhitsaajien välisiä valmistuseroja ja tuotantoa on helpompi suunnitella, kun valmistusajat ovat helpommin arvioitavissa.

Robotisoinnilla saadaan nopeutettua itse hitsausvaiheita, jotka vaativat raskaan pohjapanssarin kääntelyä nosturin avulla sopivaan hitsausasentoon. Vaikka hitsausnopeutta saadaan kasvatettua hieman, jolloin kaariaika lyhenee käsinhitsaukseen verrattuna, niin suurin hyöty tullaan saamaan sivuaikojen lyhentymisen ansiosta. Toinen hyöty robotisoinnille on kapasiteetin vapautuminen käsinhitsauksen puolella, joka on tällä hetkellä työllistetympi kuin robottihitsauksen puoli. Mikäli viimeistely voidaan suorittaa samaan aikaa robotin hitsatessa, saadaan läpimenoaikoja lyhennettyä vielä enemmän, jos välivarastoinnista syntyviä odotusaikoja ei oteta huomioon.

Koska osa hitsattavista osista on plasmaleikkeitä ja tuote lisäksi särmätään, voi osissa olla mittaheittoja, joiden johdosta robottihitsauksessa hyödynnetään railonseurantaa. Panssarit vaativat paljon kääntöjä eri asentoihin ja muutamien panssarien kohdalla riittävän tunkeuman varmistamiseksi ne tulee saada hitsattavaksi jalkoasentoon. Soveltuvia robottihitsausasemia ovat tällöin vain moniakselisten käsittelylaitteiden robottiasemat eli Robo2- tai uusi Robo4-asema. Hitsaustaloudellisesta näkökulmasta Robo4 olisi sopivampi, koska hitsattua pohjapanssaria olisi mahdollista viimeistellä samaan aikaan, kun robotti hitsaa uutta tuotetta. Robo4-asemalla on muutenkin vähemmän tuotteita hitsattavana tällä hetkellä.

Robottiohjelmat on tarkoitus tehdä RobotStudio-ohjelman (kuva 42) avulla. Mikäli ohjelmat tehtäisiin opettamalla ohjelmoimalla, tulisi tuotantoon jopa päivän katkos jokaisen uuden pohjapanssarimallin kohdalla. Etäohjelmoinnin avulla ratojen

ohjelmoinnista aiheutuvat tuotantokatkot saadaan pidettyä arviolta noin muutamassa tunnissa, jos virtuaalitilanne ja todellinen tilanne vastaavat riittävän tarkasti toisiaan. Enemmän aikaa kuluu luultavasti sopivien hitsausparametrien löytämiseen, mutta parametrien haussa voidaan käyttää jo roboteilla olevia parametritaulukoita. Offline-ohjelmoinnin avulla voidaan lisäksi varmistaa, etteivät pohjapanssareille suunniteltavat hitsauskiinnittimet aiheuta ongelmia hitsausratojen ohjelmointien kannalta. Simulointien perusteella valitut pohjapanssarimallit vaikuttaisivat olevan ainakin alustavasti hitsattavissa Robo4-asemalla.



Kuva 42. Pohjapanssarin hitsausohjelman tekoa RobotStudio-ympäristössä.

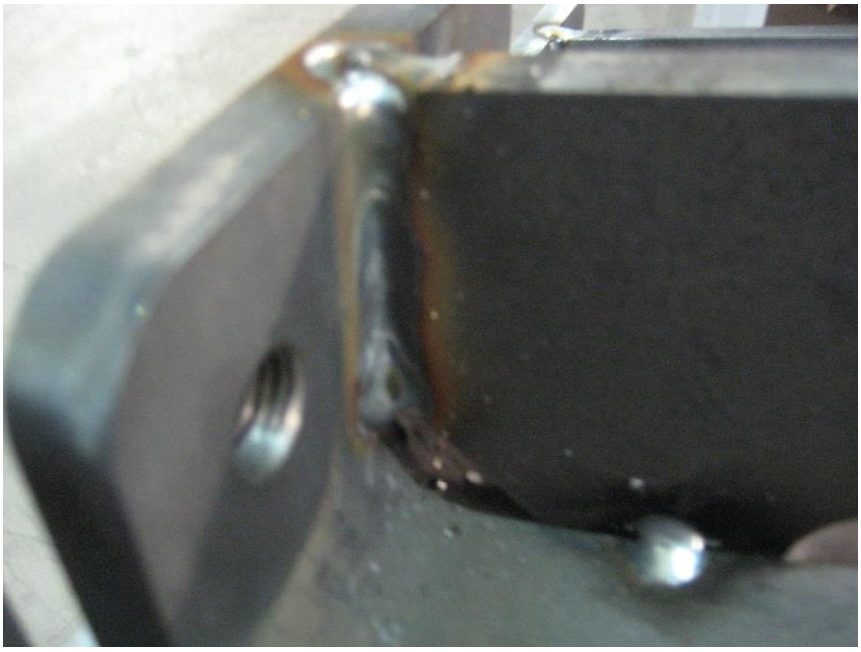
Huonona puolena pohjapanssarien robottihitsauksessa on, että tuote joudutaan silloittamaan erikseen ja muutaman mallin kohdalla lisäksi tuotteisiin joudutaan käsinhitsaamaan osia robottihitsauksen jälkeen, jolloin joudutaan tuotteita siirtelemään aiempaa enemmän ja tämä aiheuttaa myös ylimääräisen varastointivaiheen.

11 CASE: SUOJAKAARI

Toinen tarkasteltava tuote on suojakaari. Metsäkoneisiin lisävarustuksena saatavia kotelon suojakaaria (kuva 43) valmistetaan vuositasolla muutamia satoja ja yleensä tuotteet hitsataan muutaman kymmenen sarjassa. Tuote koostuu kahdesta toisiinsa pienahitseillä hitsattavista osista, jotka on leikattu laserilla. Suojakaaren pohjaosa lisäksi särmätään ja mankeloidaan.

Kuva 43. Metsäkoneen lisävarusteena oleva suojakaari (Erkki Hannula Oy, 2015).

Tuotteet hitsataan Robo1-asemalla kaksi kappaletta kerrallaan. Lähtötilanteessa tuotteet jouduttiin silloittamaan ennen robotilla hitsausta ja lisäksi tuotteen toinen pää jouduttiin pohjaamaan liian suuren ilmaraon (kuva 44) vuoksi. Ilman pohjaamista robotti ei olisi pystynyt hitsaamaan tuotetta. Silloitusvaiheelle ei ollut erillistä silloituskiinnitintä, minkä johdosta silloittaminen oli hidasta ja vei jopa enemmän aikaan kuin itse robottihitsaus.



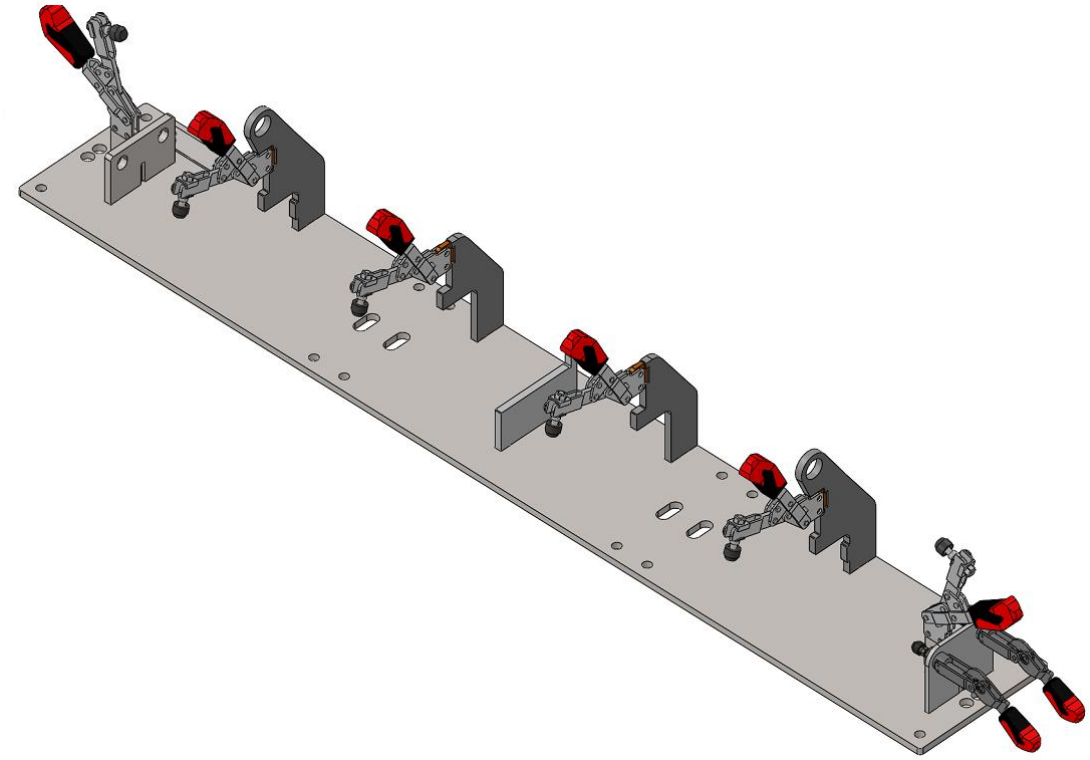
Kuva 44. Suojakaaren toinen pääty pohjataan ennen robottihitsausta suuren ilmaraon vuoksi.

