



ROBOTTIHITSAUS JA HITSAUSPARAMETRIEN VAIKUTUS MIG/MAG-HITSAUKSEEN

Opinnäytetyö

Fedor Karpenko

Tekniikan ja liikenteen ala
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Hyväksytty _____

| | | | |
|--|------------|--------------------|---------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | | | |
| Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | | | |
| Työn tekijä(t) Fedor Karpenko | | | |
| Työn nimi Robottihitsaus ja hitsausparametrien vaikutus MIG/MAG-hitsaukseen | | | |
| Päiväys | 10.12.2010 | Sivumäärä/Liitteet | 42 + 15 |
| Ohjaaja(t) Projekti-insinööri Solehmainen Kari , Arto Voutilainen | | | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Ylä-Savon ammattiopisto | | | |
| Tiivistelmä <p>Tämä työ on jatkoa Savonia- ammattikorkeakoulun Projekti 4 -kurssille. Työn tavoitteena oli hitsausarvojen, nopeustiedostojen ja vaaputustiedostojen luonti ABB IRB-hitsausrobotille. Nykyisin hitsauksen automatisoinnin kehittäminen on tärkein tekijä tuottavuuden parantamisessa. Automatisoinnin kannalta tärkeimpiä ovat hitsauksen toistettavuus ja tasainen laatu. Hitsaustyön lopullinen laatu ei kuitenkaan synny automaattisesti. Robotisointi vaatii selkeitä lisäpanostuksia laadunvarmistukseen.</p> <p>Työ toteutettiin Ylä-Savon ammattioppilaitoksessa, ABB-hitsausrobotilla. Tämä työ on tehty edellä mainituista lähtökohdista ja käsittelee myös hitsausparametrien vaikutusta MIG/MAG-hitsaukseen. Hitsausparametrien valintaan vaikuttaa useat eri tekijät. Väärät parametrit aiheuttavat monenlaisia virheitä. Tässä työssä tutkittiin parametrien vaikutus sekä aineen sisärakenteseen että ulkomuotoon. Työssä tutkittiin hitsausliitoksen kovuutta. Käyttettiin Vickers-koetta, jossa timanttipyramidi painetaan materiaalin pintaan.</p> <p>Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Ylä-Savon ammattiopiston hitsausrobotin hitsausarvojen kirjastoon saatiin hitsausarvot, nopeustiedostot ja ohjelmat. Työn liitteenä ovat kovuuskokeeseen liittyvät dokumentit ja tulokset.</p> | | | |
| Avainsanat hitsausrobotti, ohjelmointi, hitsausautomaatio, MIG/MAG hitsaus, hitsausparametrit, hitsattavuus, hitsausliitos, hitsausmetallurgia, parametrien vaikutus, aineen koetus, kovuuskoe. | | | |
| Luottamuksellisuus julkinen | | | |

| | | | |
|--|-------------------|------------------|---------|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering | | | |
| Author(s) Fedor Karpenko | | | |
| Title of Thesis Robotic Welding and the Welding Effect on MIG / MAG welding | | | |
| Date | December 10, 2010 | Pages/Appendices | 42 + 15 |
| Supervisor(s) Mr Kari Solehmainen, Mr Arto Voutilainen | | | |
| Project/Partners Ylä-Savo Vocational School | | | |
| <p>Abstract</p> <p>This project was a continuation to the “Projekti 4” course at Savonia University of Applied Sciences. The aim of the final project was to create welding parameters, welding data, weave data and track data for IRB welding robot of ABB. At the moment the development of automated welding is the most important factor for improving productivity. In automation the weld repeatability and consistent quality are the most important. Final quality of the welding work is not created automatically. Robotization requires clear additional investments in quality assurance.</p> <p>The work was completed in Ylä-Savo vocational college on the ABB welding robot. A variety of factors affects the choice of welding parameters. Incorrect parameters cause different errors. The effects of parameters on internal structure of material and its appearance were examined. In the work the hardness of the weld joint was examined. Vickers-test was done, in which a diamond pyramid is pressed against the surface of the material.</p> <p>All the aims set to the project were achieved. Welding parameters and programs for the welding robot of Ylä-Savo Vocational School were achieved and saved to the robot’s parameter library. The documents related to the hardness test and the results are attached to this thesis.</p> | | | |
| Keywords welding robot, programming, automation welding, MIG welding, welding parameters, welding, weld, welding metallurgy, effects of parameters, materials testing, hardness test. | | | |
| Confidentiality public | | | |

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Savonia- ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyönä. Työtä aloitettiin työstää helmikuussa 2010 Iisalmen Ylä-Savon ammattiopistolle. Työn valvojina toimivat insinööri Kari Solehmainen Savonia-ammattikorkeakoulusta sekä insinööri Arto Voutilainen Iisalmen ammattiopistosta.

Haluan osoittaa kiitokseni Ylä- Savon ammattiopistolle mielenkiintoisesta työn aiheesta. Haluan myös kiittää Ylä- Savon ammattiopiston henkilökuntaa ja ohjaajaani Kari Solehmaista, jotka auttoivat minua tiedon saamisessa sekä tämän työn edistymisessä.

Kuopiossa 2010

Fedor Karpenko

SISÄLLYSLUETTELO

| | | |
|-------|--|-----------|
| 1 | JOHDANTO..... | 7 |
| 1.1 | Ylä- Savon ammattiopisto..... | 8 |
| 1.2 | Työn tausta..... | 8 |
| 2 | SUOMALAISTEN HITSAUSTUOTANNON TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT | 9 |
| 3 | ROBOTTIHITSAUS..... | 14 |
| 3.1 | Puoliautomaattioratkaisun edut..... | 14 |
| 3.2 | Turvallisuus | 15 |
| 3.3 | Robottihitsauksen tuottavuus | 16 |
| 3.3.1 | <i>Robottihitsauksen kustannukset</i> | <i>17</i> |
| 3.3.2 | <i>Robottihitsauksen kustannustehokkuuden parantaminen</i> | <i>18</i> |
| 4 | HITSAUSPARAMETRIEN VAIKUTUS MIG/MAG-HITSAUKSEEN..... | 19 |
| 4.1 | Suojakaasun vaikutus..... | 19 |
| 4.1.2 | <i>Kaarijännitteen vaikutus</i> | <i>20</i> |
| 4.1.3 | <i>Hitsausvirran ja langansyöttönopeuden vaikutus</i> | <i>21</i> |
| 4.1.4 | <i>Synergisesti ohjautuvat hitsauskoneet.....</i> | <i>21</i> |
| 4.1.6 | <i>Suutinetäisyyden ja vapaalangan pituuden vaikutus</i> | <i>22</i> |
| 4.2 | MIG/MAG-hitsauksen toimintaperiaate | 22 |
| 4.3 | Hitsattavuus..... | 23 |
| 4.3.1 | <i>Hitsiluokat ja hitsiluokan valinta</i> | <i>24</i> |
| 4.4.1 | <i>Hitsausmetallurgia</i> | <i>25</i> |
| 4.5 | Lämpötilan kehittyminen hitsauksessa..... | 29 |
| 5 | YSA WELDING 2009 projekti | 30 |
| 5.1 | Projektin tavoitteet | 31 |
| 5.2 | Toimenpiteet..... | 31 |
| 5.3 | Hitsausparametrien vaikutus..... | 34 |
| 5.3.1 | <i>Hitsausnopeus.....</i> | <i>35</i> |
| 5.3.2 | <i>Langansyöttönopeus</i> | <i>36</i> |
| 5.3.3 | <i>Kaarijännite</i> | <i>37</i> |
| 6 | KOVUUSKOKEET | 38 |
| 6.1 | Hieiden (tutkittavien näytteiden) valmistus | 38 |
| 6.2 | Mikroskooppitutkimus | 39 |
| 6.3 | Kovuuskoe..... | 39 |

| | |
|------------------|----|
| 7 POHDINTA | 40 |
| LÄHTEET | 41 |

Liite 1

Näyte A

- 1.2 Asiakirjalaji
- 1.3 Hitsausohje WPS
- 1.4 Koesauvan sijainti T-liitoksessa
- 1.5 Hitsausliitoksen silmämääräinen tarkastus
- 1.6 Mikroskooppikuvat

Liite 2

Näyte B

- 2.2 Asiakirjalaji
- 2.3 Hitsausohje WPS
- 2.4 Koesauvan sijainti T-liitoksessa
- 2.5 Hitsausliitoksen mikroskooppi analyysi (3 sivua)
- 2.6 Hitsausliitoksen silmämääräinen tarkastus
- 2.7 Mikroskooppikuvat

1 JOHDANTO

Suomalaiselle hitsaavalle teollisuudelle on tyypillistä laajahko tuotekirjo. Tämän seurauksena perinteisillä robottihitsausratkaisuilla saatava kustannussäästö manuaalivalmistukseen verrattuna on melko rajallinen.

