

Optisen railon seurannan käytettävyys säiliön hitsauksessa

Veli-Niilo Pulkkinen

Opinnäytetyö

| | |
|--|--------------------------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | |
| Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | |
| Työn tekijä(t) Veli-Niilo Pulkkinen | |
| Työn nimi Optisen railon seurannan käytettävyys säiliön hitsauksessa | |
| Päiväys 17.4.2012 | Sivumäärä/Liitteet 37 |
| Ohjaaja(t) Koulutus- ja kehittämispäällikkö Esa Jääskeläinen, projekti-insinööri Aku Tuunainen | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Valmistuspäällikkö Jari Laakso, Stera Technologies Oy | |
| Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin robottihitsauksen optisen railon seurannan hyödyntämistä ohutlevyjen hitsauksessa. Tutkittava asia oli soveltuvuus säiliörakenteiden hitsaukseen. Työ tehtiin osana HitNet -hanketta ja asiakkaana toimi Kaavilla sijaitseva Stera Technologies Oy. Opinnäytetyössä tutkittavana kohteena oli Stera Oy:n valmistama säiliö.</p> <p>Opinnäytetyötä varten haastateltiin Kaavin Stera Oy:n työntekijöitä säiliöiden hitsaamisesta ja samalla tutkittiin tutkittavan säiliön rakennetta ja ongelmakohtia. Itse tutkimus suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoulun hitsauslaboratoriossa. Tutkimuksessa käytettiin Savonian OTC-hitsausrobottia ja Servo-Robotin optista railon seuranta-anturia. Tutkimuksessa etsittiin oikeat parametrit hitsaukseen ja optiseen railon seurantaan, minkä jälkeen tehtiin koehitsaukset säiliöille. Hitsausta varten säiliölle suunniteltiin ja toteutettiin käsittelypöytään kiinnitettävä hitsauskiinnitin.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selvitettyä optisen railon seurannan käytettävyyttä ohutlevyjen hitsauksessa ja yritys sai selvityksen optisen railon seurannan soveltuvuudesta säiliömäisen rakenteen hitsaukseen.</p> | |
| Avainsanat Hitsausrobotti, railon seuranta, hitsausautomaatio, MIG / MAG-hitsaus, ohutlevy | |
| | |

| | | | |
|--|----------------|------------------|----|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering | | | |
| Author(s) Veli-Niilo Pulkkinen | | | |
| Title of Thesis Optical Seam Tracking in Container Welding | | | |
| Date | April 17, 2012 | Pages/Appendices | 37 |
| Supervisor(s) Mr. Esa Jääskeläinen, Education & Development Manager and Mr. Aku Tuunainen, Project Engineer | | | |
| Client Organisation /Partners Mr. Jari Laakso, Manufacturing Manager, Stera Technologies Oy | | | |
| <p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to study the benefits of optical seam tracking in robot welding. The aim was to test how optical seam tracking suits for sheet metal structures and complicated structures. The project was part of HitNet- project and it was commissioned by Stera Technologies Oy from Kaavi. The fuel tank researched was manufactured by Stera Oy. The equipment used in the research was the OTC welding robot of Savonia and the optical seam tracking sensor of the Servo-Robot.</p> <p>Information for this final year project was gathered in Stera Technologies's facilities at Kaavi and the research itself was done in the welding laboratory of Savonia University of Applied Sciences. The main purpose was to find the right parameters for the welding robot and optical seam tracking sensor and to design and build a fixture for the container to be used when welding. After finding the parameter, welding tests were made to the container.</p> <p>As a result of this final year project, the usability of optical seam tracking in sheet metal structures was studied. The client organization was provided with a report about the suitability of optical seam tracking in container structures.</p> | | | |
| <p>Keywords robot welding, MIG / MAG – welding, sheet metal, optical seam tracking</p> | | | |
| | | | |

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on toteutettu osana HitNet- hanketta keväällä 2012. Haluan kiittää opinnäytetyön ohjauksesta koulutus- ja kehittämispäällikköä Esa Jääskeläistä ja projekti-insinööriä Aku Tuunaista sekä projektipäällikköä Jenni Toivasta. Laboratoriomestari Juhani Mikkosta haluan kiittää opastuksesta hitsauksessa.

Kiitokset läheisille ja HitSavonian henkilökunnalle, jotka auttoivat minua opinnäytetyön aikana. Erityiskiitokset Aki Tarkiaiselle, joka auttoi tutkimuksen suorittamisessa.

Kuopiossa 2012

Veli-Niilo Pulkkinen

SISÄLTÖ

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 1.1 | Työn tausta ja tavoitteet..... | 7 |
| 1.2 | HitNetWork-hanke..... | 7 |
| 1.3 | Stera Technologies..... | 7 |
| 2 | HITSAUS | 9 |
| 2.1 | Hitsauksen käsite..... | 9 |
| 2.2 | MIG/MAG – hitsaus | 9 |
| 2.3 | Säiliön hitsauksessa huomioitavat asiat | 11 |
| 3 | HITSAUKSEN ROBOTISOINTI..... | 13 |
| 3.1 | Hitsausrobotit | 13 |
| 3.2 | Hitsauksen robotisoinnin vaatimukset | 15 |
| 3.3 | Robotisoinnin tuomat edut..... | 15 |
| 3.4 | Tulevaisuuden näkymä | 16 |
| 4 | SÄILIÖN HITSAUSKIINNITTIMEN SUUNNITTELU | 17 |
| 4.1 | Hitsauskiinnittimelle asetetut vaatimukset | 17 |
| 4.2 | Hitsauskiinnittimen suunnittelu..... | 18 |
| 5 | RAILONSEURANTA AUTOMATISOIDUSSA HITSAUKSESSA | 20 |
| 6 | OPTINEN RAILONSEURANTA JA SÄILIÖN HITSAUS | 25 |
| 6.1 | Tutkimuksessa käytetty laitteisto | 25 |
| 6.2 | Esivalmistelut..... | 26 |
| 6.3 | Railon seurannan ohjelmointi | 27 |
| 6.4 | ADAP-taulukon rakentaminen..... | 29 |
| 6.5 | Ulottuvuuden tarkastelu..... | 30 |
| 6.6 | Säiliön hitsaaminen | 31 |
| 7 | TULOKSET | 33 |
| 8 | PÄÄTELMÄT | 35 |
| | LÄHTEET | 37 |

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Kaavilla sijaitsevan Stera Technologies Oy:n robottihitsaussolua. Stera Oy valmistaa alihankintana polttoaine- ja hydrauliiikkasäiliöitä ja tutkittavana oli yksi säiliön malleista. Suurin osa säiliön malleista hitsataan robotilla, mutta muutamat vaativat säiliöt hitsataan vielä käsin. Työssä selvitetään, voidaanko käsin tehtävä hitsaus korvata kokonaan robottihitsauksella ja parantaa robotilla hitsattavien säiliöiden hitsausta. Robottihitsauksessa tutkittiin optisen railon seurannan käyttämistä. Tavoitteena on tutkia optisen railon seurannan soveltuvuutta säiliöiden robottihitsaukseen sekä sitä, minkälaisia muutoksia onnistunut työ vaatisi yrityksen robottisoluun tai säiliön rakenteeseen.

1.2 HitNetWork-hanke

Tämä opinnäytetyö on osa Savonia-ammattikorkeakoulun HitNetWork-hanketta. HitNetWork-hanke on osa suurempaa HitNet-hanketta, jota toteutetaan yhdessä Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa. Lappeenrannan teknillisen yliopiston HitNetGlobal-hankkeen päätavoitteena on hitsaavan verkon hankintatoimen kehittäminen ja Savonia-ammattikorkeakoulun HitNetWork-hankkeen tavoite on hitsaustoimintaketjun tehokkuuden ja laadun parantaminen. (Toivanen & Pirinen 2010)

Savonia-amk pyrkii hankkeellansa tehostamaan Pohjois-Savon yritysten ja yritysverkon toimintaa. Hankkeessa käsitellään hitsaavan tuotannon tehostamista koko toimitusketjussa. Hitsauksen tehostamisella saavutetaan kustannussäästöjä ja parannetaan hitsauksen laatua. Hankkeen tavoitteena on rakentaa toimintamalli hitsaavan tuotannon tehokkuuden ja laadun parantamiseen verkostomaisessa toimintamallissa. (Toivanen & Pirinen 2010)

1.3 Stera Technologies

Kaavilla sijaitseva Stera Oy on osa suurempaa Stera Technologies -konsernia. Alun perin Kaavin Stera Oy tunnettiin nimellä Levyosa Oy, mutta vuonna 2007 Levyosa Oy, Elektromet Yhtiöt Oy, Hihra Oy, Aumec Systems Oy ja Beertekno Oy yhdistyivät Stera Technologies Oy:ksi. Nykyään konsernilla on yhteensä 60 000 m² tuotantotilaa ja 9 teh-

dasta. Suomessa tehtaot sijaitsevat Turussa, Kaarinassa, Paimiossa, Forssassa, Tammelassa ja Kaavilla. Konserni omistaa tehtaita myös Viron Saussa ja Intian Chennaisissa. Konserni työllistää tällä hetkellä 550 ihmistä.

Konsernin päätoimintana on valmistaa alihankintana erilaisia raskaiden teräsrakenteiden, vaativien ohutlevymekaniikka- sekä sähkö- ja elektroniikkatuotteiden osia ja kokonaisuuksia. Konsernin omia tuotteita ovat erilaiset sähkö- ja elektroniset laitekaapit.

Kaavilla sijaitsevan Stera Oy valmistaa päätoimena erilaisia levytyöosia. Yhtenä tuotteena yritys valmistaa alihankintana polttoaine- ja hydraulikkasäiliöitä. Tässä työssä tutkittiin yhtä polttoainesäiliön malleista. (Stera Technologies)

2 HITS AUS

Hitsauksen merkitys teollisuudessa oli alun perin toimia apuna pelkästään korjaustöissä, mutta hitsaus on siitä kasvanut yhdeksi teollisuuden tärkeimmäksi valmistusmenetelmäksi. Nykyään melkein kaikki metallista tehty on jollain tavalla hitsattu. Hitsauksen merkitys teollisuudessa kasvaakin koko ajan tekniikan kehittyessä. Kasvun perustana voidaan pitää hitsauksen taloudellisuutta ja tuottavuutta muihin kiinnitysmenetelmiin nähden. Hyvin suunniteltu hitsaus on aina kustannustehokkaampi kiinnitysratkaisu kuin niitatut tai pultatut kokoonpanot. (Cary & Helzer 2005, 1,15.)