Pääasialliseksi kehittämiskohteeksi muodostuikin silloitusvaiheen lyhentäminen. Aluksi mietittiin erillisen silloituskiinnittimen tekemistä käsinhitsaajalle, mutta lopulta päädyttiin tekemään robotille hitsauskiinnitin, jolla saataisiin poistettua silloitusvaihe kokonaan. Tämä kuitenkin vaati, että suojakaaren toista levyosaa pidennettiin 5 mm, jotta kappaleiden väliin jäävä ilmarako ei hankaloittaisi robottihitsausta.

Suojakaaren hitsauskiinnitintä suunnitellessa haluttiin myös nopeuttaa kiinnittimen vaihtoa ja vähentää sen viemää tilaa. Kuvassa 45 on näkyvissä suojakaaren hitsauskiinnitin suunnitteluvaiheessa. Hitsauskiinnitin saadaan helposti paikoitettua paikoilleen nollapistekiinnittimessä olevien ohjaustappien avulla. Hitsauskiinnittimen toimivuutta robotisointia varten testattiin etäohjelmoinnin avulla ja varmistettiin, etteivät kiinnittimen osat tai pikakiinnittimet tule hitsausratojen tielle.

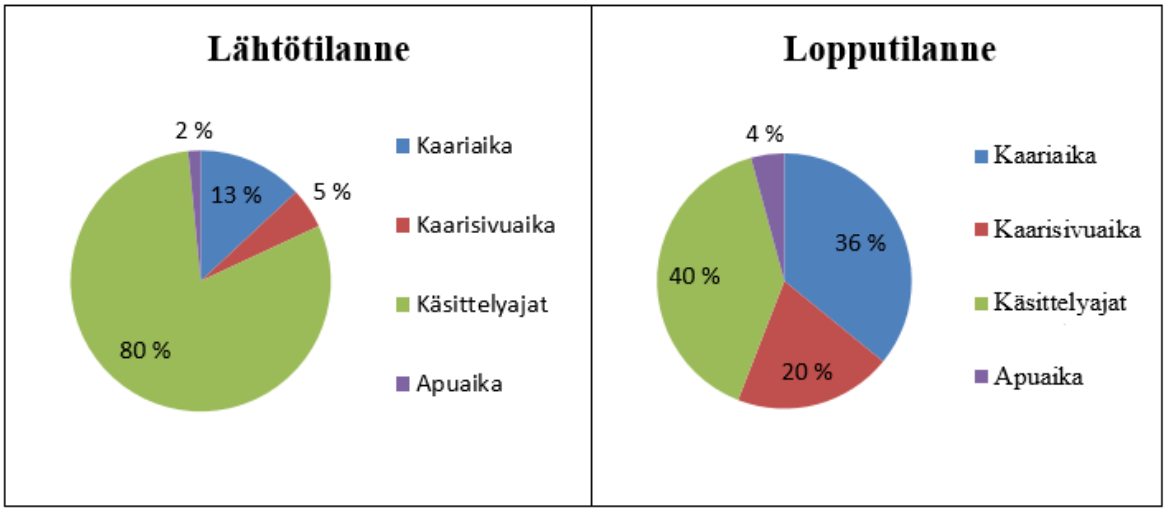
Suojakaaren osat paikoitetaan hitsauskiinnittimessä olevia vasteita vasten ja ne lukitaan paikoilleen pikakiinnittimien avulla. Uudella hitsauskiinnittimellä hitsataan yksi suojakaari kerrallaan. Kahden samanlaisen kiinnittimen asettamisesta rinnakkain ei olisi hyötyä, sillä silloin toisen suojakaaren latauksesta ja irrottamisesta tulisi erittäin vaikeaa. Toisen samanlaisen hitsauskiinnittimen lisäämisestä robotin toisen puolen käsittelypöydälle ei

myöskään saataisi hyötyä, sillä tuotetta ei ehditä ladata, irrottaa ja viimeistellä robotin työkierron aikana.



Kuva 45. Suojakaaren hitsauskiinnitin suunnitteluvaiheessa.

Kuvassa 46 on näkyvissä kappalekohtaiset vaiheaikojen jakautuminen eri vaiheisiin lähtö- ja lopputilanteessa. Lähtötilanteessa tuotteet on silloitettu erillisenä työvaiheena ja silloitetut suojakaaret hitsataan robotilla kaksi kappaletta kerrallaan. Lopputilanteessa suojakaarille ei tule erillistä silloitusvaihetta, vaan osat saadaan paikoitettua suoraan robotin hitsauskiinnittimeen, johon mahtuu hitsattavaksi yksi tuote kerrallaan. Kaarisivuaika sisältää robottiohjelman liikkeet, kappaleen käsittelylaitteen alku- ja loppukäännöt sekä ohjelman lopussa tehtävän kaasuholkin puhdistuksen ja lisäainelanganpään katkaisun. Käsittelyaika sisältää silloituksen, hitsauskiinnittimien asetusajat, robottiohjelman asetuksen ja tarkistuksen, tuotteiden latauksen ja irrotuksen sekä tuotteen viimeistelyn. Apuaika sisältää lavojen siirrot työpisteille, kuittaukset ja muut toimenpiteet, joita ei voida suoraan liittää hitsaustyöhön. Vaiheaikoja käsitellään tässä yhteydessä läpimenoaikana. Läpimenoaikoihin ei ole laskettu mukaan välivarastoinnin odotusaikaa.



Kuva 46. Yhden suojakaaren vaiheajat lähtö- ja lopputilanteessa.

Tuote hitsataan samoilla hitsausparametreilla myös lopputilanteessa, joten kappalekohtaiseen kaariaikaan ei tule muutoksia. Kaarisivuaika kasvaa lopputilanteessa, koska hitsataan vain yksi kappale kerrallaan ja pikakiinnittimistä johtuen robotti joutuu tekemään laajemmat liikkeet robottiradalla. Kappaleiden apuaika on arvioitu molemmissa tilanteissa vakioksi (10 min) ja se jaetaan sarjakoolla, jotta saadaan kappalekohtainen apuaika.

Eniten läpimenoaika lyhenee käsittelyaikojen kautta. Tuotteen lataus- ja irrotusaika sen sijaan pitenee hieman, kun osat paikoitetaan hitsauskiinnittimeen ja mitataan, että kappale on varmasti kohdillaan. Toinen seikka mikä lyhentää käsittelyaikojen osuutta on viimeistelyn suorittaminen robottiohjelman aikana. Samalla saatiin poistettua välivarastointivaihe, kun erillistä silloitusta ei enää tarvitse tehdä. Kuvassa 47 on näkyvissä valmis hitsauskiinnitin hitsaustuotannossa.

Kuva 47. Suojakaarten hitsauskiinnitin tuotantokäytössä.

Ensimmäisten käyttökokemusten perusteella suojakaarten hitsauskiinnitin vaikuttaa toimivan tuotannossa hyvin ja kiinnitin on suhteellisen yksinkertainen käyttää. Osien paikoitus kiinnittimeen vaatii kuitenkin huolellisuutta operaattorilta ja osia saatetaan joutua välillä hiomaan leikkauksen jäljiltä, jolloin läpimenoaika pitenee hieman.

12 CASE: HENKARIT

Kolmantena tarkasteltavana tuotteena olevat henkarit eli metsäkoneen nostopuomin korvakot (kuva 48) ovat yleinen robottihitsauksessa oleva tuote, jota tähän mennessä on hitsattu pääasiassa Robo1:llä. Henkari koostuu aluslevystä ja siihen pienahitsillä ympäri kiinni hitsattavasta holkista. Pienahitsien a-mitat ovat a5:n ja a7:n välillä.

Henkareita on kymmentä eri mallia, joista kahdeksan on peilikuvapareja toisilleen. Kaikkiaan henkareita hitsataan vuositasolla useita satoja kappaleita. Henkareiden kohdalla sarjakoot muutamia kymmeniä, mutta osaa tuotteista hitsataan pareittain, jolloin samaan aikaan hitsauksessa olevien tuotteiden sarjakoot kaksinkertaistuvat.

Kuva 48. Henkarit hitsataan metsäkoneessa kiinni nostopuomiin (John Deere, 2015).