Hitsaustuotantoa harjoittavan teollisuuden on ryhdyttävä kehittämään tuotteitaan paremmin mekanisoituun ja robotisoituun hitsaukseen soveltuviksi. Robottihitsauksen tuottavuuden ja joustavuuden kasvattamiseksi on kehitetty tuotannollisesti joustavia automatisoituja valmistusjärjestelmiä.

Robottien tarkkuudesta on hyvä selvittää robotin aseman mittaukseen käytettävää tekniikkaa. Työkalun asema robotin peruskoordinaatistossa on oleellinen liikkeiden ohjauksessa käytetty tekijä. Se määritetään yleensä laskemalla nivelkulmista ja tukivarsien kinemaattisista pituuksista työkalun paikka ja asento. Tätä kutsutaan epäsuoraksi aseman mittaukseksi. Epäsuora aseman mittaus aiheuttaa robottien ohjaukseen ongelman.

Robotin ohjauksessa ei pystytä ottamaan huomioon ulkoisten voimien ja oman painon vaikutuksesta aiheutuvaa paikkavirhettä. Tätä kutsutaan sisäisen paikanmittauksen ongelmaksi ja tästä syntyvää eroa kutsutaan robotin absoluuttiseksi tarkkuudeksi. Robotin absoluuttinen tarkkuus suhteessa jalustaan kiinnitettyyn koordinaatistoon voi olla \pm useita millimetrejä, pitkillä työkaluilla pahimmillaan jopa kymmeniä millimetrejä.

Tämä työ on jatkoa Savonia-ammattikorkeakoulun Projekti 4 -kurssille. Projektityön tavoitteena oli hitsausarvojen, nopeustiedostojen ja vaaputustiedostojen luonti ABB IRB -hitsausrobotille. Työn toteutus tapahtui Ylä-Savon ammattioppilaitoksessa ABB -hitsausrobotilla.

Nykyisin hitsauksen automatisoinnin kehittäminen on tärkein tekijä tuottavuuden parantamisessa. Automatisoinnin kannalta tärkeimpinä ovat hitsauksen toistettavuus ja tasainen laatu. Hitsaustyön lopullinen laatu ei kuitenkaan synny automaattisesti. Robotisinti vaatii selkeitä lisäpanostuksia laadunvarmistukseen.

1.1 Ylä- Savon ammattiopisto

Ylä-Savon ammattiopisto on nykyaikainen oppilaitos, joka kouluttaa monipuolisia osaajia työelämään. Lisäksi Ylä-Savon ammattiopisto tarjoaa palveluja yksityisille ja yrityksille, ravintola- ja parturi-kampaamotoiminnasta mediatuotantoon ja talonrakentamiseen. [1]

Ylä-Savon ammattiopisto kuuluu Ylä-Savon koulutuskuntayhtymään. Yhdeksän yläsavolaisen kunnan muodostama yhtymä vastaa pääosin seutukunnan ammatillisesta perus- ja aikuiskoulutuksesta sekä oppisopimuskoulutuksesta kokonaisuudessaan. [1]

Ylä-Savon koulutuskuntayhtymä on toiminut seutukuntansa laaja-alaisena kouluttajana jo vuodesta 1962 lähtien. Se tuottaa koulutuspalveluja sekä nuorille että aikuisille yhden päivän täydennyskoulutuksesta kahden tutkinnon samanaikaiseen opiskeluun kaikilla pääelinkeinoaloilla. Perustutkintokoulutuksen, oppisopimuskoulutuksen ja aikuiskoulutuksen kokonaisopiskelijamäärä on noin 1 900 vuosiopiskelijaa. [1]

Kuntayhtymällä on iso merkitys Ylä-Savon seutukunnan kehittäjänä. Se on aktiivisesti mukana koulutuksen ja elinkeinoelämän alueellisissa hankkeissa, jotka tukevat elinkeinojen sekä ammattiopiston koulutuksen ja henkilöstön kehittämistä sekä tiivistävät yritysten ja koulutuksen yhteistyötä. [1]

1.2 Työn tausta








Tämä työ käsittelee hitsausrobotin hitsausarvojen, nopeus- ja vaaputustiedostojen luontia sekä hitsien aineenkoetusta ja hitsausparametrien vaikutusta MIG/MAG-hitsaukseen. Parametrien vaikutuksen tutkimusta varten työssä tehtiin Vickers- kovuuskokeita. Aineen kovuutta voidaan kuvata aineen kykynä vastusta toisen kovemman esineen tekemiä painaumuksia. Pehmeässä materiaalissa painauma on iso. Mitä kovempi aine on, sitä pienempi on painauma.

Kokeet tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Koetta varten valmistettiin muutamia näytteitä. Näytteet valmistetaan siten, että tutkittavista kappaleista irrotetun pienehkön näytteiden pinta hiotaan, kiillotetaan peilikiltoon. Materiaalin aineenkoetusmenetelmillä tutkitaan materiaalien käyttäytymistä ja ominaisuuksia. Aineenkoetusmenetelmiä hyödynnetään esimerkiksi laadun- ja kunnonvalvonnassa.

2 SUOMALAISTEN HITSAUSTUOTANNON TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Hitsaustyön määrän odotetaan pysyvän nykytasolla tai kasvavan edelleen jonkin verran. Alihankintana ostetun hitsaustyön odotetaan kehittyvän samalla tavalla. Sen sijaan alihankinnan osuuden ns. low-cost-maista ei odoteta kasvavan merkittävästi. [12, s.13.]

Taulukko 1. Hitsaustyön määrän kehittyminen tulevaisuudessa. [12, s.13.]

| | | Prosentti | 20 % | 40 % | 60 % | 80 % | 100 % |
|----|--------------------|-----------|---|------|------|------|-------|
| 1. | < yli 50% | 4,12% |  | | | | |
| 2. | < 20 - 50% | 2,06% |  | | | | |
| 3. | < alle 20% | 6,19% |  | | | | |
| 4. | Pysymään ennallaan | 44,33% |  | | | | |
| 5. | > alle 20% | 28,87% |  | | | | |
| 6. | > 20- 50% | 12,37% |  | | | | |
| 7. | > yli 50% | 2,06% |  | | | | |

Taulukon 1 mukaisesti hitsauksen automaation asteen ei liioin odoteta nousevan radikaalisti. Toki kuitenkin niiden yritysten osuus, jotka arvioivat hitsauksen automaatioasteen jäävän tulevaisuudessakin alle 20 %:n, osuus on laskenut 19 prosenttiyksikköä, ja niiden yritysten, jotka arvioivat automaatioasteensa olevan välillä 20 – 50 %, osuus on noussut 13 prosenttiyksikköä. Tuottavuuden kasvuodotukset korreloivat kuitenkin selvästi hitsauksen automaatioasteen kanssa: yritykset, jotka odottavat tuottavuutensa kohoavan yli 10 %, odottavat myös hitsauksen automaatioasteen kohoavan. Tuottavuuden kasvua haetaan siten ensisijaisesti automatisoinnilla. [12, s.13.]