2.1 Hitsauksen käsite

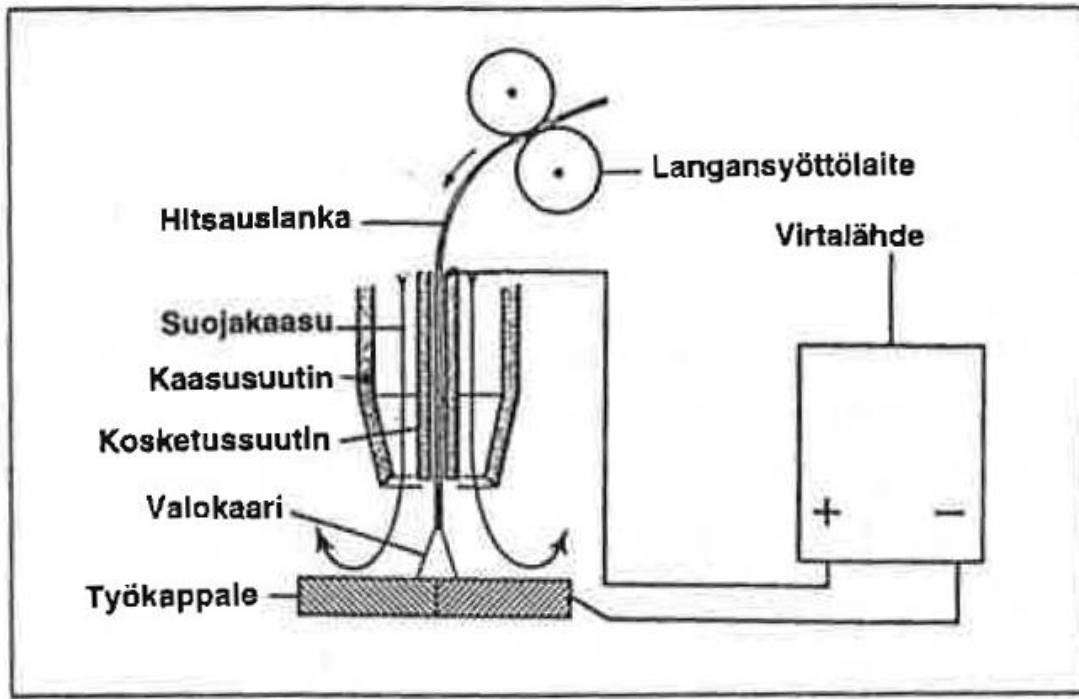
Standardia SFS 3035 mukaisesti hitsauksella tarkoitetaan ”*osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden*” (Standardi SFS 3035). Hitsauksessa liitos muodostuu siten, että liitoskohtaa kuumennetaan sulatilaan, jonka jälkeen pinnat sulavat yhteen muodostaen yhtenäisen kappaleen. Hitsaus voidaan toteuttaa ilman lisäainetta tai lisäaineen kanssa. Ensimmäisiä hitsattuja kappaleita on toteutettu jo vuonna 5000 eKr. Silloin hitsaukset toteutettiin juottamalla. Toisin kuin hitsauksessa, juottamisessa vain lisäaine sulaa ja liittää kappaleet yhteen. Nykyisen sulahitsauksen historia ulottuu 1800-luvulle ja hitsausmenetelmien, kuten MIG- ja TIG-hitsauksen, historia ulottuu 1940-luvulle. (Lukkari 1997, 11 – 14.)

2.2 MIG/MAG – hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on metallikaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välissä suojakaasun ympäröimänä. Hitsauksen aikana perusaine sulaa ja hitsauslangan kärjestä metalli siirtyy sulapisaroina hitsisulaan. Sulan jäähmettyessä paikalle muodostuu kiinteä kokonaisuus. Kuvassa 1 on MIG/MAG–hitsauksen laitteistorakenne. MIG/MAG-hitsaus on teollisuuden yleisin hitsausmenetelmä ja menetelmän etuja ovat hyvä tuottavuus, tunkeuman säädettävyys virran avulla ja lisäaineen edullisuus. Lisäksi MIG/MAG-hitsauksella voidaan hitsata kaikissa asennoissa.

MIG (Metal- arc Inert Gas) -hitsauksessa suojakaasuna käytetään reagoimatonta eli passiivista kaasua, joka ei reagoi hitsattavien aineiden kanssa. Inerttiä kaasua käytetään alumiinin, kuparin ja titaanin hitsaukseen ja suojakaasuina käytetään jalokaasuja.

MAG-hitsauksessa käytetään aktiivista hitsattaviin aineisiin reagoivaa suojakaasua, kuten argonin ja hiilidioksidin kaasuseosta tai argonin ja hapen kaasuseosta. MAG-hitsauksen käyttökohteina ovat teräkset. Näistä kahdesta hitsaustyyppistä MAG-hitsaus on yleisempi. (Lukkari, 1997, 159 – 160; Lepola & Makkonen, 2006, 103 - 104)



KUVA 1. Mig/Mag-hitsaus (Lukkari 1997)

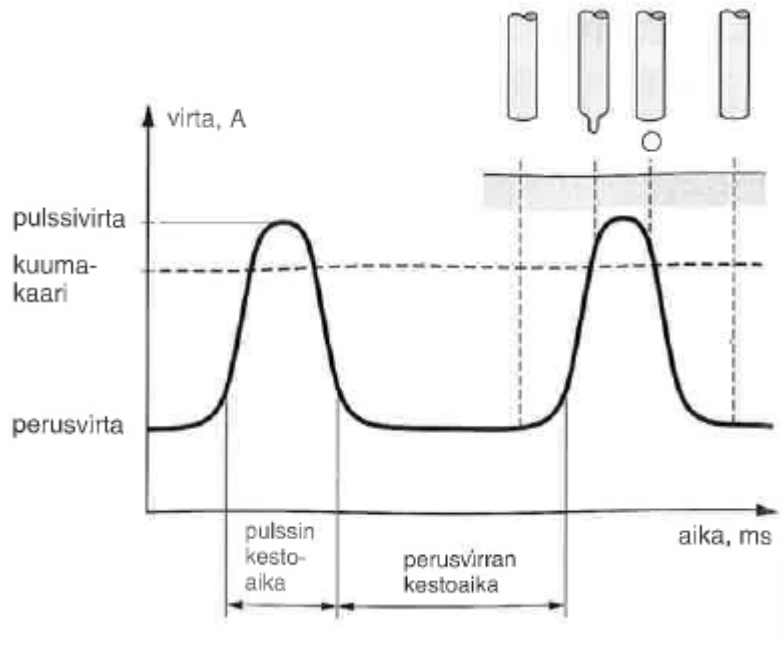
MIG/MAG-hitsauksen erikoissovellus on pulssihitsaus. Pulssihitsauksessa lisäaineen siirtyminen toteutetaan pulssivirran avulla. Pulssihitsauksessa perusvirran päälle syötetään virtapulsseja suurella taajuudella väliltä 20 Hz – 400 Hz. Pulssit saa aikaan kuumakaaren tapaisen suihkumaisen aineen siirtymän. Perusvirran tehtävänä on ylläpitää langan pään ja hitsisulan sulaa ja virtapulssin tehtävänä on muuttaa sula langan pää pisaraksi (kuva 2.). Pinch-voima irrottaa pisaran, joka sinkoutuu hitsisulaan. Pisaran sinkoutumisen jälkeen virta pienenee takaisin perusvirran tasolle, kunnes seuraava virtapulssi tulee. Pulssihitsausta käytetään alumiiniin ja ohuiden teräslevyjen hitsauksessa.

Pulssihitsauksen etuja ovat:

- suurempi hitsausnopeus ja hitsiaineentuotto verrattuna lyhytkaarhitsaukseen
- pienempi hitsausenergia ja vetelyt verrattuna kuumakaarihitsaukseen
- vähemmän roiskeita
- parempi hitsin ulkonäkö
- Helpompi hitsaus vaikeasti hitsattavilla lisäaineilla.

Terästen hitsauksessa pulssihitsauksen edut ilmenevät ohuiden ainevahvuuksien hitsauksessa, asentohitsauksessa ja ruostumattomien teräksien hitsauksessa.

(Lukkari 1997, 171 – 172.)



KUVA 2. Lisäaineen siirtyminen pulssihitsauksessa (Lepola & Makkonen 2005, 20)

2.3 Säiliön hitsauksessa huomioitavat asiat

Monimutkaisen muotoilun takia säiliössä on yli 40 hitsattavaa hitsiä ja hitsausta toteuttaessa tulee ottaa huomioon monenlaisia asioita. Hitsauksen aikana ja hitsauksen jälkeen hitsattavaan kappaleeseen kohdistuu runsaasti jännityksiä, jotka pyrkivät vapautumaan. Tämä aiheuttaa yleensä muodonmuutoksia hitsattavassa kappaleessa. Säiliötä hitsattaessa vaarana on, että jännitykset repivät auki silloitetut hitsausrailot. Tällöin hitsausprosessia ei voida viedä loppuun asti ilman korjauksia.

Hitsien hitsausjärjestyksellä voidaan minimoida jännityksien aiheuttamia muodonmuutoksia. Säiliön hitsausjärjestystä suunniteltaessa pyrittiin hitsaamaan säiliön lyhyet hitsit ensimmäisenä ja jättämään pisimmät hitsit viimeiseksi. Pitkien hitsien sijoittuminen säiliön vastakkaisille puolille, otettiin tämä huomioon hitsaamalla nämä hitsit peräkkäin.