Henkareiden kohdalla tavoiteltiin hitsauksessa kuluvan läpimenoajan lyhentämistä. Mittareina käytettiin läpimenoaikaa, hitsiaineentuottoa ja kaariaikasuhdetta. Eri mallien läpimenoajat ”kellotettiin” ja ryhdyttiin miettimään parhaita keinoja toimintojen tehostamiseksi. ”Kellotusten” yhteydessä huomattiin Robo1-käsiohjaimen näyttämän

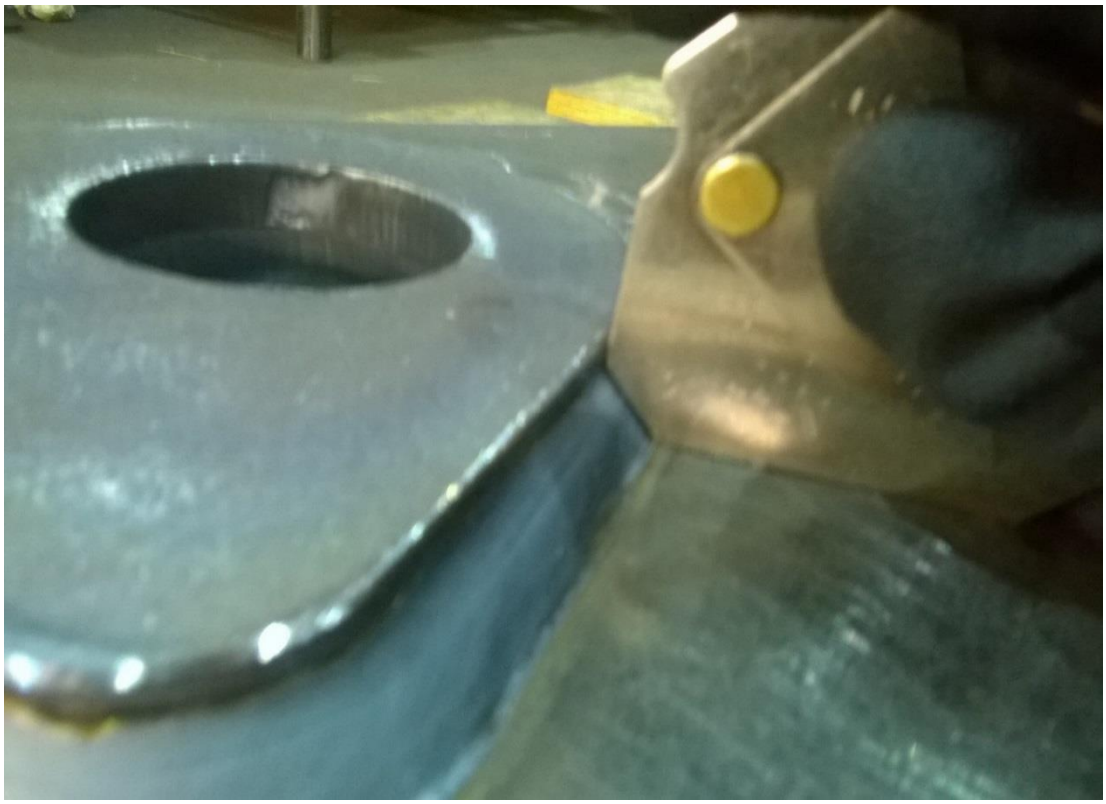
kuljetusnopeuden poikkeavan ”kellotetun” valokaariajan perusteella lasketusta hitsausnopeudesta. Laskelmissa käytettiin kellotettujen aikojen perusteella laskettuja hitsausnopeuksia, jotka on laskettu kaavalla 8 ja lasketut hitsausnopeudet on esitetty taulukossa 4. Neljään henkarimalliin tulee sama a-mitta, mutta kuljetusnopeudet ovat hieman erilaisia johtuen hitsattavien materiaalien aineenpaksuudesta ja kappaleiden koosta. Läpimenoaikoja laskettaessa ei ole huomioitu välivarastointiin kuluvia odotusaikoja.

Taulukko 4. Henkarimallien hitsausnopeudet ja a-mitat.

Nimike	Laskettu hitsausnopeus (mm/s)	a-mitta (mm)
Henkarit 1.1/1.2	5,4	5
Henkarit 2.1/2.2	4,9	6
Henkarit 3.1/3.2	5,2	6
Henkari 4	6,2	6
Henkari 5	4,5	7
Henkarit 6.1/6.2	5,0	6

Tuotteiden eri työvaiheisiin kuluvat läpimenoajat kellotettiin, joita käytettiin vertailukohtana muutoksista saatavan hyödyn arvioinnissa. Apuajat, hitsauskiinnittimien vaihtoajat ja robotin asetusajat on arvioitu alku- ja lopputilanteissa vakioiduksi, ja ajat on jaettu tuotteiden sarjakoolla ja näin saatu selville yksittäisen tuotteen osuusaika. Mekaaniseen oikomiseen kuluva aika on arvioitu jokaisen kohdalla yhtä suureksi.

Hitsausparametrien suhteen ei ole tarkoitus tehdä suuria muutoksia. Henkarien hitsausten a-mitat (kuva 49) ovat työpiirustusten mukaiset ja palkomuoto on hyvä, joten käytössä olevat parametriarvot sopivat henkarien hitsausta varten. Hitsausparametrien optimointia hitsausnopeuden kasvattamiseksi ei todettu muutenkaan järkeväksi, koska valmistusaika ei olisi lyhentynyt muiden työvaiheiden (viimeistely ja kappaleen vaihto) tahtiajan vuoksi.



Kuva 49. Henkarin a-mitan mittaus.

12.1 Henkarien hitsaus lähtötilanteessa

Alkuun huomattiin, että kaikki henkarimallit jouduttiin silloittamaan robottihitsausta varten, mikä lisäsi jokaisen sarjan valmistusaikaa puolesta tunnista ylöspäin mallista ja sarjakoosta riippuen. Robo1:llä hitsattaessa ylimääräistä aikaa kului myös robotin siirtymisiin lineaariradalla, jos hitsattavan kappaleen kiinnittimen paikka olikin puomin päässä. Robotin liikkuminen radalla lisäsi näiden mallien kohdalla 35 s jokaiseen työkiertoon. Lähtötilanteessa myös pareittain hitsattavien henkarien ohjelmiin oli jäänyt ylimääräinen puhdistusajo, joka lisäsi näiden tuotteiden robotin ohjelma-aikaa 20–55 s.

Huomiota kiinnitettiin myös seikkaan, että robotilla hitsattiin henkareita vain yhdellä puolella grillipöytää. Robotin ollessa suorittamassa ohjelmaa operaattori jäi toimettomaksi, kun kappaleen vaihto ja viimeistely tehtiin vasta robottiohjelman päätyttyä.

Lähtötilanteen hitsiaineentuotot ja kaariaikasuhteet on laskettu taulukkoon 5 kaavojen 6 ja 7 perusteella. Hitsiaineen määrä on laskettu a-mitan perusteella kaavoilla 9 ja 10. Laskettaessa todellista hitsiaineentuottoa mukaan on huomioitu kaariaikasuhde, joka on laskettu tuotteen ”kellotuksesta” saatujen tietojen perusteella taulukkoon 5.

Taulukko 5. Hitsiaineentuotot ja kaariaikasuhteet Robo1-asemalla lähtötilanteessa.

Nimike	Hitsiaineen määrä (kg/m)	Hitsaus-nopeus (cm/min)	Hitsiaineen-tuotto (kg/h)	Kaariaika-suhde (%)	Tehollinen hitsiaineentuotto lähtötilanteessa (kg/h)
Henkarit 1.1/1.2	0,196	32,4	3,8	24,39	0,9
Henkarit 2.1/2.2	0,288	29,4	5,1	12,20	0,6
Henkarit 3.1/3.2	0,288	31,2	5,4	15,34	0,8
Henkari 4	0,288	37,2	6,4	12,06	0,8
Henkari 5	0,392	27	6,3	17,49	1,1
Henkarit 6.1/6.2	0,288	30	5,2	25,39	1,3

12.2 Kehitysvaihtoehdot ja niiden toteuttaminen

Henkareiden kohdalla pohdittiin useitakin eri kehittämisvaihtoehtoja, mutta lopulta todettiin parhaaksi ajatukseksi siirtää tuotteet hitsattavaksi uudella robottiasemalla. Välillä saatetaan joutua hitsaamaan henkareita edelleen Robo1-asemalla, joten on hyvä optimoida robottiprosessia myös tällä asemalla.

12.2.1 Robo1-aseman toiminnan optimointi

Robo1:llä kehitysvaihtoehtona pohdittiin samanlaisten kiinnittimien tekemistä toiselle puolelle grilliä, mutta johtuen pitkistä kiinnittimien vaihtoajoista ja melko pienistä sarjakoista johtuen tämä ei olisi lyhentänyt läpimenoaikaa kovinkaan paljoa. Lisäksi hitsauskiinnittimiä varten tarvittavat palkit veisivät paljon säilytystilaa. Samankaltaisiin ajallisiin säästöihin päästiin, kun hitsatut henkarit irrotetaan ja panostetaan uudet tuotteet hitsauskiinnittimeen, käynnistetään uusi työkierto ja viimeistellään tuote uuden työkierron aikana. Lisäksi pareina hitsattujen henkarien välistä poistetaan ylimääräiset puhdistusajot. Hitsausparametreihin ei tehty muutoksia.