Panostus hitsausautomaatioon ei kuitenkaan näy yritysten investointiarviossa eikä suunnitelmissa hitsausrobottien tai –automaattien hankinnasta. Puolet yrityksistä arvioi investoivansa hitsauksen kehittämiseen alle 200 000 euroa, ja yli puolet yrityksistä ei usko hankkivansa yhtään uutta hitsausrobottia tai –automaattia lähivuosina. Tämä tuskin kuitenkaan kuvaa yritysten aikomusta, vaan kertoo mahdollisesti siitä, että hitsauksen robotisoinnissa on merkittäviä haasteita ja vaikeuksia. Kooltaan suurien ja pienissä sarjoissa valmistettävien tuotteiden robotisointiin on markkinoilta vaikea löytää hyvin soveltuvaa laitetarjontaa. Robottihitsaus edellyttää mm. aiempaa laajempaa ja teknisesti kehittyneempää anturointia sekä entistä nopeampia ja helppokäyttöisiä

ohjelmointitapoja. Markkinoilla on periaatteessa kaikkia tarpeet tyydyttäviä komponentteja ja järjestelmiä, mutta ne eivät kuulu yhdenkään hitsausrobottitoimittajan vakiotoimitusohjelmaan. Hyvin soveltuva hitsausrobottitoimitus edellyttäisi siten, että markkinoilta etsitään kuhunkin sovellukseen optimaaliset komponentit ja osajärjestelmät sekä saatetaan niiden toimittajat yhteistyöhön robottitoimittajien kanssa. [12, s.13.]

Prosessi on huomattavasti pidempi ja mutkikkaampi kuin perinteinen hitsausrobotin hankinta. Uusien komponenttien ja järjestelmien integrointi robottijärjestelmään edellyttää lähes poikkeuksetta ainakin pienimuotoista ohjelmistotyötä ja muutoksia robotin ohjausjärjestelmään sekä lisäyksiä järjestelmän käyttäjäkoulutukseen ja jälkimarkkinointitoimiin. Oman problematiikkansa muodostaa robottijärjestelmän toimitus- ja ylläpitovastuiden jakaminen. [12, s.13.]

Kilpailutekijät

Taulukon 2 mukaisesti tärkeimmiksi kilpailutekijöiksi tulevaisuudessa Hitsaustekniikka lehti arvioi tuotteen laadun, kustannustehokkuuden, tuottavuuden ja lyhyen toimitusajan.

Merkittävimmitse kehityskohteiksi nimettiin myynti- ja markkinointi, alihankinta ja tuotesuunnittelu.

Valmistuksen tärkeä kehityskohde on kokoonpano. Tämä kuvaa yritysten halua muuttaa rooliaan toimitusketjussa komponenttitoimittajasta järjestelmätoimittajaksi, mitä myös päätoimittajat odottavat. [12, s.14.]

Taulukko 2. Keskeisimmät kilpailutekijät tulevaisuudessa ja niiden merkitys. (12, s.14.)

| | Ei merkitystä (Arvo: 4) | Merkitys vähäinen (Arvo: 3) | Merkitys kohtalaisen suuri (Arvo: 2) | Merkitys oleellinen (Arvo: 1) | En osaa sanoa (Arvo: 0) | Yhteensä |
|--|----------------------------|--------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------|----------|
| Tuotteen laatu (avg: 1,22) | | | | | | 100% |
| Kustannustehokkuus (avg: 1,27) | | | | | | 100% |
| Tuottavuus (avg: 1,27) | | | | | | 100% |
| Lyhyt toimitusaika (avg: 1,45) | | | | | | 100% |
| Valmistusosaaminen (avg: 1,46) | | | | | | 100% |
| Tuotteen ominaisuudet (avg: 1,52) | | | | | | 100% |
| Tuotteen hinta (avg: 1,53) | | | | | | 100% |
| Kyky valmistaa yksittäis- ja piensarjatuotteita (avg: 1,6) | | | | | | 100% |
| Kyky tuotteen räätälöintiin (avg: 1,60) | | | | | | 100% |
| Keskittyminen avainteknologioihin (avg: 1,73) | | | | | | 100% |
| Suunnitteluosaaminen (avg: 1,86) | | | | | | 100% |
| Keskittyminen hitsaustuotantoon (avg: 2,15) | | | | | | 100% |

Taulukon 3 mukaisesti tulevaisuudessa kilpailutekijöissä ei odoteta merkittäviä muutoksia, mutta toimitusajan lyhyiden merkityksen arvioidaan edelleen korostuvan.

Yritysten markinnat ovat globaalit. Kotimaan osuus toimituksista on edelleen suurin, mutta Aasia on noussut Euroopan ja Pohjoismaiden jälkeen. Tärkeimmäksi markkina-alueeksi Pohjois- ja Etelä-Amerikan edelle. [12, s.14.]

Taulukko 3. Kilpailutekijöiden muutos nykyisestä tulevaisuuteen. [12, s.15.]

| Kilpailutekijä | Merkitys nyt | Merkitys tulevaisuudessa |
|--|--------------|--------------------------|
| Tuotteen laatu | 1 | 1 |
| Kustannustehokkuus | 2 | 2 |
| Tuottavuus | 3 | 2 |
| Valmistusosaaminen | 4 | 5 |
| Tuotteen ominaisuudet | 5 | 6 |
| Lyhyt toimitusaika | 6 | 4 |
| Tuotteen hinta | 7 | 7 |
| Kyky tuotteen räätälöinti | 8 | 9 |
| Kyky valmistaa yksittäis- tai piensarjatuotteita | 8 | 8 |
| Suunnittelusaaminen | 10 | 11 |
| Keskittyminen avainteknologioihin | 11 | 10 |
| Keskittyminen hitsaustuotantoon | 12 | 12 |

Hitsaavan teollisuuden keskeiset ongelmat ovat:

- 1) projektituotteiden suuri osuus, mikä johtaa pieniin valmistussarjoihin
- 2) käsin hitsauksen hallitseva osuus, mikä osaltaan johtuu tuotesuunnittelun ja työsuunnittelun puutteista
- 3) hitsauksen alhainen tuotto (< 500 g/h)
- 4) hitsaustyövoiman saannin vaikeudet ja hitsaajien peruskoulutuksen puutteet yritysten tarpeisiin.

[12, s.14.]

Myönteisenä seikkana voitiin panna merkille, että hitsauksen laadunhallinta on Suomessa hyvällä tolalla: laadunhallintajärjestelmä, nimetty ja pätevoidetty hitsauskoordinoija sekä hitsaajien pätevoidintijärjestelmä ovat käytössä suurimmassa osassa yrityksistä. Myös hitsausautomaation edellytykset ovat parantuneet. Esimerkiksi nyt hitsaavilla yrityksillä on mahdollisuus vaikuttaa tuotteiden suunnitteluun. Tarkkojen osavalmistuksen menetelmien käyttö on lisääntynyt merkittävästi ja valmistusvolyymien kasvu mahdollistaa automaation kannattavuuden. [12, s.14.]

Tulevaisuuden keskeiset kehityskohteet:

- markkinointi
- panostukset yritysten verkostotoiminnan kehittämiseen
- kokoonpanotoiminnan kehittäminen
- hitsauksen kehittäminen ensisijaisesti automaatiota lisäämällä.

Hitsauksen automatisoinnin kehittäminen on tärkein tekijä tuottavuuden parantamisessa.

Hitsauksen automatisointi ja robotisointi edellyttävät kuitenkin totusta laitehankintaprosessista poikkeavaa toimintaa. Suurten kappaleiden ja pienten valmiita, kaupallisia komponentteja ja osajärjestelmiä, mutta niiden yhteen saaminen ja sovittaminen johtavat väistämättä kokonaisuuteen, joka on luonteeltaan tuotannon kehitysprojekti perinteisen laitehankintaprosessin asemasta. [11, s.14.]

3 ROBOTIHITSAUS

Ensimmäiset kaarihitsausrobotit asennettiin suomessa vuonna 1979 ja siitä lähtien kasvu on ollut voimakasta aina tähän päivään saakka. 50-luvulla jauhekaari- ja MIG/MAG-hitsausta pidettiin automaatiomenetelmänä. Vuonna 1986 Suomessa oli noin 145 kaarihitsausrobottisovellusta. Tällä hetkellä Suomessa on noin 800 hitsausrobotia ja vuosittainen kehitys on pysynyt suhteellisen tasaisena. [10, s.37.]