Säiliön rakenteessa useat hitsit ovat ulkoreunahitsejä. Hitsattaessa ulkoreunahitsejä ongelmana on läpipalamisen riski ja hitsisulan hallittavuus. Läpipalaminen kyettiin estämään kääntämällä hitsattavat hitsit pieneen alamäkeen hitsauksen ajaksi ja laittamalla poltin leveään levitysliikkeeseen. Hitsattaessa alamäki-asennossa hitsisulan liike on enemmän polttimen liikkeen suuntainen. Ongelmana alamäki-asennossa on hitsisulan karkaaminen vyörymäksi, joka pyrkii liikkumaan hitsauslangan edelle ja vyörymään raiilon ulkopuolelle. Vyörymä pyrittiin estämään kääntämällä poltin vetävään asentoon, jol-


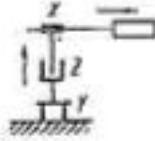


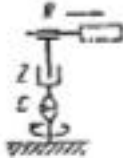


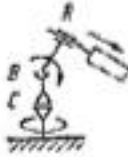


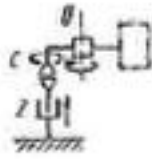


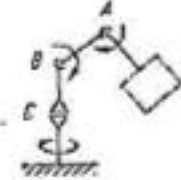


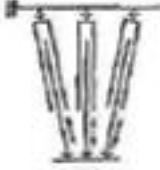

loin hitsauslangan syöttö on hitsisulan vyörymistä vastaan ja jarruttaa hitsisulan etenemistä.

3 HITSUKSEN ROBOTISOINTI

Hitsausrobottien historia teollisuudessa ulottuu 1970-luvulle, jolloin hitsausrobotteja ruvettiin käyttämään tuotannossa. 1980-luvulla hitsausrobottien määrä kasvoi runsaasti autoteollisuuden käyttäessä robotteja pistehitsaukseen. Nykypäivään mennessä hitsausrobottien määrä on moninkertaistunut automaation lisääntyessä tuotannossa. Vaikka automaatiohitsauksen edut ovat olleet tiedossa monia vuosia, muutos manuaali-hitsauksesta robotisoituun hitsaukseen on ollut hitaampaa kuin muualla robotisointialueella. Syy tähän on hitsausprosessin monimutkaisuus verrattuna toisiin robotisovelluksiin. Lisäksi muutosta jarruttaa mielenkiinnon puute siirtyä automatisoituun hitsaukseen. Tuotteiden hitsaus voidaan silti toteuttaa manuaalisesti tai mekaanisesti, joten aina ei nähdä tarvetta siirtyä automatisoituun hitsaukseen. (Cary & Helzer 2005, 289, 313.)

3.1 Hitsausrobotit

Robot institute of America määrittelee teollisuusrobotin seuraavanlaisesti: *”Robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu ohjelmoitavilla liikkeillä liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita.”* [Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999]

| Nimitys pääakselien mukaan | Rakenne | Kinemaattinen kaavio | Työalue |
|-------------------------------|---|---|--|
| Suorakulmainen robotti |  |  |  |
| Sylinterirobotti |  |  |  |
| Napa-koordinaatisto-robotti |  |  |  |
| Scara-robotti |  |  |  |
| Kiertyvänivelinen robotti |  |  |  |
| Rinnakkaisrakenteinen robotti |  |  |  |

KUVA 3. Yleisimmät robottityypit (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999)

Kuvassa 3 olevista roboteista hitsaukseen yleisin on kiertyvänivelinen robotti, jossa on kuusi vapausakselia. Vapausakselien monilukuinen määrä antaa robotille hyvän ulottuvuuden sekä mahdollisuuden asettaa työkalun tai poltin mihin tahansa asentoon. Toisaalta suuri ulottuvuus rajoittaa robotin nostokykyä, mikä ei tosin ole ongelmana puhut-

taessa hitsausrobotista. Normaaliin hitsausrobotin rakenteeseen kuuluu työkalu, käsi-varsi, ohjausjärjestelmä sekä oheislaitteet. Laadun ja tuottavuuden takia hitsausrobotin toistotarkkuus eli kyky palata aikaisemmin ohjelmoituun pisteeseen, tulisi olla $\pm 0,1$ mm. Robotin tulisi myös pyrkiä pitämään polttimen kuljetusnopeus ja asento samana koko operaation ajan. (Suomen Robotiikkayhdistys Ry 1999, 12 – 25.)

Yleisesti hitsausrobotin apuvälineenä on kappaleenkäsittelypöytä, jonka tehtävänä on liikutella ja pyöritellä hitsattava kappale robotille hitsauksen kannalta otolliseen asentoon. Kappaleenkäsittelypöydän kantokyky voi vaihdella kymmenistä kiloista aina 150 tonniin. Kappaleenkäsittelypöydät ovat yleensä kaksiakselisia, joista toinen akseli määrää pöydän kulman robottiin nähden ja toinen akseli kappaleen pyöryksen. Automaatiossa käsittelypöydälle asetetut vaatimukset eroavat mekanisoinnin vaatimuksista siten, että toistotarkkuus tulee olla robottihitsauksessa tarkempi, jotta robotti pystyisi onnistuneesti hitsaamaan kappaleen. (Cary & Helzer 2005, 296 – 302.)

3.2 Hitsauksen robotisoinnin vaatimukset

Automatisoidun hitsauksen suurin ongelma on kyvyttömyys kompensoida muutoksia muissa kuin yksinkertaisimmissa hitseissä. Tämä ei ole ongelmana käsin hitsauksessa, sillä pätevä hitsaaja osaa kompensoida hitsattavan kohteen muutokset ja tuottaa hyvälaatuista hitsiä. Etuna juuri manuaalihitsauksessa on osien valmistukseen ja rakenteen muutokseen suotava suurempi toleranssi. Robottihitsaukseen siirtyessä nämä asiat on otettava huomioon. Hitsattavien tuotteiden esivalmistuksessa on pyrittävä parantamaan laatua, jotta tuotteiden rakenteissa olisi mahdollisimman vähän eroavaisuuksia. Toinen mahdollisuus välttää ongelmia rakenteiden eroavaisuuksissa on hyödyntää laitteistoa, joka huomioi hitsausrailojen muotojen vaihtelun ja tekee muutokset hitsausparametreihin. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan tätä jälkimmäistä mahdollisuutta. (Cary & Helzer 2005, 289 – 290.)

3.3 Robotisoinnin tuomat edut

Hitsauksen robotisoinnilla saadaan hitsausprosessiin tuotua runsaasti etuja. Robotisoinnin suurin etu on tuottavuuden lisääntyminen hitsiaineentuoton ja hitsausnopeuden kautta. Tämän avulla voidaan pitää kustannuskontrolli ennustettavan hitsausajan takia. Laa-

dullisesti robotti pystyy tuottamaan käsin hitsaukseen verrattuna jatkuvasti hyvää, tasaista laatua. Tällöin tuotteiden laadun yhtenäisyys paranee. Robotin käyttämiseen tarvittavan operaattorin taidon tarve on minimaalinen ja käytön opettamisen tarve on vähäinen. Robotisoinnilla tuodaan myös operaattorille työturvallisuusetuja, koska operaattorin ei tarvitse olla hitsausprosessissa läsnä ja operaattori ei näin altistu hitsauksen haittavaikutuksille. (Cary & Helzer 2005, 289.)

3.4 Tulevaisuuden näkymä

Automaation ja robottien määrä tuotannossa kasvaa jatkuvasti. Tämä johtuu yksinkertaisesti halusta saada jatkuvasti luotua tehokkaampaa tuotantoa. Robottien laajentuva kyky toimia erilaisissa tehtävissä, sekä robottien investointikulujen pienentyminen ovat edesauttaneet robottien hankkimista teollisuuteen. Robottien käyttöliittymiä yksinkertaistetaan jatkuvasti ja robottien kykyä kommunikoida muiden tuotantolaitteiden kanssa kehitetään jatkuvasti, mikä lisää robottien joustavuutta tuotannossa. Koska viime vuosikymmenien pääkehitys on keskittynyt lähinnä robottien rakenteen parantamiseen ja kevyempien ja tehokkaampien servomoottorien kehittämiseen, on konenäön kehityksen merkitys kasvanut jatkuvasti. Tulevaisuudessa robotin paremmat tunnistussensorit ja niihin liittyvä tekoäly ovat tärkeitä tekijöitä, joista syntyy uudet avaintavoitteet automaation kasvuun. (Pinto 2008; RobotWorx 2012)

4 SÄILIÖN HITSAUSKIINNITTIMEN SUUNNITTELU

Hitsauskiinnittimen tehtävänä on toimia hitsauksessa apuna tuotteiden mitta- ja muoto-tarkkuuksien saavuttamiseksi sekä helpottaa osien paikannusta. Käsinhitsauksessa hitsauskiinnitintä hyödynnetään sarjavalmistuksissa, mutta usein kiinnittimet toimivat apuvälineinä silloituksen avustamiseksi.

Robottihitsauksessa taas hitsauskiinnitin on yksi oleellisin hitsauslaitteiston osa. Robot-tihitsauksessa hitsauskiinnittimen tarkoituksena on pitää kaikki hitsattavat osat paikoil-laan koko hitsausprosessin ajan. Tämän takia hitsauskiinnitin tulee suunnitella sekä valmistaa hyvin, jotta hitsauksen lopputulos olisi onnistunut.

Hitsauskiinnittimien suunnittelu ja valmistaminen aiheuttavat kulujen kasvamista ja nos-tattavat samalla robottihitsauksen valmistussarjan kustannuksia valmistusmäärän pie-nentyessä. Kustannuksia pystytään vähentämään, jos yhtä hitsauskiinnitintä voidaan soveltaa useammalle tuotteelle. (Metalliliiton keskusliitto 1987, 3 - 10.)

4.1 Hitsauskiinnittimelle asetetut vaatimukset

Robottihitsauksen osalta hitsauskiinnittimelle tulee asettaa seuraavanlaisia vaatimuksia:

- 1) robotti pystyy hitsaamaan kaikki tuotteen hitsit
- 2) kappaleen sijainti on hitsien kannalta robotin ulottuvissa
- 3) hitsauksen paluuvirran reitti on oltava varma
- 4) hitsauskiinnitin ei aiheuta robotille turhia liikkeitä
- 5) hitsausrailojen sijainti on oikea
- 6) hitsattu tuote on halutuissa toleransseissa
- 7) edulliset hitsausasennot
- 8) hitsattava tuote tai hitsattavat osat voidaan asettaa kiinnittimeen helposti ja val-mis tuote saadaan pois ongelmitta.