Taulukkoon 6 on laskettu uudet kaariaikasuhteet ja näiden perusteella saadut uudet teholliset hitsiaineentuotot Robo1-asemalle laskemalla toimenpiteillä saatavat hyödyt. Kaariaikasuhteet kasvavat mallista riippuen 0,6–2,2 prosenttiyksikköä ja tehollinen

hitsiaineentuotto kasvaa parhaimmillaan 0,2 kg/h ja yhden mallin kohdalla tehollinen hitsiaineentuotto pysyy likimain samana.

Taulukko 6. Uudet kaariaikasuhteet ja teholliset hitsiaineentuotot Robo1-asemassa.

Nimike	Hitsiaineen määrä (kg/m)	Hitsaus-nopeus (cm/min)	Hitsiaineen-tuotto (kg/h)	Kaariaika-suhde (%)	Tehollinen hitsiaineentuotto optimoidussa tilanteessa (kg/h)
Henkarit 1.1/1.2	0,196	32,4	3,8	26,67	1,0
Henkarit 2.1/2.2	0,288	29,4	5,1	14,17	0,7
Henkarit 3.1/3.2	0,288	31,2	5,4	17,90	1,0
Henkari 4	0,288	37,2	6,4	13,22	0,8
Henkari 5	0,392	27	6,3	18,05	1,1
Henkarit 6.1/6.2	0,288	30	5,2	27,23	1,4

12.2.2 Henkarien siirto Robo4-asemalle

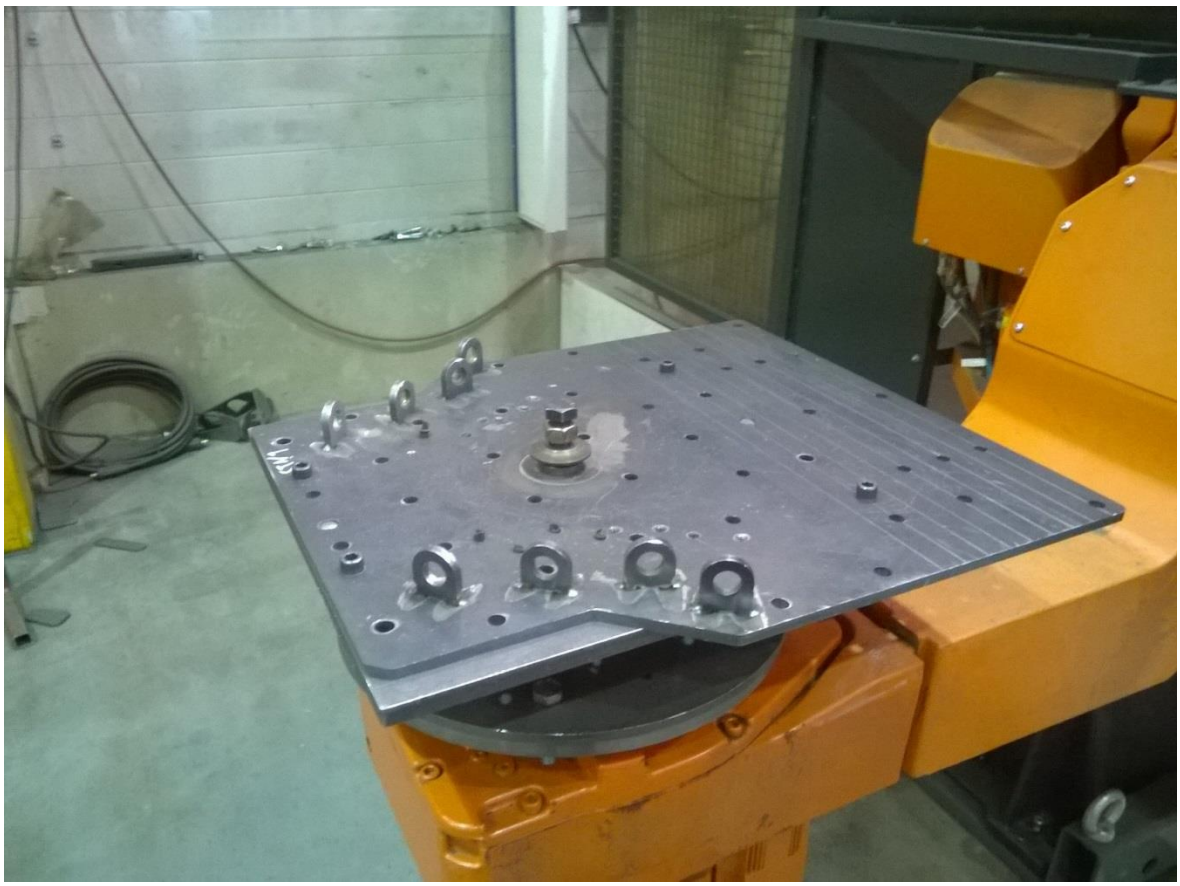
Henkarit päätettiin siirtää Robo4-asemalle, koska menettelyllä saataisiin tuotua uudelle robotille nopeasti paljon tuotteita hitsattavaksi ja pystyttäisiin hyödyntämään molempia puolia 2-puoleisesta L-pöydästä. Operaattori pystyy vaihtamaan ja viimeistelemään tuotteen, kun robotti hitsaa toisella puolella käsittelypöytää toista tuotetta.

Siirrettäessä henkarit hitsattavaksi Robo4-asemalle, päätettiin suunnitella ja valmistaa tuotteille hitsauskiinnittimet, joilla saataisiin poistettua silloitusvaihe kokonaan pois. Samalla saataisiin henkari kerralla valmiiksi, jolloin yksi välivarastointi vaihe jää pois.

Koska henkarit ovat mitoiltaan riittävän lähellä toisiaan, voidaan hyödyntää modulaarisuutta kiinnitinsuunnittelussa. Yhdellä hitsauskiinnittimellä voidaan tehdä kaikki erimalliset henkarit, jolloin säästetään kiinnittimien valmistuskustannuksissa ja kiinnittimien tarvitsema säilytystilan tarve pienenee. Jos tuotantoon tulee useita peräkkäisiä henkarimalleja, hitsauskiinnittimien vaihtoon kuluva pysyy lyhyenä, kun koko kiinnitintä ei tarvitse vaihtaa. Riittää, että vaihdetaan vain muutamia tuotteen paikoitukseen käytettäviä pikakiinnittimiä ja vasteita. Aiempaan verrattuna koko hitsauskiinnitinkin on

nopeampi vaihtaa, kun kiinnitin on aiempaa pienempi ja kevyempi sekä se saadaan paikoitettua nopeasti paikoilleen nollapistekiinnittimen ohjaustappien avulla.

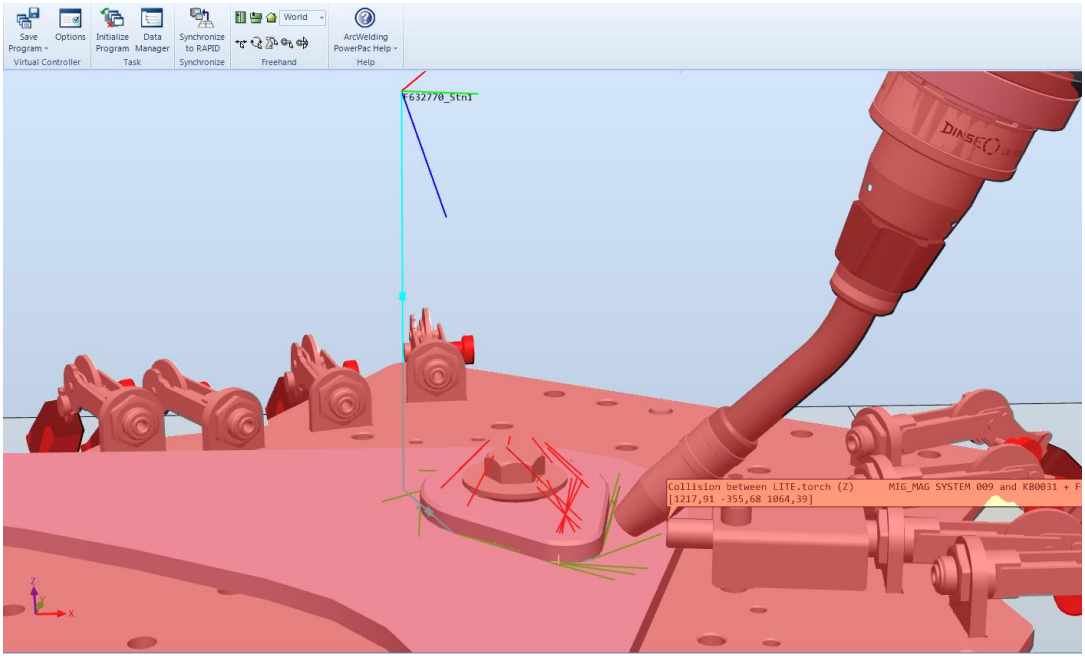
Aluslevy paikoitetaan kiinnittimen asennettavan vasteen avulla kohdilleen ja holkki paikoitetaan oikeaan kohtaan paikoitustangon avulla. Hitsauskiinnittimen (kuva 50) on tarkoitus toimia niin, että aluslevy ja holkki pultataan hitsauksen ajaksi kiinni toisiinsa, jolloin erillistä silloitusta ei tarvita. Kun osat on pultattu kiinni toisiinsa, vapautetaan paikoitustanko pois hitsauksen tieltä. Henkarien kiinnittimiin merkitään selkeästi kummalle puolelle pyörityspöytää hitsauskiinnitin on tarkoitus asentaa, koska kiinnittimissä voi olla hieman eroa keskenään.