Hitsauksen automatisointi on kehittynyt merkittävästi viimeisen 20 vuoden aikana.

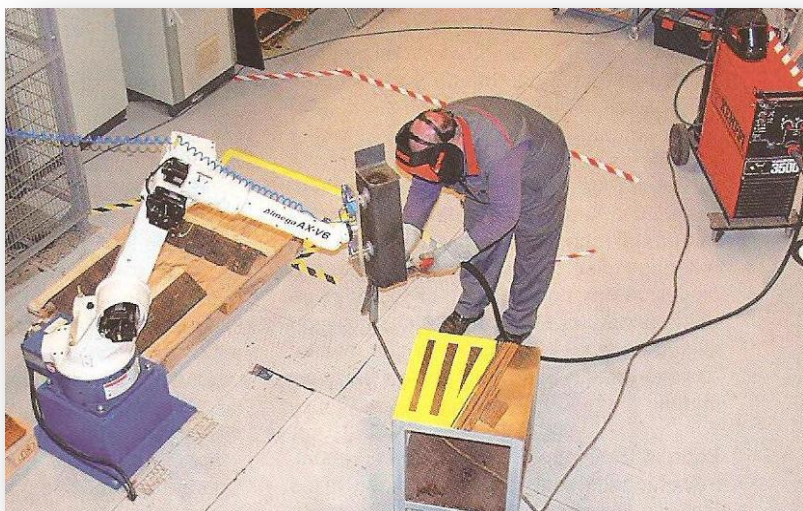
Automatisoinnilla yritetään kehittää tuotantoa kannattavammaksi. Hitsausrobotti vaatii hitsattavilta osilta usein paljon suurempaa tarkkuutta kuin käsinhitsaus. Hitsausrobotilla saadaan keskimääräinen laatu tasaisemmaksi ja paremmaksi kuin käsin hitsattaessa. Myös työympäristö, viihtyvyys ja ergonomia paranevat merkittävästi. Hitsausrobotin avulla voidaan siis tehostaa tuotantoa ja saada tuotanto myös paljon kustannustehokkaammaksi.

[10, s. 22–37.]

Robotisoidusta hitsauksesta puhuttaessa voidaan esille nostaa useita tekijöitä, jotka puoltavat sen käyttöä hitsauksessa. Tärkeimpinä näistä tuottavuuden lisäksi ovat hitsauksen toistettavuus ja tasainen laatu. Hitsaustyön lopullinen laatu ei kuitenkaan tule automaattisesti. Robotisointi vaatii selkeitä lisäpanostuksia laadunvarmistukseen yrityksessä. Tämän artikkelin tarkoitus on koota käytännön tekijöitä ja asioita jotka vaikuttavat lopulliseen laatuun robotisoinnin ja muunkin hitsauksen osalta. [11, s. 34.]

3.1 Puoliautomaattioratkaisun edut

Syitä puoliautomaattioratkaisujen käytölle on paljon. Hyvänä esimerkkinä on valmistettava tuoteperhe, jonka kokoonpanohitsaus totutetaan toistaiseksi manuaalisesti. Tuote on suhteellisen yksinkertainen, mutta useiden hitsausasentojen ja osien suurten dimensioiden vuoksi valmistuksen kaariaikasuhde on heikko. Pitkän ja painavan kappaleen käsittely työasemanostimilla jopa kahdeksan eri hitsausasennon välillä vie huomattavan suuren osan solun tahtiajasta. Kyseisistä syistä johtuen myös solun ergonomiassa on parantamisen varaa. [11, s. 19.]



Kuva 1. Robotin ohjelma on tehty palvelemaan selkeästi lyhyempää hitsaajaa. [11, s. 19.]

Raskaan kappaleenkäsittelyn siirtyessä robotille, työpisteen ergonomia paranee ja solun tuottavuus nousee huomattavasti. Menetelmä sallii myös työpisteen muokkaamisen kullekin työntekijälle sopivaksi robotin ohjelman parametrisoinnilla. Katso kuva 1. [11, s. 19.]

3.2 Turvallisuus

Teollisuusrobottien turvallisuusvaatimuksia käsittelevä standardi SFS-EN ISO 102181 tuli voimaan vuonna 2006. Aiemmasta versiosta poiketen nykyinen standardi sallii joustavamman kanssakäymisen ihmisen ja robotin välillä. Olennaisimpana erona aiempaan on lähinnä robotin paikallaan pysyminen, joka sallitaan nykyisin myös servovirrat kytkettynä. Tällöin toiminnan jatkaminen häiriön jälkeen on sallittua ilman erillistä turvajärjestelmän kuittausta. Kyseinen toiminta edellyttää toki robottiohjainta, joka tukee kyseistä toimintoa. Yleensä kyseisen kaltaisesta ohjaimesta käytetään nimitystä turvakontrolleri, joka käytännössä tarkoittaa kahdennettua paikoitus- ja liiketiedon mittausta robottikäsiarvassa. Turvakontrollerissa toisen järjestelmän tarkoituksena on valvoa robotin liiketilan ja aseman pysymistä annetuissa rajoissa. Perinteisestä valoverhosta ja laserskannerista poiketen valvottavat alueet määritellään käytetyssä laitteistossa vapaamuotoisina kolmiulotteisina tiloina. Järjestelmän määrittelyn jälkeen kattoon kiinnitetty kameralaitteisto valvoo solun aluetta ja hidastaa robotin liikettä tai pysäyttää sen kokonaan ennalta määrättyjen alueiden mukaisesti.

Solun toimiessa normaalisti, robotti tuo hitsattavan tuotteen työntekijän ulottuville ja jää odottamaan. Mikäli hitsaaja on varoitusalueella, alue aktivoituu ja robotin liikenopeuksia alennetaan, mutta solun toiminta jatkuu. Mikäli hitsaaja on varoitusalueella, alue aktivoituu ja robotin liikenopeuksia alennetaan, mutta solun toiminta jatkuu. Mikäli hitsaaja kuitenkin liikkuu liian

lähelle robottia sen liikkeessa, robotin liike pysähtyy. Liike pysähtyy myös silloin, kun robottia lähestytään hitsausalueen ulkopuolelta.






Operaattori voi hitsata noudetut osat yhteen, kun robotti on tuonut osat hitsauspaikalle. Operaattorin siirtyessä hitsausasemaan hän aktivoi samalla hitsaukseen määritellyn pysäytysalueen. Robotti pysähtyy odottamaan vaiheen valmistumista pysäytysalueen ollessa aktivoituna. Kussakin vaiheessa tehtävien hitsien laessa valmiina, operaattori ottaa muutaman askeleen taaksepäin pois pysäytysalueelta, jolloin robotti orientoi työkappaleen seuraavaan hitsausasemaan. [11, s. 20.]

3.3 Robottihitsauksen tuottavuus

Robotti hitsaa kolmen käsihitsaajan verran. Jos verrataan kaariaikasuhdetta käsin ja robotti hitsauksessa, tulevat seuraavat luvut:

- käsin hitsaus 15 – 35 %
- robotti hitsaus 60 – 90 %
- MIG/MAG- hitsauksen tuottavuus on noin 2 - 14 kg/h
- suurteho MIG/MAG hitsauksen tuottavuus on noin 15- 25 kg/h.

Taulukko 4. Hitsiaineen tuotto Suomenkonepajoissa. [6]

| | 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% |  | | | | |

Taulukon 4 mukaisesti, hitsaustuotannon automaatioaste Suomessa tyypillisesti alle 20 %. Automaattihitsauksen vaikutus hukkuu dominoivaan käsin hitsaukseen. Keskimääräinen hitsiaineen tuotto Suomen konepajoissa on noin 0,5 kg / h. [6]

3.3.1 Robottihitsauksen kustannukset

Perinteisen robottihitsauksen investointi on noin 150 000 – 250 000 €.