Kaikkia kiinnittimen hyviä ominaisuuksia ei aina voida toteuttaa. Joskus tuotteen raken-ne vaatii monimutkaisen hitsauskiinnittimen, joka hankaloittaa hitsien luoksepäästävyyt-tä. Tuotteen rakenne voi vaikuttaa myös robotin liikeratoihin, eikä aina voida välttää väistöliikkeitä. Hitsauskiinnitintä suunnitellessa onkin mietittävä, mitä ominaisuuksia pi-detään tärkeimpinä ja lähteä suunnittelemaan näiden pohjalta. (Metalliliiton keskusliitto 1987, 3 – 10.)

4.2 Hitsauskiinnittimen suunnittelu

Hitsauskiinnittimen tarkoituksena oli, että kaikki tai suurin osa hitseistä pystyttäisiin hitsaamaan pelkästään käsittelypöytää käyttämällä. Tällöin minimoidaan kaikki ylimääräinen kappaleen käsittely ja vähennetään käsin hitsattavien hitsien määrää. Säiliön hitsauskiinnittimen suunnittelussa tuli ottaa huomioon robotin hitsaukseen vaatima tilan tarve sekä optinen railon seurannan aiheuttama yhden vapausakselin menetys. Tämän takia hitsauskiinnittimen tuli olla mahdollisimman yksinkertainen ja kiinnityspisteitä mahdollisimman vähän. Koska säiliö oli kevyt ja valmiiksi silloitettu, voitiin säiliö kiinnittää yhdestä kiinnityskohdasta (kuva 5). Yhden kiinnityksen avulla mahdollistettiin hitsausrobotin hyvä luoksepäästävyys ja liikkumatila. Hitsauskiinnitin kiinnitettiin säiliöön hyödyntämällä säiliössä valmiiksi olevia reikiä (kuva 6). Kiinnityksessä käytettiin pultteja.

Kiinnittimen osat leikattiin aihiolevystä ja kokoonpantiin hitsaamalla. Ainevahvuudeksi valittiin 10 millimetriä, koska pyrittiin varmistamaan kiinnittimen jäykkyys säiliötä kannatella. Hitsauskiinnitin kiinnitettiin robotin käsittelypöytään hyödyntämällä käsittelypöydässä valmiina olevia reikiä (kuva 4). Lisäksi kiinnitystä pöytään parannettiin käyttämällä puristinkiinnittimiä.



KUVA 4. Säiliön hitsauskiinnitin (Pulkkinen 2012)



KUVA 5. Säiliön ja hitsauskiinnittimen kiinnityskohta (Pulkkinen 2012)



KUVA 6. Säiliön kiinnitys (Pulkkinen 2012)

5 RAILONSEURANTA AUTOMATISOIDUSSA HITSUKSESSA

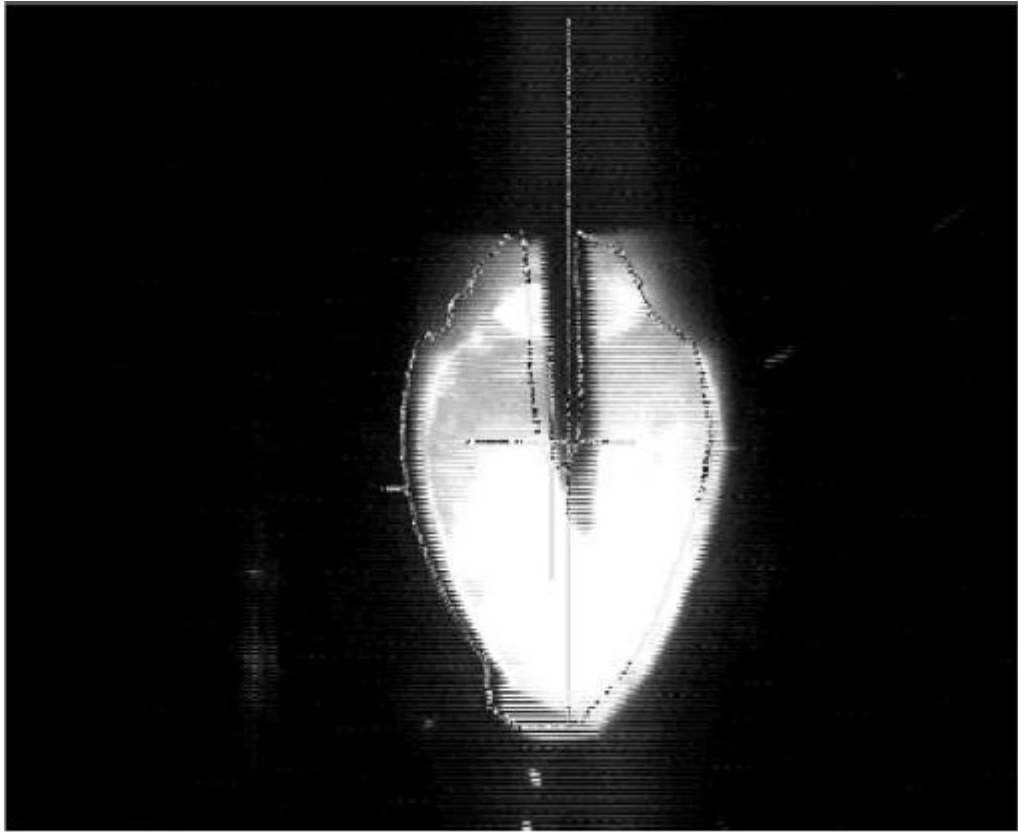
Nykyaikana robottihitsauksessa voidaan hyödyntää erilaisia railon seurantamenetelmiä. Railon seurannan ideana on mitata hitsauksen aikana railon eri parametreja ja tehdä tarvittavat muutokset hyvän hitsin varmistamiseksi. Optisen railon seurannan ominaisuuksien avulla voidaan paikantaa liitoskohta. Railohahmotuksen avulla hitsausrobotti osaa seurata liitosrailoja ja kerätä tarvittavat tiedot railon muodoista. Railotietojen avulla laitteisto säätelee hitsausparametreja ennalta määrättyillä arvoilla.

Yleisin railon seurannan menetelmä on hitsauksen valokaaren parametreihin perustuva seuranta. Hitsauksen aikana mitataan hitsausvirran ja –jännitteen muutoksia. Muutokset perustuvat vapaalangan pituuden vaihteluun polttimen tehdessä levitysiikettä railon sivuttaissuunnassa. Menetelmän hyvä ominaisuus on, ettei polttimen luokse tarvitse asentaa ylimääräisiä laitteita. Menetelmä soveltuu parhaiten pienaliitoksiin ja V-railoliitoksiin. (Cary & Helzer 2005, 327 - 330.)

Robottiin erikseen asennettavat railon seuranta-anturit jakautuvat mekaaniseen kosketuksiin perustuviin antureihin sekä kosketuksettomiin eli optisiin antureihin.

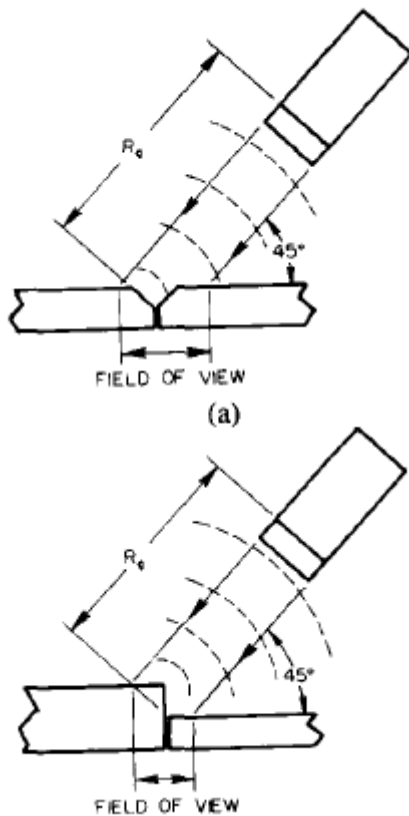
Mekaanisen railon seurannan ideana on kerätä railosta ja sen muodosta tietoa mekaanisilla kosketusantureilla. Anturina toimii erillinen robottiin kiinnitettävä lisälaitte, jossa on oma mekaaninen paikannusanturi. Tällöin anturi kulkee polttimen edellä railossa ja tunnistelee railon muotoa. Mekaanisen railon seurannan huono puoli on anturin sijainti. Anturin sijainti liian kaukana polttimesta aiheuttaa virheitä railon seurannassa ja liian lähellä poltinta sijaitseva anturi aiheuttaa liian nopean anturin kulumisen ja heikkenemisen. (Cary & Helzer 2005, 327 – 330.)

Hitsisulaan perustuvassa railon seurannassa polttimeen liitetty kamera kuvaa hitsisulaa (kuva 7). Seurantaohjelma laskee kuvien perusteella hitsisulan pituuden ja leveyden ja muuttaa hitsausparametreja symmetrisen hitsisulan saamiseksi. Sulaa kuvaavan kameran linssissä on suodattimet, joilla pyritään minimoimaan hitsauskaaren aiheuttamia vääristymiä hitsisulaa tarkkailtaessa. Railon seurannan ongelmat esiintyvät suurilla hitsausvirroilla hitsattaessa, jolloin hitsauskaari vaikuttaa kameran saamaan kuvaan hitsisulasta. (Bae, Lee, Ahn 2002.)