Kuva 50. Valmis hitsauskiinnitin tuotantokäytössä.

Henkarimallien hitsausta varten robottiohjelmat tehdään RobotStudio-ohjelmalla. Näin tuotantokatkot saadaan pidettyä lyhempinä, kun kaikkia kymmentä eri ohjelmaa ei tarvitse kokonaan tehdä online-ohjelmointina. Etäohjelmointiohjelman simulaation avulla voidaan myös varmistaa hitsauskiinnittimen toimivuus. Kuvassa 51 näkyy kuinka simulaation

aikana hitsauspää törmää hitsauskiinnittimen paikoitustankoon. Ongelma ratkaistiin viisteyttämällä paikoitustankoja sen verran, että hitsauspää mahtuu hitsaamaan hitsin normaalisti. Etäohjelmalla tehdyn robottiohjelman ja todellisen robotin välinen heitto paikoituspisteiden robottiohjelman kylmäajossa oli alle 5 mm luokkaa. Pieni ero mallien välillä voi johtua kalibrointitarkkuudesta tai hitsauskiinnittimien osa- tai valmistustarkkuudesta. Hitsauskiinnittimiä ei välttämättä saada tehtyä aivan identtiseksi molemmilla puolille valmistusepätarkkuuksista johtuen, joten RobotStudio-ohjelmalla tehty hitsausohjelma kopioidaan molemmille hitsauspöydän puolille ja muokataan sitä tarpeen mukaan.



Kuva 51. Simulaatiossa hitsaussuutin törmäsi paikoitustankoon.

Kappaleen irrotus- ja paikoitusaikaa on vaikea arvioida ennen kuin saadaan enemmän käyttökokemusta hitsauskiinnittimen toiminnasta. Paikoitus vie joidenkin tuotteiden kohdalla aiempaa enemmän aikaa, joten on vaikea arvioida tarkkaan ehditäänkö tuote viimeistellä, irrottaa ja ladata uusi kappale robotin työkierron aikana. Lisäksi robotin tahdissa pysyminen voi sarjan loppupuolella hidastua työn fyysisen kuormittavuuden vuoksi.

Hitsausnopeus ja hitsiaineentuotto ovat pysyneet samana, koska hitsauksessa on käytetty samoja parametriarvoja kuin Robo1-asemalla hitsattaessa. Sen sijaan kaariaikasuhdetta

parannettiin lyhentämällä hitsauksen kaarisivuaikoja ja käsittelyaikoja. Kaariaikasuhde on tässä tapauksessa toimiva mittari lähtötilanteeseen nähden, kun kaariaikaan ei ole tullut muutoksia. Kaariaikasuhteet (taulukko 7) on laskettu arvioimalla toimenpiteistä saatavan hyödyn perusteella.

Taulukko 7. Hitsiaineentuotot ja kaariaikasuhteet Robo4-asemalla.

Nimike	Hitsiaineen määrä (kg/m)	Hitsaus-nopeus (cm/min)	Hitsiai-neen tuotto (kg/h)	Kaariaika-suhde (%)	Tehollinen hitsi-aineentuotto loppu-tilanteessa (kg/h)
Henkarit 1.1/1.2	0,196	32,4	3,8	37,88	1,44
Henkari 2.1/2.2	0,288	29,4	5,1	19,44	0,99
Henkarit 3.1/3.2	0,288	31,2	5,4	29,18	1,58
Henkari 4	0,288	37,2	6,4	21,17	1,35
Henkari 5	0,392	27	6,3	28,52	1,80
Henkari 6.1/6.2	0,288	30	5,2	39,47	2,05

Henkareille laskettiin läpimenoaikojen ja valmistettujen kappalemäärien perusteella vuotuiset valmistusajat. Näiden perusteella saadaan selville kuinka paljon vuotuinen valmistusaika lyhenee, kun siirretään tuotteet Robo1-asemalta hitsattavaksi uudelle asemalle. Siirtämällä tuotteet hitsattavaksi uudella Robo4-asemalle saadaan lähtötilanteeseen verrattuna melko merkittäviä aikasäästöjä. Suurimmat ajalliset säästöt tulivat silloitusvaiheen poistosta ja tuotteen siirtämisestä kahdella puolella hitsattavaksi.

Samat hitsauskiinnittimet käyvät myös Robo1-asemalle, joten tarvittaessa henkareita voidaan hitsata myös Robo1-asemalla. Alkuun kuitenkin henkareita hitsataan Robo4-asemalla, jotta robotista saatava lisäkapasiteetti saadaan heti käyttöön. Tulevaisuudessa Robo4-asemalla hitsattavien tuotteiden määrän kasvaessa voi olla tarpeen siirtää henkarit takaisin Robo1-asemalla hitsattavaksi.

13 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULEVAISUUDEN KEHITTÄMISKOHTEET

Hitsauskiinnittimet ja etäohjelmointi

Koska tuotanto on asiakasohjautuvaa, tulee robottihitsauksen osalta pyrkiä mahdollisimman korkeaan joustavuuteen. KKR Steel Oy:n tapauksessa tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että samojen tuotteiden hitsaus voidaan suorittaa usealla robottiasemalla ja robottien ohjelmoinnit eivät hidasta tuotantoa. Robottien kuormitusta saadaan näin jaettua ja tuotantoon ei tule pullonkauloja, kun tuotteet voidaan hitsata useammalla asemalla.

Käyttöön otettavat hitsauskiinnittimet onkin tarkoitus suunnitella niin, että ne sopivat käytettäväksi usealla hitsausasemalla ilman, että kiinnittimiin tarvitsee tehdä muutoksia. Kaksipuoleisille robottiasemille hitsauskiinnittimiä tehdään kaksin kappalein, jolloin tuotteet voidaan ladata ja viimeistellä samaan aikaan, kun robotti on hitsaamassa toista kappaletta.

Sarjakoot ovat monien tuotteiden kohdalla pieniä ja hitsausajat melko lyhyitä, mistä seuraa, että päivän aikana samalla robotille tulee useita eri tuotteita hitsattavaksi. Työvuoron aikana robotilla voidaan hitsata 2–4 erilaista tuotetta. Tästä syystä hitsauskiinnittimen vaihdon tulisi olla sujuvaa ja nopeaa. Robo1- ja Robo3-asemien kohdalla puomeihin hitsatuissa kiinnittimissä on paikat useille eri tuotteilla, mutta tämä ei takaa, että peräkkäin hitsattavat tuotteet ovat samassa puomissa kiinni. Robo1-aseman kohdalla kiinnittimen vaihtoaika lyheni uudentyyppisillä hitsauskiinnittimillä 4 minuuttia eli noin 33 %. Vuositasolla tästä kertyy satojen minuuttien säästöt.

Mikäli robottiohjelmat voidaan lisäksi tehdä etäohjelmointia hyödyntäen, tuotantokatkokset lyhenevät ja jopa pienien sarjakokojen ohjelmointi voi olla järkevää. Etäohjelmointia voidaan lisäksi käyttää apuna hitsauskiinnittimien suunnittelussa ja robotisointiin sopivien tuotteiden selvittämisessä, kun voidaan varmistaa, että hitsauskiinnittimien osat eivät aiheuta ongelmia esimerkiksi robotin luoksepäästävyyden kanssa ja robotin ulottuvuudet ovat sopivat tuotteen hitsauksen kannalta. Etäohjelmointia voidaan soveltaa myös tarjouslaskelmien tekemiseen.

Etäohjelmoinnissa on kuitenkin huomioitava, että virtuaalisolu ja todellinen hitsaussolu vastaavat toisiaan ja kalibrointi on riittävän tarkka ohjelmointia varten. Tämä korostuu etenkin tilanteissa, joissa liikutaan robotin ulottuvuuksien äärirajoilla. Tällöin hitsaus saattaa onnistua simulaatiossa, mutta tuotantoympäristössä robotin akselit eivät kykenekään suorittamaan tehtyä hitsausohjelmaa. Kaikki etäohjelmoinnista saatava hyöty saattaa hävitä, jos robottioperaattori joutuu tekemään suuria muutoksia robottiohjelmaan. Pienet korjaukset eivät ole vaarallisia, koska hitsausrata tulee kuitenkin tarkistaa ensimmäisellä kerralla kylmäajona.