Pääomakustannukset 2/1 vuorotyössä ovat noin 15 - 50 €/h.

Operaattori maksaa 25 €/h.

Kokonaiskustannukset ovat 40 - 75 €/h.

Vastaava käsinhitsauskustannus on 75 €/h (sama hitsausteho).

Vastaava käsinhitsaustyö maksaa noin 75 - 150 €/h.

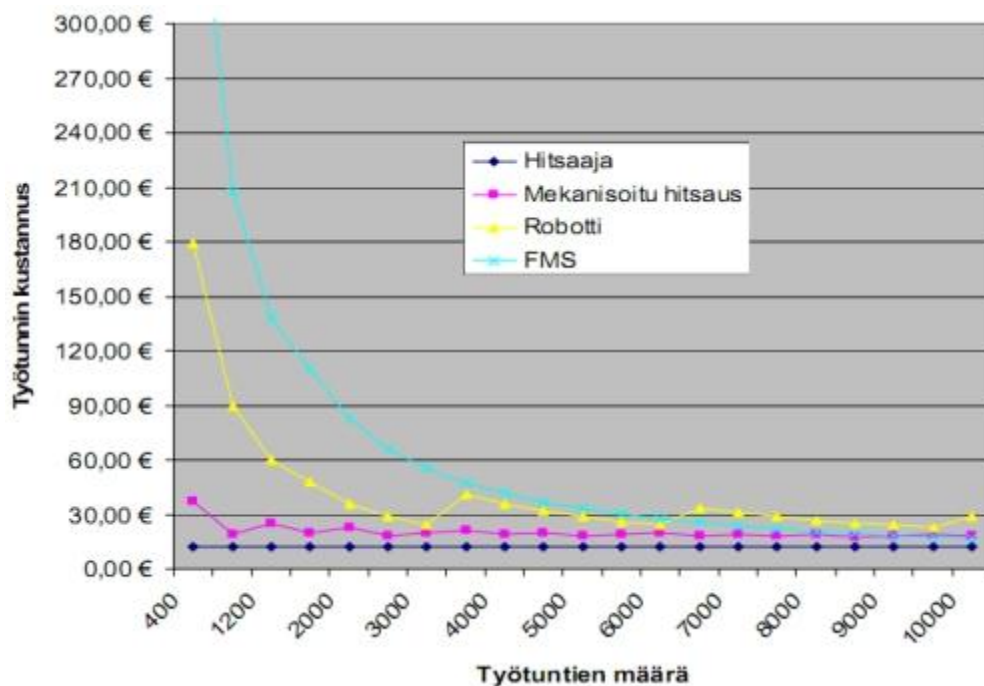


Kuva 2. Robottihitsausautomaatio [6]

Esimerkiksi hitsauksen FMS/osittain miehittämätön robottihitsauksessa investointi on noin 0,3 - 3 miljoona euroa. Operaattorit maksavat 15 €/h. Kokonaiskustannukset ovat 70 €/h. Esimerkiksi vastaava käsinhitsauskustannus on 10 hitsaajan työ, ja se maksaa noin 250 €/h. Vastaava käsinhitsaustyö maksaa 12 - 25 €/h. [6]

3.3.2 Robottihitsauksen kustannustehokkuuden parantaminen

Kaariaikasuhteen maksimointi tarkoittaa asetusajkojen minimointia. Robottihitsauksen kustannustehokkuuden parantaminen onnistuu silloin kun vähennetään hitsimäärää. Railoilavuuden pienentäminen, tunkeman hyödyntäminen, hitsien tarkka mitoitus ja hitsaus vähentävät hitsimäärää. Kuvassa 3 on esitetty hitsauksen automatisoinnin kilpailukyky.



Kuva 3. Hitsauksen automatisoinnin kilpailukyky [6]

Esimerkiksi tunkeuman hyödyntäminen pienahitsauksessa parantaa myös kustannustehokkuutta. Käytetään argonvaltaista suojakaasua, sormimaista tunkeumaprofiilia, kuumakaarihitsausta ja robottihitsauksen vaaputtavaa railonseurantaa. Tunkeumaa hyväksi käyttämällä voidaan käyttää pienempää a-mittaa. Jos a-mitta oli 10 mm, muutetaan sen a5:ksi ja hitsaustyösäästöksi tulee 75 %. Tietenkin kaikki muutokset tehdään hitsausohjelman (WPS) mukaan. [6]

Hitsauksen automatisoinnin kehittämisen tärkein tekijä on tuottavuuden parantaminen. Hitsauksen automatisointi ja robotisointi edellyttävät kuitenkin totutusta laitehankintaprosessista poikkeavaa toimintaa. Suurten kappaleiden ja pienten valmistussarjojen robottihitsaukseen on rakennettava tapauskohtaisesti räätälöityjä järjestelmäratkaisuja. Niissä voidaan käyttää valmiita, kaupallisia komponentteja ja osajärjestelmiä, mutta niiden yhteen saaminen ja sovittaminen johtaa kokonaisuuteen, joka on luonteeltaan tuotannon kehitysprojekti perinteisen laitehankintaprosessin asemasta. [6]

4 HITAUSPARAMETRIEN VAIKUTUS MIG/MAG-HITSAUKSEEN

Hitsi on hitsauksen tulos ja käsittää kaiken hitsauksen aikana sulassa tilassa olleen aineen. Hitsi on siis hitsaamalla valmistettu liitos tai päälle hitsauksella valmistettu halutut ominaisuudet omaava kerros. [7, s. 22.]

Hitsin laatuun vaikuttaa monta tekijää: hitsausliitos, railon valmistus, a-mitta, lämmöntuonti ja energiatiheys. Kun hitsausrailo, liitos, koneet ja hitsaaja ovat oikeat, hitsin laatuun vaikuttavat vain hitsausparametrit.

MIG/MAG-hitsauskoneen tavallisimmat säätimet ovat langansyötön säätö, hitsausjakson pituuden säätö, kaarijännitteen säätö ja kaarijännitteen hienosäätö. Nykyisessä MIG/MAG-hitsauksessa säädetään kaarijännitettä ja virtaa. Jännitteen ja virran eli langansyötön suhde on hitsauksen lämpöteho. Ohuille perusaineille valitaan pienempi ja paksuille suurempi lämpöteho. Säädöt valitaan siten, että valokaari palaa vakaasti, jolloin saadaan työpiste. Jännitettä tai langansyöttöä voidaan muuttaa työpisteen suhteen tietyissä rajoissa valokaaren vielä palaessa vakaasti. Saatu alue on työalue.

Hitsausparametrien valintaan vaikuttaa useat eri tekijät: perusaine ja sen hitsattavuus, lämmöntuontirajoitukset, ainepaksuudet, railonvalmistus, käytävissä olevat laitteet, lisäaineen saatavuus ja hinta, laatuvaatimukset, ammattitaito, asennustarkkuus, työympäristö, hitsausasennot ja hitsauksen mekanisointi.

4.1 Suojakaasun vaikutus

Väärät hitsausparametrit aiheuttavat monenlaisia virheitä. Roiskeet, reunahaava, halkeamat, korkea hitsauskupu, sytytysjälki ja niin edelleen, kaikki nämä virheet voivat tulla vääristä hitsausparametreista. Esimerkiksi suojakaasun virtauksen säätö onkin tärkeä asia hitsauksessa. Kaaritilaan kaasusuuttimella ohjatun suojakaasun virtausnopeuden tulee olla riittävästi suuri, jotta se syrjäyttää ilman kaaritulasta eikä ole herkkä vedolle. Toisaalta liian suuri virtausnopeus aiheuttaa kaasuvirtaukseen pyörteisyyttä, mikä voi sekoittaa ilmaa kaaritilaan.

Suojakaasun virtauksen säätöön vaikuttavat seuraavat tekijät:

- suojakaasun tyyppi
- hitsausteho
- railomuoto
- ympäröivän ilman virtausnopeus
- liitosmuoto.