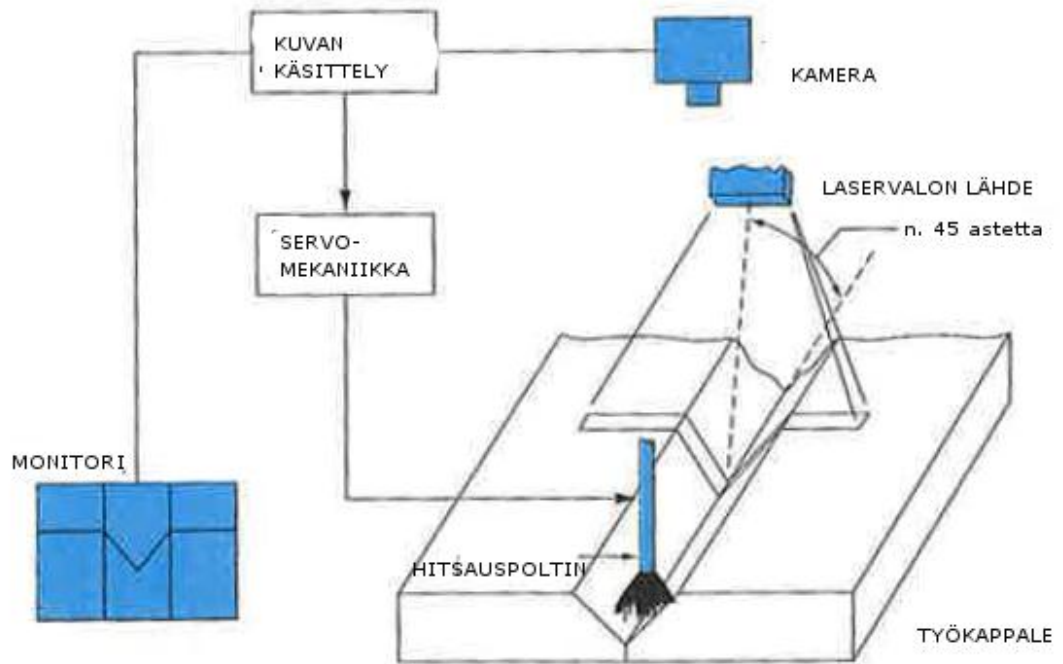
KUVA 7. Seuranta-anturin kuva hitsisulasta (Bae, Lee, Ahn 2002)

Optisessa railon seurannassa hitsausprosessia tarkastellaan kameran tai muunlaisen tietoa keräävän sensorin avulla. Optiseen railon seurantaan luetaan yleisesti laserilla ja kameralla toteutettava railon seuranta ja harvinaisempi ultraäänellä toteutettava railon seuranta. Jälkimmäisessä menetelmässä railoon kohdistetaan ultraääniaaltoja 45 asteen kulmassa (kuva 8). Ne heijastuvat railon pintaan osuessaan takaisin lukupäätteelle. Lukupääte muodostaa ultraääniaaltojen perusteella kuvan railosta ja sen muodoista. Ultraäänirailon seurannan ainoa vaatimus onnistuneen seurannan toteuttamiseksi on hitsattavan kappaleen kyky aiheuttaa takaisinheijastuma 45 asteen kulmassa. (Maqueira, Umeagukwu, Jarzynski 1989)

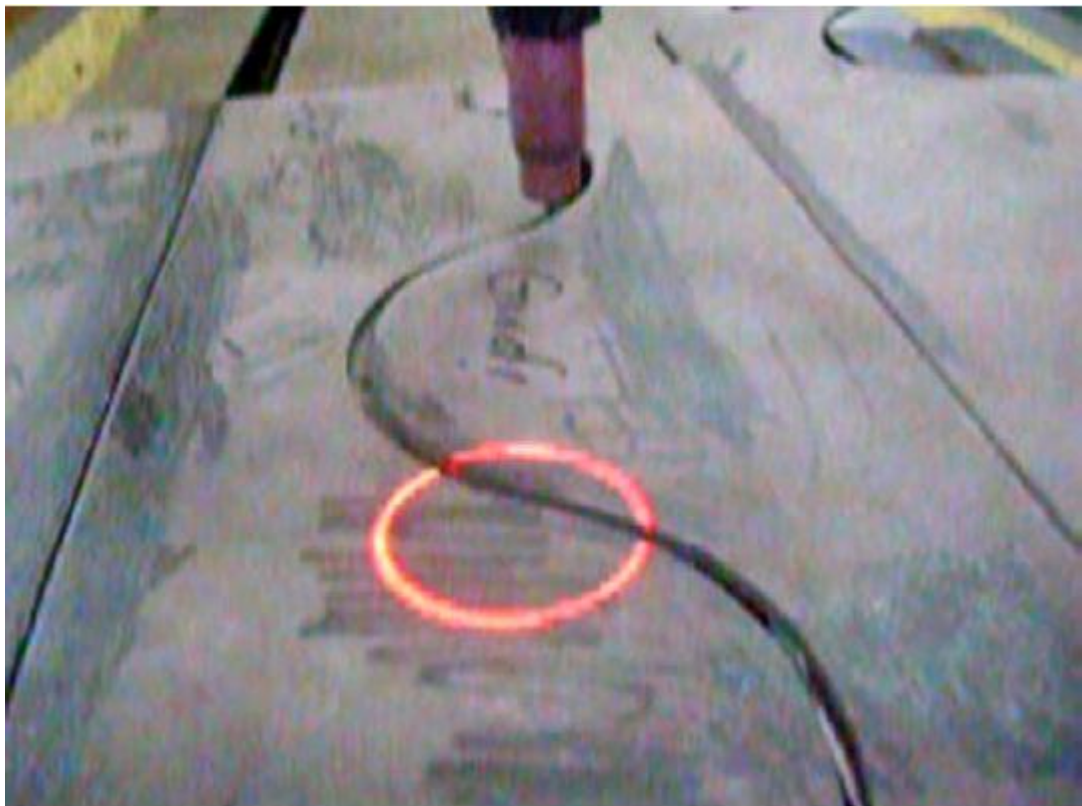


KUVA 8. Ultraäänen toimintaperiaate (Maqueira, Umeagukwu, Jarzynski 1989)

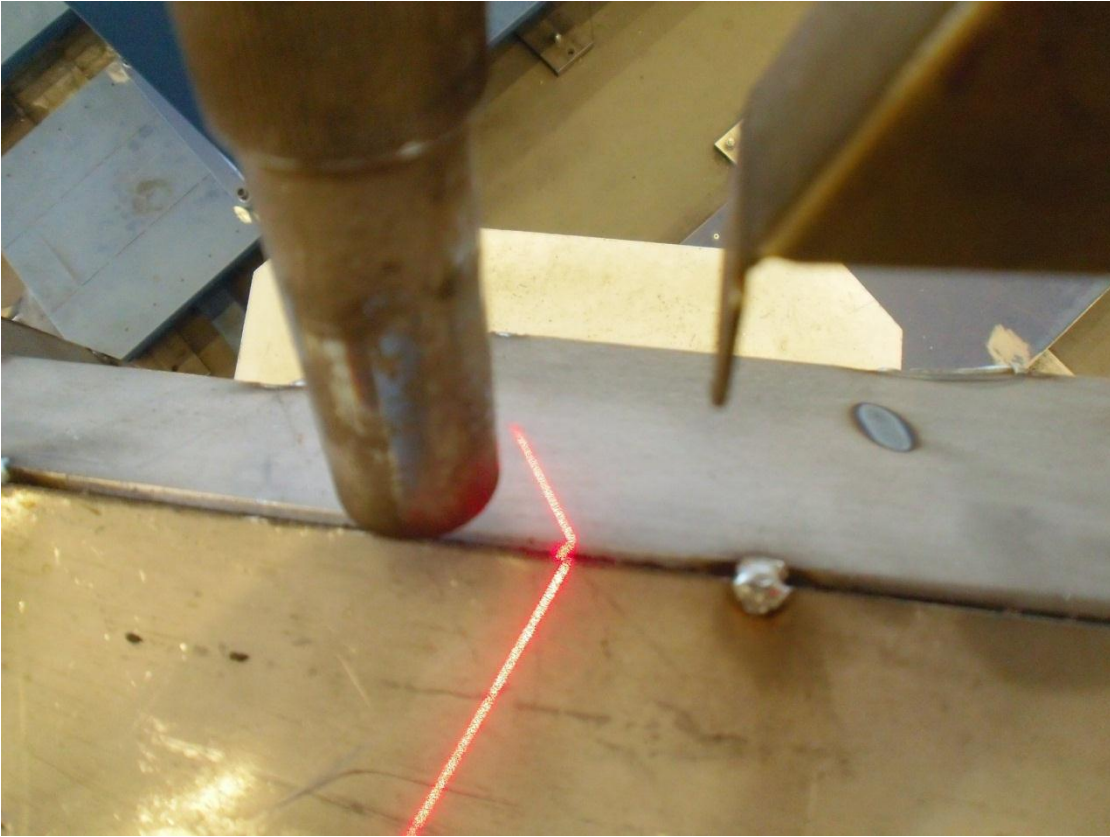
Laserin avulla toteutettavassa railon seurannassa laservalo heijastetaan viivamaisena (kuva 11) tai kehämäisenä (kuva 10) valotasona hitsattavan kappaleen pintaan ja kuvataan kameralla. Kehämäisen valotason railon seurannassa laservalolähde pyörii akselinsa ympäri nopeaa vauhtia, mikä saa aikaan kappaleen pinnassa olevan valokehän pyörimisliikkeen. Optisessa railon seurannassa kamera kuvaa laservalon muutoksia kappaleen pinnalla ja tallentaa tiedon ohjauspäätteelle eli tietokoneelle (kuva 9). Tietokoneen kuvaruudulle ilmestyy kuva kuvatusista kappaleista ja sen muodoista. Laserilla toteutettavan railon seurannan hyvinä puolina on kameran kyky suodattaa valokaaren ja hitsaushöyryjen aiheuttamat häiriöt ja saada tarkka kuva railonmuodoista. Optisessa railon seurannassa voidaan seurata railoa ennen valokaarta tai valokaaren jälkeen. Railon seurannan tarkkuus robotin x, y, z -akselilla on parempi kuin 0,5 mm, jota voidaan pitää enemmän kuin riittävänä tarkkuutena nykypäivän kaasukaarihitsauksessa. (Kim & Son 1996)



KUVA 9. Optisen railon seurannan periaate (Cary & Helzer 2005)



KUVA 10. Kehämäinen laservalo (Xu, Tang & Yao 2007)



KUVA 11. Viivamainen laservalo (Pulkkinen 2012)

6 OPTINEN RAILONSEURANTA JA SÄILIÖN HITSAUS

6.1 Tutkimuksessa käytetty laitteisto

Tutkimuksessa käytettiin Savonia ammattikorkeakoulun hitsauslaboratorion kuusi akselista OTC AX-V6L -hitsausrobotia (kuva 12) ja Servo- Robot DIGI-I/S (kuva 13) optista railonseuranta-anturia. Anturi asennettiin 18 asteen kulmaan polttimeen nähden ja laservalo heijastettiin 24 mm päähän hitsauslangasta. Anturin kalibroinnin avulla ohjelmistolle kerrottiin laservalon sijainti ja seuranta-anturin kulmat polttimeen nähden. Näin ohjelmisto laski viiveen laservalon ja polttimen välillä ja osasi tämän perusteella ajoittaa tarvittavat muutokset railonmuotojen muuttuessa..