Robottituotteiden hitsauksen kehittäminen ja Case-tuotteet

Robottisolujen toiminnan tehostamista tutkittiin kolmen Case-esimerkin kautta, joiden kohdalla todettiin olevan tarpeen kehittää toimintaa. Tutkittavien tuotteiden eri vaiheisiin kuluvat ajat kellotettiin ja analysoitiin, ja niiden perusteella tehtiin päätökset toiminnan kehitystoimenpiteistä. Kaksi Case-esimerkeistä (suojakaaret ja henkarit) oli vanhoja robottituotteita, joiden läpimenoaikaa haluttiin lyhentää. Kolmas Case-esimerkki oli puolestaan uusi tuoteryhmä (pohjapanssarit), joka olisi tarkoitus tuoda robotille hitsattavaksi.

Suojakaarien ja henkarien hitsauksien kohdalla työskentelyä hidastaviksi seikoiksi nousivat selkeästi silloitusvaihe sekä tuotteiden lataus ja siihen liittyvä viimeistelyvaihe. Sen sijaan kaariajan lyhentäminen ei näissä tapauksissa olisi järkevää, koska tämä ei sopisi muiden hitsauksen työvaiheiden tahtiaikaan.

Pohjapanssarit tuodaan puolestaan uutena tuotteena robotille ja panssareiden tapauksessa kehittämistoimenpiteet perustuvat robotin käsittelylaitteen ominaisuuksiin, jolloin painavat panssarit saadaan käännettyä nopeasti sopivaan hitsausasentoon. Panssarit vaativat erillisen silloitusvaiheen kaikissa tapauksissa, mutta tuotteita voidaan viimeistellä samaan aikaan, kun robotti hitsaa uutta kappaletta. Case-esimerkkinä käytetyissä pohjapanssareissa sarjakoot ovat melko pieniä, mutta hitsattavaa hitsiä on paljon ja tuotteita menee säännöllisesti joka viikko. Etäohjelmoinnilla tehdyn simuloinnin perusteella näyttäisi siltä, että esimerkkituotteena olevat pohjapanssarit ovat hyvin hitsattavissa Robo4-asemalla.

Läpimenoaikojen ja kaariaikasuhteiden kaltaisten mittarien avulla voidaan hyvin vertailla lähtötilanteen ja lopputilanteen välisiä eroja Case-esimerkkien kohdalla. KKR Steelin Case-tuotteiden kohdalla suurimmat ajalliset säästöt saatiin silloitusvaiheen poistolla ja hyödyntämällä robotin työskentelyaikaa tuotteiden lataukseen ja viimeistelyyn.

Pohjapanssarien kohdalla ajallisen säästön laskeminen on vaikeaa vielä tässä vaiheessa ennen kuin varmistutaan, mitä osia pohjapanssareista joudutaan hitsaamaan vielä käsin ja kuinka kauan silloitusvaiheessa kuluu aikaa. Osaltaan ajallisen hyödyn arvioimista vaikeuttavat käsinhitsaajien väliset suuret vaihtelut tuotteiden valmistusajoissa, jotka voivat olla joidenkin mallien kohdalla jopa kymmeniä minuutteja yhdeltä pohjapanssarilta. Suurimmat ajalliset säästöt tulevat robottihitsaukseen siirryttäessä sivuaikojen lyhenemisen myötä.

Hitsauksen työvaiheiden optimoinnin avulla voidaan saada merkittäviä säästöjä, mutta se vaatii kehityskohteiden tunnistamista ja sopivien mittareiden käyttöä niistä saatavan hyödyn selvittämiseen. Ei riitä, että nopeutetaan yhtä hitsauksen osa-aluetta, jos ei huomioida miten se sopii muiden vaiheiden tahtiaikaan. Esimerkiksi hitsiaineentuoton kasvattamisessa ole juurikaan hyötyä, jos tuotannon seuraavat työvaiheet, kuten viimeistely, eivät voi hyödyntää hitsauksessa säästettyä aikaa. Huomiota tulisi kiinnittää myös oikeanlaisten mittareiden valintaan, sillä väärin valittu mittari ei välttämättä anna oikeaa kuvaa todellisesta tilanteesta.

<u>Uusien tuotteiden vieminen robotille</u>

Robottisolujen toiminnan tehostamisella ei kuitenkaan saavuteta hyötyä, mikäli toimenpiteillä saadun ajallisen säästön tilalle ei saada tuotua uusia hitsattavia tuotteita. Kaikkein helpoiten robotisoitavat tuotteet on jo pääasiassa siirretty hitsattavaksi roboteille, joten uusien tuotteiden robotisointi on monissa tapauksissa haastavampaa ja saatava hyöty ei välttämättä ole yhtä suuri kuin jo joidenkin robottihitsauksessa olevien tuotteiden.

Osaltaan uusien tuotteiden robotisointia vaikeuttaa se, että yritys valmistaa tuotteita alihankintana, jolloin tuotteiden suunnitteluun vaikuttamismahdollisuudet ovat rajalliset. Asiakkaan kanssa on mahdollista keskustella osiin tulevista muutoksista, mutta muutosehdotuksen hyväksymisessä voi kestää pitkänkin aikaa. Muutosehdotuksen

yhteydessä on yleensä pystyttävä osoittamaan muutoksesta saatava hyöty asiakkaalle joko laadun paranemisen tai valmistuskustannusten alenemisen myötä.

Tuotannon kartoituksen perusteella löydettiin 19 tuotetta, jotka voitaisiin tulevaisuudessa viedä robotille. Arvioitaessa tuotteiden sopivuutta robottihitsaukseen pohdittavia asioita olivat muun muassa sarjakoko, vuotuiset valmistusmäärät, hitsattavan hitsin määrä, hitsiliitoksen tyyppi. Näillä tuotteilla saataisiin kasvatettua tuotannon automaatioastetta 5 prosenttiyksikköä.

Tärkeää on huomioida, että jos sama tuote tulee säännöllisesti tuotantoon hitsaukseen, ohjelmointiin kuluvan ajan merkitys vähenee, jolloin pienikään sarjakoko ei nouse esteeksi, koska ohjelmointi tehdään yleensä vain kerran tuotteelle. Pienissä toistuvissa sarjoissa sen sijaan korostuu kuinka helppoa ja nopeaa hitsauskiinnittimien vaihto on kappaleen käsittelylaitteeseen.

Kaikkia kartoitettuja tuotteita varten määritettiin ensisijainen robottiasema, jolla tuote voitaisiin hitsata. Aseman valintaan vaikuttivat eri robottiasemien ominaisuudet tuotteen hitsaukseen ja asemien kuormitus. Valintaan vaikuttavia ominaisuuksia olivat esimerkiksi robottiaseman ulottuvuudet ja käsittelylaitteet, robotin railonseurantamahdollisuudet sekä robottiaseman kapasiteetti. Robo2-aseman suuresta kuormituksesta johtuen uusien tuotteiden viemistä tälle asemalle pyrittiin välttämään.

Toinen keskeinen hyöty uusien tuotteiden viennissä robotille, tehokkuuden parantamisen lisäksi, on robotilla saavutettava laatu. Käsinhitsaaja voi hitsata yhtä hyvälaatuisia tuotteita kuin robottikin, mutta robotilla hitsattavat kappaleet ovat tasalaatuisempia keskenään. Pätevä käsinhitsaaja on välttämätön hitsattaessa vaativia kohteita. Robottihitsauksen osalta yrityksessä on ollut viime vuosina hyvin vähän reklamaatioita. Osittain tähän vaikuttaa se että robottioperaattorit viimeistelevät pääosin itse hitsaamansa tuotteet, jolloin tuotteiden laatuun tulee kiinnitettyä enemmän huomiota. Suurin osa virheistä jääkin kiinni jo ennen kuin tuotteet päätyvät asiakkaalle.

Mikäli uusia tuotteita saadaan riittävästi robottihitsauksen piiriin, voi olla tarpeen siirtyä robottihitsauksessa kahteen vuoroon. Alkuun kuitenkin riittää, jos osa silloitushitsausten

tekemisistä siirretään yksinkertaisillakin tuotteilla enemmän käsinhitsaajien tehtäväksi ja pyritään poistamaan käsinsilloistusvaiheita tuotteista robottien hitsauskiinnittimien avulla.

Jatkokehityssuunnitelmat

Yrityksessä tarkoitus on jatkossakin jatkaa robottituotteiden hitsauksen kehittämistä sekä pyrkiä kasvattamaan tuotannon automaatioastetta löytämällä uusia robottituotteita hitsaukseen. Työssä käytyjen tehostamistoimenpiteiden lisäksi tulevaisuudessa on tarkoitus pohtia uusia keinoja hitsaustuotannon ja erityisesti robottihitsauksen kehittämiseksi. Muutamia näistä ideoista on käyty läpi seuraavissa kappaleissa.