Teräksien hitsauksessa suojakaasun virtausmäärä voidaan laskea karkeasti seuraavalla kaavalla. [7, s. 121.]

$$V = d \times 12 \text{ l/min}$$

V (virtausmäärä l/min)

d (langan halkaisija mm).

Ohjeavrot koskevat argonia ja argonhiilidioksidiseoksia. Mikäli käytetään kevyempiä kaasuja, on virtausmääriä lisättävä saman suojauksen saamiseksi. Heliumvaltaisten seoksen virtauksen täytyy olla 2 - 3- kertainen. Argonvaltaisten heliumseoksilla n. 1,5 – 2 kertaa suurempi kuin argonhiilidioksidiseoksilla. [7, s. 121.]

4.1.2 Kaarijännitteen vaikutus

Kaarijännite säädetään valitsemalla virtalähteen ominaiskäyrän korkeusasema virtajännitekentässä. Kaarijännite riippuu siitä, millaista kaarityyppiä hitsauksessa käytetään:

- lyhytkaari: noin 15 V – 20 V
- sekakaari: noin 20 V – 25 V
- kuumakaari: noin 25 V – 38 V.

Valokaaren pituus säätyy kaarijännitteen mukaan. Suuri kaarijännite langansyöttöön nähden aiheuttaa pitkän valokaaren. Jos nostetaan kaarijännitettä langansyötön pysyessä entisenä, valokaari pitenee ja valokaari koskettaa laajempaa aluetta perusaineessa. Koska sulanut lisäaine leviää laajemmalle alueelle, hitsipalosta tulee leveämpi ja hitsin kupu muodostuu matalaksi. [7, s. 22.]

Pitkä valokaari pienentää tunkeumaa perusaineessa. Suuri jännite korottaa hitsisulan lämpötilaa ja aiheuttaa sen, että sula on herkkäliikkeistä ja vaikea hallita asentohitsauksissa. [7, s. 22.]

Jos kaarijännitettä suurennetaan, niin

- valokaari pitenee
- tunkeuma pienenee
- hitsipalko levenee ja kupu madaltuu
- hitsisulasta tulee herkkäliikkeisempää
- lämmön vaikutusalue tulee suureksi
- roiskeet lisääntyvät
- tunkeuma jää pieneksi
- syntyy reunahaavaa
- muodostuu huokosia
- seosaineita palaa pois
- lanka voi palaa kiinni virtasuuttimeen.

4.1.3 Hitsausvirran ja langansyöttönopeuden vaikutus

MIG/MAG-virtalähteet ovat vakiojännitteisiä, joten hitsausvirta säätyy langansyötön mukaan. Langansyöttönopeuden hitsausvirran tulee olla oikeassa suhteessa kaarijännitteeseen, jotta valokaari on vakaa. Jos lisätään langansyöttöä, hitsausvirta suurenee samanaikaisesti jännitteen pysyessä lähes muuttumattomana. [7, s. 122.]

Langansyötön virran lisäys lisää tunkeumaa. Liian suuri langansyöttönopeus kaarijännitteeseen nähden aiheuttaa langan tökkimistä perusaineeseen, koska kaaren teho ei ehdi sulattaa vakionopeudella työntyvää lisäainelankaa. Sulatusteho kaareissa on virta x kaarijännite ($P = I \times U$). Liian pieni langansyöttönopeus verrattuna jännitteeseen pidentää valokaarta ja aiheuttaa ääritilanteissa langan kiinnisulamisen kosketussuuttimeen.

4.1.4 Synergisesti ohjautuvat hitsauskoneet

Synerginen = yhteisvaikutteinen

Uusimmat hitsauskoneet on rakennettu siten, että ohjauselektronikka huolehtii langansyötön ja jännitteen säätäytymisen oikeassa suhteessa toisiinsa nähden koneen muistiin ohjelmoidun ominaiskäyrän mukaan yhteisvaikutteisesti eli synergisesti. Synergisen hitsauskoneen säätäminen suoritetaan yhdestä säätönupista, jolla muutetaan koneen mukaan, joko langansyöttöä tai jännitettä, ja ohjauselektronikka huolehtii samanaikaisesti toisen muuttujan säätäytymisestä.

Hitsaajalla on mahdollisuus laatia ja tallentaa omia synergiakäyriä koneen muistiin erilaisia lisäaineita ja suojakaasuja varten.

[7, s. 122.]

4.1.5 Hitsausnopeuden vaikutus

Hitsausnopeus (kuljetusnopeus) vaikuttaa hitsin tunkeumaan ja hitsipalon muotoon. Pienellä hitsausnopeudella muodostuu suuri hitsisula. Valokaari palaa hitsisulan päällä, jolloin tunkeuma jää pieneksi ja sula voi vyöryä edelle aiheuttaen liitosvirheen. Suurella hitsausnopeudella muodostuu pieni tunkeuma ja kapea hitsipalko. [7, s. 124.]

4.1.6 Suutinetäisyyden ja vapaalangan pituuden vaikutus

Suutinetäisyydellä säädetään vapaalangan pituutta. Nostamalla pistoolia vähän ylöspäin suutinetäisyys kasvaa ja vapaalanka pitenee vastaavasti, jolloin sähköinen vastus kasvaa. Kaaritehosta osa kuluu vastuksen aiheuttamaan vapaalangan kuumenemiseen, jolloin sulamissyvyys jää pienemmäksi eli tunkeuma pienenee. Vastaavasti laskemalla pistoolia alaspäin vapaalanka lyhenee, virta suurenee ja tunkeuma kasvaa. Tällaista hienosäätöä voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi V-railon juuripalon hitsauksessa. [7, s. 123.]

Hitsauspistoolin kuljetusasento vaikuttaa hitsipalon muotoon ja tunkeumaan. Kaaripaine kohdistuu langansuuntaisena hitsisulaan, joten pistoolin asennolla vaikutetaan myös sulan virtaamaan.

Hitsaus voidaan tehdä työntävällä, kohtisuoralla tai vetävällä pistoolin asennolla.

Pistoolin työntävää asentoa käytetään pyrittäessä pieneen tunkeumaan ja matalaan hitsikupuun esimerkiksi ohuiden perusaineiden hitsauksessa. [7, s. 123.]

4.2 MIG/MAG-hitsauksen toimintaperiaate

MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausta, jossa kelalla oleva lisäainelanka syötetään monitoimikaapelin ja pistoolin kautta hitsauskohtaan. Hitsi muodostuu valokaaren sulattamasta perus- ja lisäaineesta. Suojakaasu suojaa valokaarta ja hitsisulaa. Työkappale ja virtalähde on yhdistetty maadoituskaapelilla. [2, s. 186.]

Puoliautomaattisessa hitsausmenetelmässä lisäaineena käytettävää lanka syötetään automaattisesti vakionopeudella suojakaasulla suojattuun hitsauskohtaan, jossa lisäainelangan kärjen ja perusaineen välissä palava valokaari sulattaa lisä- ja perusainetta.

Ylä- Savon ammattipiston hitsausrobotin solussa käytössä on seoskaasu (92 % Ar 8 % CO₂).
Kaikki hitsausohjelmat ja parametrit on tehty tällä suojakaasulla. [2, s. 186.]

4.3 Hitsattavuus

Hitsattavuus riippuu materiaalin kemiallisesta koostumuksesta, yhdistetystä aineenpaksuudesta, hitsausenergiasta ja hitsiaineen vetypitoisuudesta. Monet näistä parametreista ovat suunnittelijalle tuntemattomia, ja siksi hitsauskoordinoijan ja suunnittelijan saumaton yhteistyö on tärkeää. Hitsattavuuden arvioimisen apuvälineiksi on olemassa myös erityyppisiä tietokoneohjelmia.

Sulahitsaus on metallurginen prosessi, jossa perusaine ja mahdollinen lisäaine kuumennetaan sulaan tilaan. Tuotu lämpö aiheuttaa muutoksia sulan metallin vieressä olevalla kiinteällä alueella eli muutosvyöhykkeellä. Jos suojaus ei ole riittävä, reagoi sula metalli myös ympärillä olevan ilman kanssa. Silloin hitsi hapettuu ja voi heti turmeltua.