Anturin kamera tallentaa kuvan laservalosta ja siirtää sen seurantaohjelmalle tietokoneeseen. Ohjelma tulkitsee laservalon muutokset hitsausrailossa ja luo näiden perusteella kuvan hitsausrailosta ja sen muodoista. Laservalon tehokkuutta ja ohjelman suodattimia säätämällä pystytään vaikuttamaan kameran kuvan tarkkuuteen. Suodattimien avulla voidaan minimoida kappaleen pinnan aiheuttamaa heijastumista.



KUVA 12. Hitsausrobotti OTC AX-V6L (Pulkkinen 2012)



KUVA 13. Servo- Robot DIGI-I/S optinen railonseuranta anturi (Pulkkinen 2012)

6.2 Esivalmistelut

Säiliöiden hitsauksen muuttaminen käsinhitsauksesta robotisoituun hitsaukseen vaati erilaisten parametrien tarkastelua. Aluksi tutkittiin mahdollisten hitsattavien säiliöiden ulkomuotoja ja hitsejä. Näin saatiin selville käytetyt railomuodot ja niiden sijainti.

Tämän jälkeen mallinnettiin testauskappaleilla säiliöissä käytettävät hitsausrailot ja aloitettiin hitsauksen tutkiminen. Ensimmäiseksi testauskappaleiden avulla tarkasteltiin anturin näkökykyä. Tällä selvitettiin, kuinka suuri vaihtelu sai olla anturin asennossa hitsauskappaleeseen nähden, jotta railosta saatu kuva ei häviäisi. Samalla tutkittiin railomuodon vaihtelun vaikutusta railosta saatuun kuvaan. Tutkittaessa hitsattiin robotilla koekappaleet hitsauskirjallisuuden antamien hitsausparametrien mukaisesti. Hitsauksen jälkeen tarkasteltiin aikaansaattua hitsiä ja tutkittiin, täyttikö hitsi sille asetetut vaatimukset. Tämän jälkeen tehtiin tarvittavat muutokset hitsausparametreihin ja uusittiin kappaleen hitsaus. Tätä tehtiin niin kauan, kunnes löydettiin oikeanlaiset hitsausparametrit.

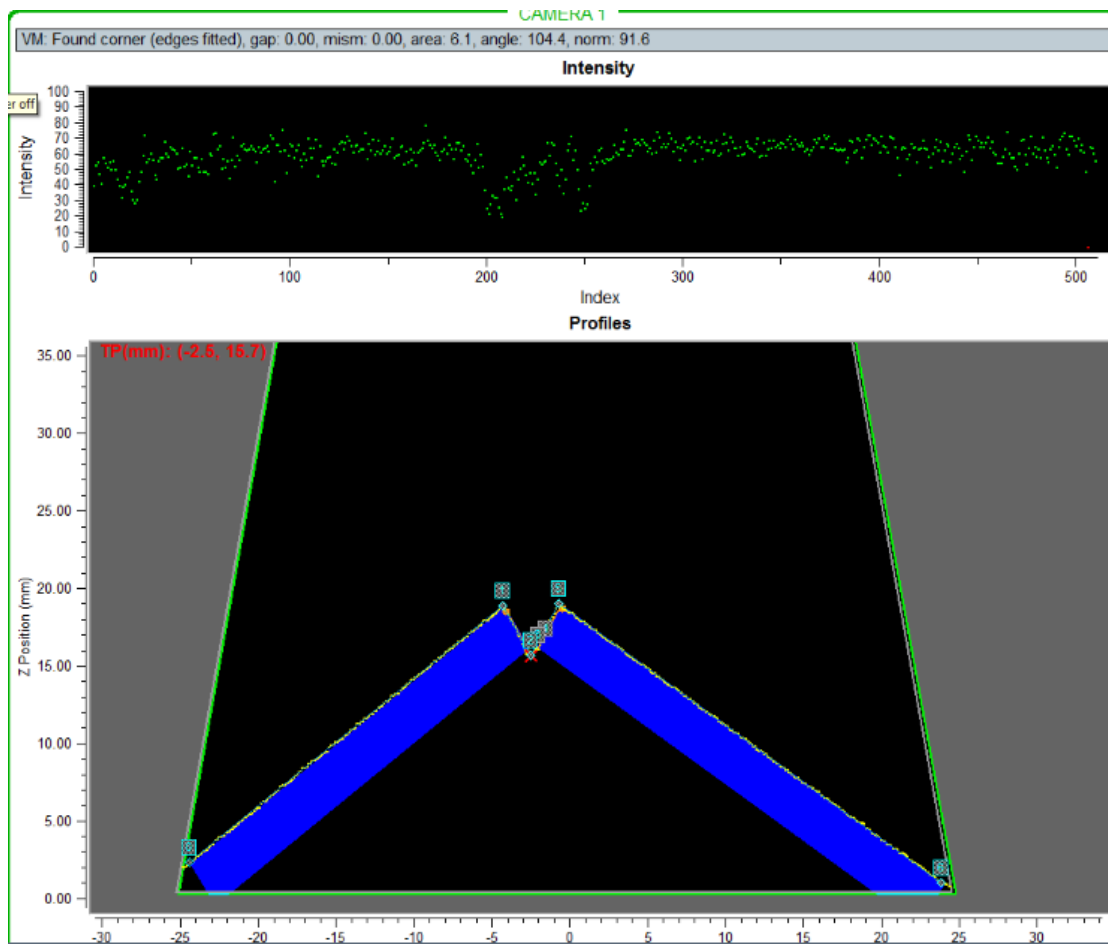
Hitsauksia testattiin normaalilla tasavirralla ja pulssihitsauksella. Tuloksissa päädyttiin pulssihitsauksen käyttämiseen säiliön koehitsauksissa, koska pulssihitsauksella saavu-

tettiin parempi sulanhallinta reunaliitoksia hitsattaessa ja läpipalamisen riski suurilla ilmaraoilla saatiin minimoitua.

6.3 Railon seurannan ohjelmointi

Hitsaustestauksien jälkeen siirryttiin käyttämään robotin optista railon seurantaa. Laserkamera kalibroitiin näyttämään laservalo 24 mm päähän hitsauslangan päästä. Aluksi tarkasteltiin railon seurannan toimivuutta erityyppisillä railomuodoilla. Näin varmistettiin, että tietokoneelle välittyvä kuva täsmäsi railomuodon kanssa. Liitosmuotoina käytettiin päittäisliitosta ja kulmaliitosta. Kulmaliitoksen tarkastelussa vaihdeltiin ilmaraon suuruutta ja tutkittiin, havaitsiko kamera muutoksen. Samalla tutkittiin kameran railon seurantaominaisuutta siirtämällä hitsattavaa railoa sivuttaissuunnassa polttimeen nähden. Tällä testattiin havaitsiko ohjelma railon siirtymisen ja osasiko tehdä tarvittavat muutokset robotin liikerataan.

Testauksen aikana huomattiin, kuinka herkkä kamera oli railon pinnan epämuodoille. Testattavat kappaleet leikattiin plasmaleikkurilla. Plasman leikkausjälki on hieman kaareva, mikä aiheutti ongelmia anturin kanssa, sillä kamera ei aina tunnistanut liitokseen käytettävien levyjen reunoja. Tätä pyrittiin aluksi ehkäisemään käyttämällä erilaisia suodattimia kameranäössä ja muuttamalla ohjelmassa railon parametreja, mutta parhaimmaksi ratkaisuksi ilmeni yksinkertaisesti reunojen hiominen tasapintaiseksi. Tutkittavassa säiliössä osat oli leikattu laserleikkurilla, joten leikkauspinta oli tasainen eikä aiheuttanut muutoksia railokuvaan.



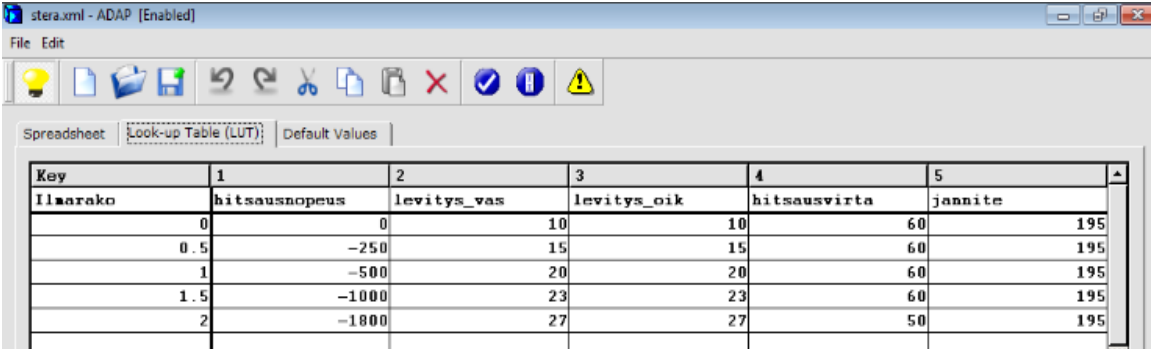
KUVA 14. Weldcom railon seuranta-ohjelma (Pulkkinen 2012)

Kuvassa 13 näkyy kameralta tietokoneelle välittyvä kuva. Tietokoneella ohjelma näyttää tarvittavat tiedot railosta, kuten liitostyyppin, levyjen välisen ilmaraon, levyjen korkeuseron, railon pinta-alan sekä levyjen kulman. Kameran välittämässä kuvassa levyt näkyvät vahvistettuina, joten kamera on löytänyt railon. Jos kamera ei hahmottaisi railoa, olisi kuvassa vain railon ulkoiset ääriveriivat.