Tällä hetkellä osa robottioperaattorin työajasta kuluu osien etsimiseen varastoista ja valmiiden tuotteiden viemiseen varastoihin, jolloin robotti on poissa tuotantokäytöstä. Tulevaisuudessa harkinnassa olisi erillisen työnjärjestelijän tuominen tuotantoon. Työjärjestelijä toisi hitsattavat kappaleet aseman yhteyteen ja veisi valmiit tuotteet pois. Näin saataisiin lyhennettyä tuotteiden apuaikoja ja robottioperaattori pääsisi aloittamaan seuraavan työn nopeammin. Tulevaisuudessa harkintaa voi tulla myös jonkinlaisen Lean-projektin toteuttaminen tuotannon kehittämisessä.

Yksi mahdollinen kehittämiskohde on Robo2-asemalla hitsattavat suuret kappaleet, joissa robottiohjelmien kestot voivat olla useita kymmeniä minuutteja. Asemalla ei voida suorittaa viimeistelyä robotin työkierron aikana ja tuotteet vaativat erillisen silloitusvaiheen, joten näillä tuotteilla läpimenoajan lyhentämisessä kyseeseen voisi tulla hitsausnopeuden kasvattaminen hitsianeentuottoa kasvattamalla. Tämä tehtäisiin joko optimoimalla hitsausparametreja, käyttämällä paksumpaa lisäainetta tai tehokkaamman hitsausprosessin avulla.

Tarkoituksena on tutkia myös erimallisten hitsauspoltinten käyttömahdollisuuksia roboteissa. Erityyppinen hitsauspoltin voisi mahdollistaa uusien tuotteiden tuonnin hitsausrobotille ja kasvattaa näin robottiasemien käyttöastetta. Hitsauspolttimia on tarkoitus testata ensin RobotStudio-ohjelmalla tuotteiden virtuaalimalleihin, jolloin voidaan selvittää onko erimallisilla polttimilla potentiaalia näiden tuotteiden kohdalla.

14 YHTEENVETO

Robottihitsaus on yksi kilpailukyvyn tärkeimmistä ylläpitäjistä hitsaavassa konepajassa. Yleisesti ottaen länsimaisessa teollisuusmaassa robottihitsauksen avulla pyritään parantamaan joko laatua ja/tai tehostamaan hitsausta. VTT:n kyselytutkimukseen osallistuneista suomalaisista hitsaavista yrityksistä suurimmassa on käytössä automaatio- tai robottihitsausasemia, mutta hitsaustuotannon automaatioaste jää yli puolessa yrityksistä alle 20 %:n.

Teollisuusrobotit ovat moninivelisiä mekaanisia laitteita, joita voidaan uudelleen ohjelmoida työskentelykohteen mukaan. Robotti koostuu tukivarsista, toimilaitteista ja erilaisista komponenteista. Hitsausroboteissa on itse robotin lisäksi hitsauslaitteisto sekä usein jonkinlainen käsittelylaite suurentamassa robotin työskentelyaluetta.

Diplomityön tarkoituksena oli tutkia robottihitsauksen kehittämismahdollisuuksia KKR Steel Oy:n hitsaustuotannossa. Pääasiallisena tutkimuskohteena oli tehostaa jo olemassa olevien robottituotteiden hitsausta sekä löytää uusia robottihitsaukseen soveltuvia tuotteita ja näin nostaa tuotannon automaatioastetta. Lisäksi työssä käsitellään robottihitsauksen laatuasioita, mutta pääpaino työssä on robottihitsauksen tuotannon tehostamisessa.

Työssä käydään läpi erilaisia keinoja, joilla robottihitsausta voidaan tehostaa. Näitä keinoja ovat muun muassa etäohjelmoinnin hyödyntäminen robottien ohjelmoinnissa, robottioperaattorien työskentelytapojen tehostamisen ja hitsauskiinnittimien kehittäminen.

KKR Steel Oy:n hitsaustuotantoa tutkittiin seuraamalla tuotantoa ja ”kellottamalla” tuotteiden valmistusaikoja. Tutkimuksen perusteella kehitettiin yleisesti yrityksen robottihitsaukseen soveltuvia tehostamistoimenpiteitä, joilla tuotteiden valmistusaikoja voitaisiin lyhentää. Kehittämistoimenpiteitä toteutettaessa tulee huomioida tuotteiden eri valmistusvaiheiden tahtiaika, jotta toimenpiteistä saatava hyöty on mahdollisimman suuri.

Olemassa olevien robottituotteiden joukosta valittiin muutamia Case-tuotteita, joiden hitsauksessa havaittiin olevan kehittämistä. Kohdennetuilla kehittämistoimenpiteillä

pystyttiin lyhentämään Case-tuotteiden läpimenoaikoja. Säästöjä saatiin erityisesti erillisen silloitusvaiheen poistolla ja viimeistelyvaiheen kehittämisellä.

Tuotannosta kartoitettiin myös uusia robottihitsaukseen soveltuvia tuotteita. Hitsaustuotannosta löydettiin 19 tuotetta, jotka soveltuisivat robottihitsaukseen. Kriteereinä käytettiin muun muassa sarjakokoa, vuotuisia valmistusmääriä, hitsattavan hitsin määrää ja hitsiliitosten tyyppiä. Jokaiselle suunnitellulle robottituotteelle lisäksi määritettiin ensisijainen robottiasema, missä otettiin huomioon aseman kuormitus ja soveltuvuus tuotteen hitsausta varten.

Uusien suunniteltujen robottituotteiden joukosta valittiin yksi Case-tuoteryhmä eli pohjapanssarit, jonka robotisointia mietittiin tarkemmin. Tuotteiden sarjakoot ovat varsin pieniä, mutta tuotteissa on paljon hitsattavaa ja vuotuiset valmistusmäärät ovat suuret. RobotStudio-ohjelmalla testatuissa simulaatioissa pohjapanssarit vaikuttivat olevan hyvin hitsattavissa yhdellä robottiasemista. Suurimmat hyödyt näiden tuotteiden robottihitsauksesta saataisiin sivuaikojen lyhenemisen kautta.

KKR Steel:n tuotannossa pyritään tulevaisuudessa soveltamaan ja kehittämään työssä läpi käytyjä toimenpiteitä. Uusista tuotannon kehittämiskeinosta harkinnassa on erillisen työjärjestelijän tuominen tuotantoon, jolloin pystyttäisiin lyhentämään tuotteiden apuaikoja. Tarkoitus on myös kasvattaa edelleen tuotannon automaatioastetta uusien robottituotteiden myötä. Robottiasemilla on tarkoitus myös testata erimallisia hitsauspolttimia, mikä voisi mahdollistaa uusien tuotteiden robottihitsauksen.

LÄHTEET

Aalto, H. 2009. Etäohjelmonnin tarkkuus. Hitsaustekniikka-lehti. 6/2009. 44 s.

Aalto, H. 2010. Robottihitsauksen tuottavuuden parantaminen. Hitsaustekniikka-lehti. 5/2010. 31 s.

Aalto, H. & Lylyoja, A. 2005. Robottien etäohjelmointiprojektin toteutus [verkkodokumentti]. [viitattu 12.1.2015]. Saatavilla: http://www.delfoi.com/web/solutions/robotiikka/fi_FI/off-line_1/_files/89121184219595000/default/Robottien%20off-lineohjelmointiprojektin%20toteutus.pdf

Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY – Kirjapainoyksikkö. 309 s.

ABB Oy. 2014. Workpiece positioners, The new generation. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.1.2015]. 1 s. Saatavissa: http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/d9a3e19ec247f225c125779e004e1b4f/$file/Poster%20Workpiece%20positioners%20HR.pdf

AGA. 2013. Suojakaasukäsikirja [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.2.2014]. 50 s. Saatavissa: http://www.industriacenter.fi/cms/tiedostot/tiedostopankki/AGA%20Suojakaasuk%C3%A4sikirja.pdf

Ahola, H. 1988. Automatisoidun kaarihitsauksen huomioonottaminen tuotteen suunnittelussa. Tekninen tiedotus 16/88. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 45 s.

American Welding Society. 1999. Survey of joining, cutting and allied processes. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.12.2014]. 50 s. Saatavissa: www.aws.org/img/weldinghandbook/01.pdf

Barckhoff, J. R. 2006. Total Welding Management. Miami: American Welding Society. 189 s.

Drews, P & Starke, G. 1989. Visual sensing approaches for robotic arc welding. Exploiting robots in arc welded fabrication. 84–93 s.

Erkki Hannula Oy. 2015. John Deere- koneita [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.9.2015]. Saatavissa: http://ehoy.fi/fi/kuvagalleria/john-deere-koneita/53

Hiltunen, E. & Naams, I. 2000. Robottihitsauksen faktat ja fiktiot Suomessa. Hitsaustekniikka. 5/2000. 20–23 s.

Hiltunen, E. 2005. Hitsauksen automatisointimahdollisuuksien huomiointi. [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.1.2015]. 34 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://webd.savonia.fi/projektit/markkinointi/HIT/users/materials/commonmaterial/seminars/Hitsaustekniikkaa_suunnittelijoille/2005-09-27_Hitsauksen_automatisointi_Esa_Hiltunen.pdf

Hiltunen, E. & Purhonen T. 2008. Robottihitsauksen laatu – monen tekijän summa. Hitsaustekniikka-lehti. 4/2008. 33–36 s.