[8, s. 103.]

Hitsin laatu riippuu virheiden muodosta ja määrästä. Näitä esiintyy aina hitsauksessa. Virheet eivät saa olla suurempia kuin hitsien hyväksymisrajoja määrittelevissä standardeissa sallitaan.

Hitsausolosuhteiden tulisi olla sellaiset, että hitsausvirheiden syntyminen pystytään estämään tai minimoimaan ja että pystytään tekemään laatuvaatimukset täyttävä hitsi. Lisäksi hitsausjännitykset olisi pyrittävä pitämään mahdollisemman pieninä. Usein hitsattujen rakenteiden erittäin vakavat vauriot aiheutuvat sallittua suuremmista hitsausvirheistä. [8, s. 103.]

Hitsattavuuden määrittämisessä otetaan huomioon hitsattavan tuotteen kokonaisuus: rakenteelle asetetut vaatimukset, perusaineen ominaisuudet ja valmistuksen asettamat vaatimukset sekä rajoitukset. Hitsattavuus on sitä parempi, mitä vapaammin hitsausmenetelmä voidaan valita, mitä vähemmän esivalmistelua joudutaan tekemään ennen hitsausta sekä jälkikäsittelyä hitsauksen jälkeen.

Hitsattavuudelle on olemassa myös suomalainen SFS-standardin mukainen määritelmä, mutta käytännössä saksalainen DIN-standardin määritelmä ottaa hitsaukseen vaikuttavat osatekijät laajemmin huomioon.

Hitsauksessa on aina oleellista pyrkiä estämään isojen ja pienten halkeamien syntymistä, hauraitten rakenneosien muodostumista ja haurasmurtumia.

E erityisen ongelmallisia ovat kylmähalkeamat, koska ne voivat ilmestyä vasta kymmenien tuntien kuluttua hitsauksen jälkeen.

4.3.1 Hitsiluokat ja hitsiluokan valinta

Hitsit jaetaan B-, C- ja D-luokkiin. Tiukimmat vaatimukset ovat hitsiluokassa B.

Hitsiluokan vaatimukset annetaan hitsin erilaisten ulkoisten ja sisäisten virheiden sallittuna tyyppinä, muotona ja kokona. Hitsiluokissa huomioidaan, että haurasmurtumisen ja väsymisen suhteen ulkoiset hitsausvirheet ovat vakavampia kuin sisäiset. [8, s. 138.]

Taulukossa 5 esitetään hitsiluokkien B, C ja D laatuvaatimukset.

Taulukko 5. Hitsiluokat [8, s. 138.]

| Hitsiluokka | Laatuvaatimus |
|--|---------------|
| D | Tyydyttävä |
| C | Hyvä |
| B | Vaativa |
| Standardissa SFS-EN ISO 5817 hitsiluokka C on tarkoitettu staattisesti kuormitetuille rakenteille sekä paineasteille ja hitsiluokka B väsyttävästi kuormitetuille rakenteille. | |

Hitsiluokka B on yleisesti voimassa nostureiden, painelaitteiden ja muiden hyvin vaativien rakenteiden valmistuksessa. Asiakkaat eivät välttämättä hyväksy eräitä luokassa C sallittuja epäjatkuvuuksia. Meriympäristö vaati äärimmäisen hyvää pintakäsittelyä ja eräät epäjatkuvuudet heikentävät korroosionkestävyyttä. [8, s. 138.]

Hitsiluokan valinta on tärkeä, koska hitsiluokan valinnalla määritetään merkittäväällä tavalla hitsauksen valmistus- ja tarkastuskustannukset. Tämän takia on ensiarvoisen tärkeää, että suunnittelija tuntee eri hitsausprosessien mahdollisuudet ja rajoitukset. [8, s. 138.]

4.4 Hitsausliitoksen rakenne

Hitsauksen aikana liitoskohdan lämpötila on ylittänyt perusaineen ja lisäaineen sulamislämpötilan, jolloin hitsin sulaneen alueen kiderakenne on muodostunut valumaiseksi. Hitsin keskialueella on puhtaan lisäaineen muodostama vyöhyke. Keskialueelta perusaineelle päin siirryttäessä tullaan lisäaineen ja perusaineen muodostamalle seostuneelle vyöhykkeelle, joka rajoittuu perusaineen sulatunkeumarajaan asti. Sekoittumisaste riippuu käytettävästä hitsausmenetelmästä, railomuodosta, hitsausparametreista sekä hitsauspalkojen lukumäärästä.

Suurilla hitsaustehoilla hitsattaessa sulatunkeumaraja siirtyy syvemmälle perusaineeseen ja sekoittuminen on suurempaa. Kapeaa hitsausrajoa käytettäessä lisäaineen määrä jää pieneksi perusaineen osuuden kasvaessa seostumisessa. Minipalkohitsauksessa seostuminen jää pieneksi, johtuen pienemmästä lämmöntuonnista. Hitsauksen aikana hitsausliitosalueella lämpövaikutukset muodostavat kiderakenteeltaan erilaisia alueita.

[7, s. 24.]

Hitsiaine, puhdasta lisäainetta sekä lisäaineen ja perusaineen seosta. [7, s. 24.]

Sulatunkeumaraja, missä perusaine on osittain sulanut. [7, s. 24.]

Karkearakeinen vyöhyke, jonka alueella austeniitin rakekoko on kasvanut korkean lämpötilan takia.

[7, s. 24.]

Hienorakeinen vyöhyken alueen lämpötila on jäänyt austenoitumisalueen alaosaan ja austenoituminen on tapahtunut, mutta rakekoko ei ole kasvanut. [7, s. 24.]

Osittain austenoitunut vyöhyke. Tässä lämpötila on kohonnut 780–870 °C: seen. Yleensä osittain austenoituneet vyöhykkeet eivät ole kriittisiä, mutta nopea jäähtyminen voi korkeahiilisillä alueilla muodostaa hauraita martensiittisiä rakeita. [7, s. 24.]

Karbidien palloutumisvyöhyke. Tällä vyöhykkeellä lämpötila on ollut 550- 720 °C. Teräksillä, joiden valmistuksessa ei ole käytetty tiivistykseen alumiinia, voi lämpövyöhykkeellä tapahtua hitsausjännitysten aiheuttaman plastisen muodonmuutoksen seuraksena myötävänhenemistä.

Liitosalueen ominaisuuksien kannalta kriittisiä ovat sularaja, karkearakeinen vyöhyke ja suurilla hitsausenergioilla myös hitsiaine. [7, s. 25.]

4.4.1 Hitsausmetallurgia

Hitsauksen aikana sulassa materiaalissa tapahtuu useita metallurgisia asioita; metalli sulaa ja jähmettyy, suojakaasun ja sulan sekä kuonan ja metallin välillä tapahtuu reaktioita. Lisäksi hitsauskohdan välittömässä läheisyydessä kiinteässä tilassa olevassa perusmateriaalissa tapahtuu lämpösyklin ja kutistumisen aiheuttamia sisäisten jännitysten kasvua sekä faasimuutoksia. Itse hitsaustapahtuma on erittäin nopea; se tapahtuu sekunnin murto-osissa.

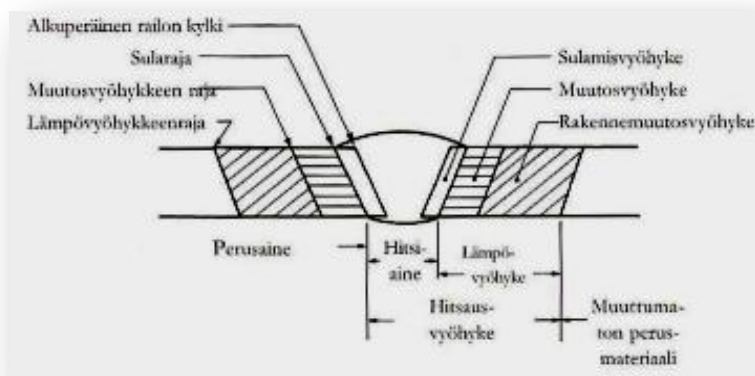
Hitsausmetallurgia poikkeaa ”tavallisesta” metallurgiasta monessa asiassa. Monia hitsaukseen liittyviä ongelmia voidaan vähentää tai välttää kokonaan, kun ymmärretään ne metallurgiset periaatteet, jotka hitsauksen ja jäähtymisen aikana vaikuttavat. [8, s. 90.]