6.4 ADAP-taulukon rakentaminen

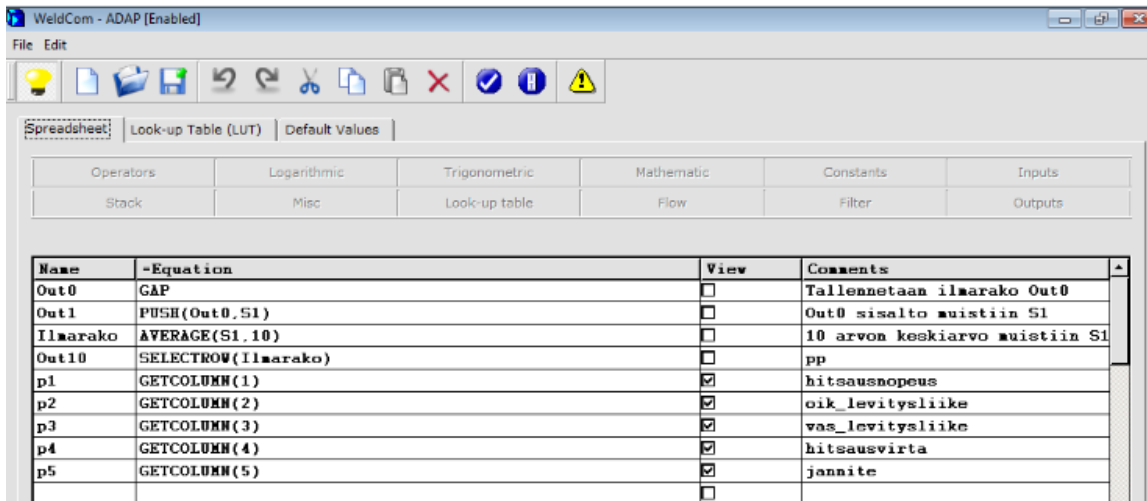
ADAP-toiminnon avulla luotiin parametritaulukko, jonka avulla seurantaohjelma säätää hitsausarvoja hitsauksen aikana. Kameran tallentaessa ohjelmalle kuvaa railosta voidaan taulukkoon määrittellä komentojen avulla ohjelman niin sanottu keskittymispiste. Keskittymispisteen avulla ohjelma tarkastelee railossa jotakin tiettyä muuttujaa, kuten ilmarakoa, poikkipinta-alaa tai sovitusvirhettä. Jos näissä muuttujissa tapahtuu muutoksia, kertoo ohjelma robotille tarvittavat muutokset hitsausparametreihin. Hitsausparametrit ohjelma poimii ADAP- taulukosta, johon eri hitsausparametrit on syötetty. Taulukon avulla voidaan säätää hitsausnopeutta, levitysliikettä, hitsausvirtaa, hitsausjännitettä, polttimen kulmaa sekä hitsauspistoolin siirtoa Y- tai Z-akselin suuntaisena.

Tässä tutkimuksessa keskittymispisteeksi valittiin ilmarako, koska säiliön monimutkaisen rakenteen ja lukuisten särmättävien osien takia hitsausrailojen muodoissa ja sijainneissa oli runsaasti variaatioita. Hitsattavan säiliön rakenteesta mitattiin ilmaraon variaatioksi 0 - 2,5 mm ja ADAP- taulukko koottiin arvoista 0,5 mm välein (kuva 15). Testauksen aikana huomattiin, että tärkeimmät säädettävät parametrit olivat hitsausnopeus ja levitysliike. Hitsausvirralle testattiin optimiarvo, jolla pystyttiin hitsaamaan ilmaraot väliltä 0 - 2,5 mm. Näitä parametreja säätämällä pystyttiin hitsaamaan säiliön hitsit onnistuneesti.



| Key | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------|
| Ilmarako | hitsausnopeus | levitys_vas | levitys_oik | hitsausvirta | jannite |
| 0 | 0 | 10 | 10 | 60 | 195 |
| 0.5 | -250 | 15 | 15 | 60 | 195 |
| 1 | -500 | 20 | 20 | 60 | 195 |
| 1.5 | -1000 | 23 | 23 | 60 | 195 |
| 2 | -1800 | 27 | 27 | 50 | 195 |

KUVA 15. ADAP-taulukon hitsausparametrit (Pulkkinen 2012)

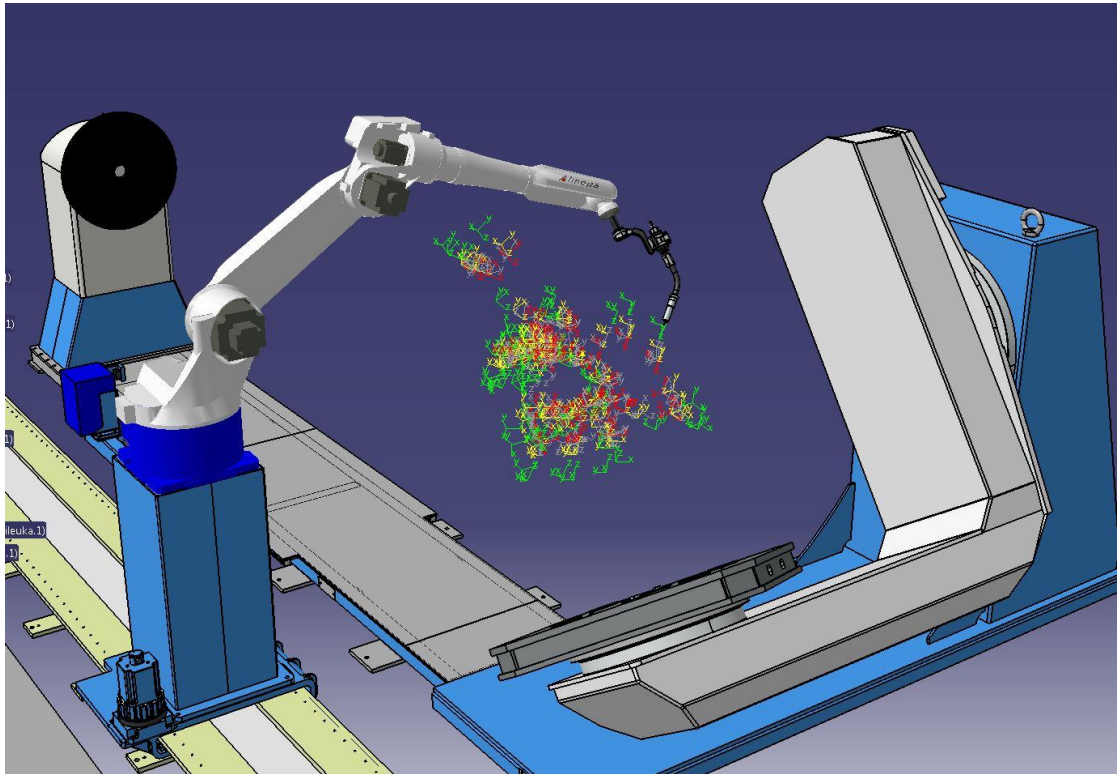


KUVA 16. ADAP-taulukon komentorivit (Pulkinen 2012)

Kuvassa 16 on määritely tarkasteltavaksi pisteeksi ilmarako. Samalla kerrottiin ohjelmalle, että ilmaraon keskiarvo lasketaan kymmenestä railosta saadusta arvosta. GETCOLUMN- komennoilla määriteltiin, mitkä hitsausparametrit muuttuvat ilmaraon vaihdellessa.

6.5 Ulottuvuuden tarkastelu

Simulointi suoritettiin Delmia v5 -ohjelmalla. Simulaatio mallin avulla tarkasteltiin virtuaalisesti suunnitellun hitsauskiinnittimen soveltuvuutta säiliön hitsauksessa. Samalla selvitettiin robotin ulottuvuudet ja rajoitteet hitsauksen aikana, sekä voitiin etsiä tarvittavat asennot käsittelypöydälle hyvien hitsien saavuttamiseksi. Simuloinnilla pystyttiin myös tarkastamaan mahdolliset vaara- ja törmäystilanteet, joita pystyttiin välttämään pääohjelmaa rakentaessa. Ohjelman avulla luotiin valmiita hitsausratoja, jotka nopeuttivat hitsausohjelman rakentamista robotille.



KUVA 17. Simulointimalli robottisolusta (Pulkinen 2012)

6.6 Säiliön hitsaaminen

Säiliön lukuisista hitseistä johtuen hitsausohjelma rakennettiin aliohjelmilla, joissa jokaisella hitsillä oli oma ohjelmansa. Tämä mahdollisti hitsausjärjestykseen tehtävien muutosten tekemisen helpoksi. Hitsausohjelmien järjestys tutkittiin siten, että robotti tekisi mahdollisimman vähän turhia liikkeitä. Samalla kuitenkin otettiin huomioon hitsauksen aiheuttamat jännitykset, jotka haluttiin saada vähennettyä kokonaan pois. Tämän takia ei aina pystytty rakentamaan ohjelmaa robotille edullisten liikkeiden mukaan.

Kaikille säiliön hitseille ei voitu toteuttaa hitsausohjelmaa, koska railojen muodot eivät täsmänneet kameran tunnistuskategoriaan. Näissä railomuodoissa oli särmäyksen tai kulmahiomakoneen aiheuttamia muodonmuutoksia, joita kamera ei pystynyt tunnistamaan. Ensimmäisen säiliön ohjelmaa rakentaessa huomattiin, että hitsauspistooliin kiinnitetty kamera häiritsi joidenkin hitsien hitsausta. Näissä hitseissä ongelmana oli lähinnä kameran törmäminen kappaleeseen. Ensimmäisessä säiliössä jouduttiin tekemään väliaikainen ratkaisu teipillä, koska ei haluttu siirtää säiliötä pois käsihitsausta varten. Teipillä peitettiin railon alku tai loppu, jotta optinen railon seuranta lopettaisi hitsaamisen ajoissa ja välttyttäisiin törmäyksiltä. Muissa testisäiliöissä railoihin hitsattiin teipin tilalle pienet matkat hitsiä ja hitsauksen lopetusta siirrettiin kauemmaksi lopetuksesta. Muuta-

mia hitsejä ei voitu sijainnin takia hitsata ollenkaan, koska polttimen ja kamerayhdistelmän koko rajoitti hitsien luoksepäästävyyttä.

Ensimmäisessä säiliössä hitsejä hitsattiin noin 30 - 40 asteen kulmassa ja poltinta pidettiin hieman vetävässä asennossa. Vetävä asento aiheutti pieniä ongelmia railonseurannan ymmärtämisessä railon suhteen ja välillä ohjelma hävitti kokonaan kokonaiskuvan railosta. Kun anturi hävitti kuvan railosta, otti ohjelma ADAP- taulukosta hitaimman hitsausnopeuden ja leveimmän levitysliikkeen. Tästä seurasi hitsien liian suuri hitsauskuoppu, koska levitysliikkeet ja kuljetusnopeudet oli tarkoitettu suurille ilmaraoille.