Hiltunen, E., Pietarinen, A. & Mäki, M. 2010. Tuottavuutta ja laatua hitsaustyössä käyttäen apuna käsittelypöytää. Hitsaustekniikka-lehti. 2/2010. 37–40 s.

Holamo, O. & Aalto, H. 2009. Laadun hallinta robottihitsauksessa. Hitsaustekniikka-lehti. 3/2009. 30–31 s.

John Deere. 2015. 1210E IT4 Kuormatraktori. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.1.2015]. Saatavissa: http://www.deere.fi/fi_FI/products/equipment/forwarders/1210e_it4/1210e_it4.page?

Jääskeläinen, E., Solehmainen, K. & Tuunainen. A. 2010. Uudet innovaatiot hitsausautomaatiossa HitSavonia II hankkeen loppuraportti. Savonia-ammattikorkeakoulu. 132 s.

Kah, P., Suoranta, R. & Martikainen, J. 2013. Advanced gas metal arc welding processes. International Journal of Advanced Manufacturing technology, vol 67:1-4. 655–674 s.

Kivioja, K., Niemi, T., Vehkalahti. & Hautamäki, J. 2007. Steelpolis hitsaa yhä lujempaa. Hitsaustekniikka-lehti. 4/2007. 44–45 s.

KKR Steel Oy. 2015. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.1.2015]. Saatavissa: http://www.kkrsteel.fi/fi/etusivu/

Korjala, K. 2007. Hitsauskaasujen tehokas ja taloudellinen käyttö. [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.1.2015]. 53 s. Saatavissa PDF-tiedostana: http://www.woikoski.fi/sites/default/files/Hitsaussuojakaasujen%20tehokas%20ja%20taloudellinen%20k%C3%A4ytt%C3%B6%20KK.PDF

Kuivanen, R. (toim.) 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj/MetalliTekniikka. 188 s.

Lahti, K. 2011. Mekanisoitu hitsaus - Ai, mitä varten?. Hitsaustekniikka-lehti. 2/2011. 2–4 s.

Leino, K. 1991. Hitsauksen mekanisointi - jo ohitettu askelko kohti hitsausautomaatiota?. Hitsaustekniikka-lehti. 1/1991. 4–9 s.

Lempiäinen, J. 2012. Suomen Robotiikkayhdistys ry. Suomen teollisuusrobottitilasto 2012. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.1.2015]. 5 s. Saatavissa PDF-tiedostana: http://www.roboyhd.fi/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=55&Itemid=66

Lepola, P. & Makkonen, M. 2006. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY. 429 s.

Lincoln Electric. Automation Division. 2009. Intelligent robotic arc sensing – A comparison of available technologies. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.1.2015]. Saatavissa: http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Feature-Article/Intelligent-Robotic-Arc-Sensing-%E2%80%93-A-Comparison-of-Available-Technologies/content_id/1345#

Lincoln Electric. 2008. Fixturing for Robotic Welding. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.1.2015]. Saatavissa: http://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/fixturing-robotics-detail.aspx

Lukkari, J. 1999. Esimerkkejä hitsauksen tuottavuuden parantamisesta. Tuottavuutta hitsaukseen. Esab. 27 s.

Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka: Perusteet ja kaarihitsaus. 4. painos. Helsinki: Edita Prima Oy. 292 s.

Lukkari, J. 2005. Alas, Alas, Kustannukset. Hitsausuutiset. Esab. 1/2005. 20 s.

Lukkari, J. 2006. Hitsauskustannukset – työtä, työtä, työtä!. Hitsausuutiset Esab. 1/2006. 8–11 s.

Lukkari, J. 2007. Työkaluja hitsauskoordinoijalle hitsauksen suunnittelua varten. Hitsaustekniikka-lehti. 2/2007. 2–17 s.

Lukkari, J. 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Hitsaustekniikka-lehti. 3/2011. 2–8 s.

Martikainen, J. 2006. Railonseuranta hitsauksessa. Hitsaustekniikan jatkokurssi. Luentomoniste. 23 s.

Martikainen, J. 2012a. Hitsaustekniikan jatkokurssi. Luennot osa, 1: Hitsauksen tuottavuus ja hitsaustuotannon kehittäminen. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2014]. 72 s. Saatavissa PDF-tiedostona: https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk20a0301/materiaali

Martikainen, J. 2012b. Hitsaustekniikan jatkokurssi. Luennot osa, 2: hitsauksen laatu ja laadun tuottotekijät. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2014]. 70 s. Saatavissa PDF-tiedostona: https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk20a0301/materiaali

Martikainen, J. 2013. Hitsauksen laatu – Laadun vaikutus hitsauksen kilpailukykyyn. Hitsaustekniikka-lehti. 3/2013. 3–11 s.

Meuronen, I. 2011. Tuottavuuden parantaminen robottihitsauksella - keinoja kilpailukyvyn kasvattamiseksi. Hitsaustekniikka-lehti. 3/2011. 11 s.

Ovako Oy. 2012. Ovakon terästen hitsaus. [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.1.2015]. 64 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.ovako.com/PageFiles/320/Ovakon_terasten_hitsaus_15724.pdf

Piironen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. Savonia-ammattikorkeakoulu. 65 s. (PDF)

Pires, J. N., Loureiro, A. & Bolmsjö, G. 2006. Welding Robots: Technology, System Issues And Application. Lontoo: Springer. 180s.

Robot welding. 2001. Workpiece fixation and positioning. [verkkodokumentti]. [Viitattu 17.1.2015]. Saatavissa: http://www.robot-welding.com/welding_fixtures.htm

Salkinoja, H. 2010. Hitsauksen automatisoinnin ja mekanisoinnin tason optimointi. Hitsaustekniikka-lehti. 2/2010. 10–13 s.

Salmela, E. 2007. Robottihitsaus kehittyy. Hitsaustekniikka-lehti. 4/2007. 42–43 s.

Savolainen, P. 2009. Laatu ja kustannukset syntyvät tekemällä, eivät tarkastamalla. Hitsaustekniikka-lehti. 3/2009. 19–20 s.

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

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

Stenbacka, N. 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry. 159 s.

Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys. 2004. Hitsauksen materiaalioppi. 1. painos. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys. 295 s.

Valtanen, E. 2008. Tekniikan taulukkokirja. 16. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 1152 s.

VTT. 2008. Suomalaisen hitsaustuotannon kilpailukyky. [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.1.2015]. 43 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www2.vtt.fi/liitetiedostot/muut/VTT_R_06707_08_Sisuhitsi.pdf

VTT. 2006. Staattisesti kuormitettujen hitsausliitosten suunnittelu. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2014]. 74 s. Saatavissa PDF.tiedostona: http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/HitsLiitSuunn_19-7-2006.pdf

Whitter, T. 2014. Best Practices for Robotic Welding. [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.1.2015]. 7 s. Saatavissa PDF.tiedostona: http://sme.org/uploadedFiles/Publications/ME_Magazine/2014/October_2014/October%202014%20f1%20Robots.pdf

Ylönen, U. 2005. Laadunhallinta nostaa konepajan tuottavuutta. Hitsaustekniikka-lehti. 2/2005. 52 s.

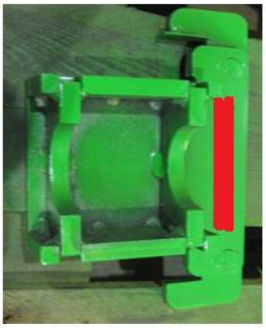
Jigikortti.

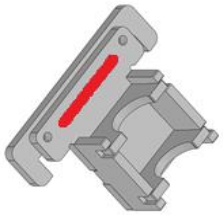
KKR STEEL OY

JIGIKORTTI

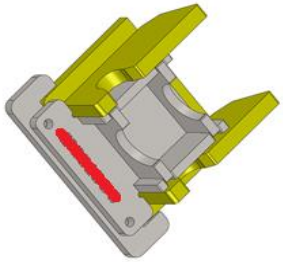
Tunnus / piir. nro:	Tuotekoodi:	Tunnusväri:
[redacted]	[redacted]	Vihreä
Suunnittelija:	Valmistuspvm:	Säilytyspaikka:
[redacted]	30.10.2014	Jigihylly B
Jigissä valmistettu kappale on mitattu ja kappale mitoillaan:		Mittapöytäkirja:
Mittaaja / pvm: Tuotanto / 30.10.2014		ok [x] ei ok [ ]

Kuva jigistä:





Kuva kappaleesta jigissä:



Lomake L7.6.5 / rev01 / SNJ / 29.10.2014

KKR STEEL OY

JIGIKORTTI

Jigiin tehdyt muutokset:	Muutoksen tekijä / pvm:	Jigissä valmistettu kappale mitoillaan:	Pvm:
Lisätty 32045_1.mm sulkale toiselle paikoitusponalle	Tuotanto / 30.10.2014	ok [x] ei ok [ ]	30.10.2014

Huomautuksia:

Lomake L7.6.5 / rev01 / SNJ / 29.10.2014