Toista säiliötä hitsattaessa tehtiin hitsausohjelmaan pieniä muutoksia. Tällä kertaa muutettiin polttimen kulma pois vetävästä asennosta. Tällä pyrittiin vaikuttamaan railonseurannan parempaan hahmottamiseen. Polttimen asennon vaihtaminen vaikutti positiivisesti hitsaustulokseen. Optinen railonseuranta näki railot paremmin ja useampi hitseistä saatiin hitsattua loppuun asti ilman keskeytyksiä. Ainoat ongelmat olivat yksi polttimen karkaaminen railosta säiliön pinnalle ja yhden railon tunnistusongelmat. Syytä polttimen harhautumiseen railosta ei pystytty sanomaan, koska teoriassa tämän olisi pitänyt olla mahdotonta. Tunnistusongelma taas johtui railon muodon ollessa erilainen kuin ensimmäisessä testisäiliössä.

Kolmannen säiliön hitsauksessa ei tehty ohjelmaan minkäänlaisia muutoksia, sillä aikaisemman testisäiliön hitsaus oli onnistunut hyvin. Koska säiliöiden rakenteet eivät olleet täysin identtisiä ja railojen paikat ja muodot saattoivat vaihdella, niin kolmannen säiliön kohdalla käynnistettiin suoraan automaatioajo ja tutkittiin railonhaun ja railonseurannan toimintaa. Lukuun ottamatta yhtä virhettä, railonseuranta havaitsi railojen muuttuneet sijainnit ja tehdä tarvittavat korjaukset. Virhe johtui levyn kanttauksesta aiheutuneesta railon epämuodosta, jonka takia kamera ei tunnistanut railoa kunnolla ja jäi hitsaamaan samaan pisteeseen.

7 TULOKSET

Optisen railon seurannan avulla suoritettujen koehitsaukset säiliölle onnistuivat hyvin. Alkuvaihe vaati paljon railon seuranta-anturin säätämistä ja asetusten valikoimista railomuo-doille oikeanlaisiksi. Oikeiden asetusten löytyttyä railon seuranta toimi luotettavasti ja osasi tehdä oikeanlaiset muutokset hitsauksen aikana. Kaikkia säiliön hitsejä ei pystytty kuitenkaan hitsaamaan, koska muutama hitsi oli hankalassa sijainnissa ja robotilla ei saatu hyvää asentoa hitsauksen toteuttamiseksi. Osassa hitseistä taas silloituksen sijainti railon alkupäässä tai loppupäässä vaikutti siten, että hitsiä ei pystytty hitsaamaan koko matkalta.

Ohutlevyjen hitsaamisen suurin ongelma, läpipalaminen, estettiin käyttämällä tarkkaa adaptiivista ohjausta. Pulssihitsauksella ja suhteellisen pienillä hitsausvirroilla saatiin hitsisulan hallinta pidettyä niin, että ei ollut läpipalamisen riskiä tai hitsisulan vyörymisen riskiä. Aluksi tarkoituksena oli hitsata säiliön hitsit 40 asteen alamäessä, mutta oikeilla hitsausparametreilla saatiin minimoitua alamäkeen tarvittava kulma ja osa hitseistä pystyttiin jopa hitsaamaan ilman kulmaa. Tällä saatiin aikaan yksinkertaisemmat ja helpommat asennot robotille.

Lopuksi verrattiin optista railon seurantaan ja robotin valokaareen perustuvaa railon seurantaan. Vertaus toteutettiin hitsaamalla testikappaleita, joissa railotyypinä oli ulkokulma-railo ja joissa ilmarako kasvoi loppua kohden. Tällä pyrittiin testaamaan optisen railon seurannan etuja perinteiseen railon seurantaan nähden. Valokaareen perustuvalla railon seurannalla tuli ongelmia sulan hallinnassa ilmaraon kasvaessa (kuva 18). Ilmaraon kasvaessa hitsauksen alussa ollut hitsausnopeus oli aivan liian suuri yhtenäisen hitsin saavuttamiseksi. Optisella railon seurannalla hitsausrobotti osasi muuttaa hitsausarvoja ilmaraon kasvaessa ja onnistui pitämään hitsisulan hallinnassa hitsauksen ajan (kuva 19).



KUVA 18. Kulmarailon hitsaus robotin railon seurannalla (Pulkkinen 2012)



KUVA 19. Kulmarailon hitsaus optisella railon seurannalla (Pulkkinen 2012)

8 PÄÄTELMÄT

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin optisen railon seurannan soveltuvuutta ohutlevyistä valmistetun säiliön hitsaamiseen. Tarkoituksena oli selvittää kuinka optinen railon seuranta toimii ohutlevyjen hitsauksessa sekä tutkia samalla sen soveltuvuutta hankalille rakenteille. Optisella railon seurannalla pyritään vähentämään käsinhitsauksen tarvetta ennen ja jälkeen robottihitsausta. Vielä ei kuitenkaan nykytekniikalla pystytä poistamaan kokonaan käsinhitsausta robottihitsattavista tuotteista, sillä railon seuranta ei pysty aina antamaan täydellistä hitsausta ilman häiriöitä ja nykytekniikalla ei voida vielä hitsata kaikki railomuotoja.

Optisen railon seurannan avulla hitsausrailojen sijainneille voidaan sallia enemmän vaihtelevuutta, koska optisella railon seurannalla voidaan paikantaa railon alku- ja loppupiste. Alku- ja loppupisteen sijaintien avulla optinen railon seuranta osaa tehdä tarvittavat korjaukset robotin liikeratoihin. Tämä mahdollistaa robotin liikeratojen yksinkertaistamisen, koska robotille ei tarvitse opettaa välipisteitä. Kuitenkaan railon seurannan avulla ei voida kaikki railomuotoja hitsata tarkan railomuotovaatimuksen takia. Onnistuneen railon seurannan tärkein vaatimus on railomuodon säilyvyys. Koska anturille voidaan opettaa kerrallaan vain yksi railomuoto jota seurata hitsatessa, anturi ei osaa tulkita railomuodon vaihtumista kesken hitsauksen. Railomuodon rakenteen on pysyttävä koko railon matkalta samana, jotta anturi osaa tunnistaa railon.

Nykyisen railon seurantavälineistön suurimmat ongelmat aiheuttaa seurantakameran suuruus ja robotin kuudennen vapausasteen menetys railon seurannalle. Nämä asiat rajoittavat hitsausrobotin luoksepäästävyyttä hitsauskohteisiin, koska robottia ei voida aina saada kaikkiin hitsausasentoihin eikä ahtaissa kohteissa pystytä hitsausta toteuttamaan. Mikäli seurantakameran kokoa saataisiin pienennettyä, minimoitaisiin nämä ongelmat.

Railopinnan aiheuttamat laservalon heijastukset olisi myös hyvä saada pois. Vaikka nykytekniikalla saadaan ohjelmistolla suodatettua pahimmat heijastukset, aiheuttavat ne silti ongelmia tarkkaan railontunnistukseen. Tässä työssä heijastukset aiheuttivat väärän tiedon saamisen railosta, kuten liian suuri tai liian pieni ilmarako. Opinnäytetyötä tehtäessä kokeiltiin tussilla tehdyn mattapinnan vaikutusta railon heijastukseen. Tussilla piirrettiin railon pintaan tasainen ohut kerros ja mitattiin railokuvan ero normaaliin railoon. Vaikutukset olivat vähäiset, mutta tussin tekemä mattapinta vähensi kuitenkin virhepis-

teiden määrää railokuvassa. Jatkotutkimuksena voisi tutkia hitsaukseen vaikuttamattomien mattapinnoitusten käytön optisessa railon seurannassa.

Kaiken kaikkiaan optisen railon seurannan avulla robottihitsaukseen saadaan lisättyä monipuolisuutta. Optiikka mahdollistaa hitsausrobotin käytön yhä vaativimmissa hitsauskohteissa. Hyvin ohjelmoitu railon seuranta mahdollistaa monimutkaisten tuotteiden automaatiohitsauksen, ja vaikka optisessa railon seurannassa on vielä paljon kehitettävää, siitä on kasvamassa robottihitsauksen yksi oleellisin apuväline.

LÄHTEET

- Bae, K.-Y. Lee, T.-H. & Ahn, K.-C. 2002. *An optical sensing system for seam tracking and weld pool control in gas metal arc welding of steel pipe*. [verkkojulkaisu]. Chinju: Department of Industrial Automation Engineering. [viitattu 30.3.2012]. Saatavissa:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401360101216X>
- Cary, H. & Helzer, S. 2005. *Modern Welding Tehcnology*. New Jersey. Pearson Prentice hall.
- Kim, J. & Son, Y. 1996. *A robust visual seamtracking system for robotic arc welding*. [Verkkojulkaisu]. Anyang: R&D Complex, Lucky-Goldstar. [viitattu 30.3.2012]. Saatavissa:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0957415895000690>
- Lepola, P. & Makkonen, M. 2006. *Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet*. Helsinki: Wsoy.
- Lukkari, J. 1997. *Hitsaustekniikka: Perusteet ja kaarihitsaus*. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Maqueira, B. Umeagukwu, C. & Jarzynski, J. 1989. *Application of Ultrasonic Sensors to Robotic Seam Tracking*. [Verkkojulkaisu] Dallas: Texas instrum. [viitattu 29.03.2012]. Saatavissa:
http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=34769&tag=1
- Metalliliiton keskusliitto. 1987. *Hitsauskiinnittimen suunnittelu*. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Pinto, J. 2008. *Sensors and Intelligence Key to Industrial Robotics Future*. [verkkojulkaisu] [viitattu 2.4.2012]. Saatavissa:
<http://www.jimpinto.com/writings/robotfutures.html>

RobotWorx. 2012. *RobotWorx : Experts in automation*. [viitattu 1.4.2012]
Saatavissa: <http://www.robots.com/blog/viewing/industrial-robots-and-the-future/351>

Suomen Robottiikkayhdistys Ry. 1999. *Robottiikka*. Vantaa: Tummavuoden Kirjapaino Oy.

Stera Technologies. Yrityksen verkkosivu, [viitattu 17.4.2012]. Saatavissa: <http://www.stera.com/>

Toivanen, J. & Pirinen, M. 2010. HitNetWork- projektisuunnitelma. Kuopio. Savonia-ammattikorkeakoulu.