4.4.2 Hitsausteknisiä määritelmiä

Kun puhutaan hitsauksesta, tarkoitetaan ensisijaisesti liitoshitsausta, kahden tai useamman perusmateriaalista valmistetun kappaleen yhteenliittymisestä. Toinen hitsauslaji on päällehitsaus, jossa materiaalia päällystetään hitsiaineella. [8, s. 91.]

Hitsausliitos

Hitsausliitoksella tarkistetaan hitsiainetta ja hitsausvyöhykettä hitsin välittömässä läheisyydessä. Kuvassa 4 on esitetty hitsausliitoksen vyöhykkeet. Vyöhykkeiden tärkeät hitsaustekniset käsitteet on esitetty standardissa SFS 3052. [8, s. 91.]



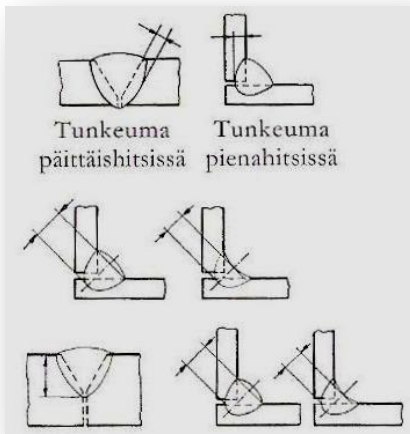
Kuva 4. Hitsausliitoksen vyöhykkeet. [8, s. 91.]

Railon valmistus

Ennen hitsausta liitospinnat on muotoiltava eli on tehtävä railot hitsausta varten. Railot tulee valmistaa niin, että hitsaus voidaan suorittaa parhaalla mahdollisella tavalla. Railot voidaan valmistaa termisesti leikkaamalla, koneistamalla tai vesisuihkuleikkauksella. Metalliteollisuuden keskusliiton MET, Tekninen tiedote 6/90 ” Hitsausrailot: Vaatimukset, valmistusmenetelmät, toleranssit ja taloudellisuus” esittää suosituksia sopiviksi liitosmuodoiksi eri materiaaleille, ainepaksuuksille ja hitsausmenetelmille. [8, s. 92.]

A-mitta

Hitsaus voidaan tehdä pienahitsinä tai päittäishitsinä, jos kummatkin kappaleet sijaitsevat samassa tasossa. [8, s. 91.]



Kuva 5. Hitsausliitokset [8, s. 91.]

Hitsin a-mitta on tärkeä käsite (ks. kuva 5). Katso kuva 5. Se on ideaalisen tasakylkisen pienahitsin korkeus, joka voidaan piirtää liitospintojen ja hitsin pinnan väliin. Päittäishitsissä a-mitta on yhtä kuin läpihitsatun materiaalin paksuus. [8, s. 91.]

Lämmöntuonti ja hitsausenergia

Lämmöntuonnilla Q (kJ/mm) tarkoitetaan kaarihitsauksen yhteydessä hitsauksessa käytettyä energiaa, joka ilmoitetaan yleensä hitsin pituusyksikköä kohti. Lämmöntuonti vaikuttaa oleellisesti jäähtymisnopeuteen. [8, s. 92.]

Lämmöntuonti lasketaan seuraavasti:

$$Q = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000} \cdot \eta$$

Hitsausenergia (kaarienergia) E (kJ/mm) on

$$E = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000}$$

Jossa U = kaarijännite (volttia)
I = hitsausvirta (ampeeri)
v = hitsausnopeus (mm/min)
η = hitsausmenetelmän hyötysuhde

| | |
|--------------------|-----------|
| Puikkohitsaus | η = 0,80 |
| MIG/MAG-hitsaus | η = 0,80 |
| Jauhekaari-hitsaus | η = 1,0 |
| TIG- hitsaus | η = 0,60. |

Jäähtyminen on pienellä lämmöntuonnilla nopeampaa kuin suurella. Kun hitsataan terästä, jonka hiilikvivalentin arvo (C_e) on korkea ja jonka aineenpaksuus on suuri, on ennen hitsausta tarkistettava mahdollisen korotetun työlämpötilan tarve, jotta vältetään kylmähalkeamilta. [8, s. 92.]

Taulukko 6. Lämmöntuonti hitsattaessa 4 mm paksua teräslevyä. [7, s. 92.]

| Hitsausprosessi | Hitsausenergia (kJ/mm) |
|------------------|------------------------|
| Laser | < 0,1 |
| Elektronisuihku | < 0,15 |
| Plasma | < 0,6 |
| MIG/MAG | < 0,8 |
| TIG | < 1,35 |
| Jauhekaari (SAW) | < 1,5 |
| Puikko | < 2,4 |
| Kaasu | < 5,3 |

Energiatiheys

Energiatiheys kertoo energian määrän pinta-alayksikköä kohti. Kun hitsataan prosessilla, jonka energiatiheys on matala, leviää lämpö laajalle alueelle perusaineeseen ja kestää kauemmin ennen kuin materiaali saadaan sulamaan. Tällöin kuljetusnopeus on pieni ja muutosvyöhyke leveä.

Matalan energiatiheysten etuna on se, että hitsausta on helpompi kontrolloida, koska on enemmän aikaa energian tuomiseen ja sulan hallintaan. Tätä hyödynnetään vaativissa käsin tehtävissä asentohitsauskohteissa, joista tyypillisimpiä esimerkkejä ovat erilaiset putkien kaasu- ja TIG-

hitsaukset. Hitsausprosesseilla, joilla on korkea energiatiheys, esim. laser- ja elektronisuihkuhitsaus, voidaan hitsata suurilla hitsausnopeuksilla. Tällöin hitsausenergian leviäminen perusaineeseen on vähäistä ja siten myös muodonmuutokset pieniä. [8, s. 93.]

Hitsattaessa prosesseilla, joilla on korkea energiatiheys, hitsin tunkeumakuvio on kapea. Tämä asettaa suuria vaatimuksia esivalmistukselle, koska hitsauspään täytyy olla tarkasti hitsauskohdassa ja railojen tarkkoja sekä tasalaatuisia. Hitsauspään liikkeen on oltava toistettavissa, ja se tehdään joko mekanisoidusti tai robotilla.

4.5 Lämpötilan kehittyminen hitsauksessa

Hitsaus merkitsee hitsin ympärillä olevan perusmateriaalin lämpökäsittelyä. Muutosvyöhykkeen suuruuteen vaikuttavat lämmöntuonti, materiaalin paksuus ja hitsausnopeus. Perusaine jäädyttää hitsiä, mutta samanaikaisesti tuotu lämpö kuumentaa sitä. Paksu materiaali jäädyttää enemmän kuin ohut. [8, s. 94.]

Korkean lämpötilan taso

Kaarihitsauksessa reaktioita tapahtuu sekä kaasun ja metallin että kuonan ja metallin välillä. Nämä tapahtuvat elektrodin kärjessä, valokaarella ja sulan tilan ”kuumassa” osassa valokaaren alla. Korkean lämpötilan taso on alueella 1 600 - 2 400°C. [8, s. 94.]

Jäähtymistaso

Jäähtyminen alkaa, kun valokaari on siirtynyt railossa eteenpäin. Jäähtyessä tapahtuu eimetallisten faasien erkautumista sulaan. [8, s. 94.]

5 YSA WELDING 2009 projekti



YSA WELDING HR 2009 -projektin toteutus tapahtui Ylä- Savon ammattioppilaitoksessa, ABB- hitsausrobotilla. Projektin toteutukseen käytettiin noin 185 tuntia. Kuvassa 6 on esitetty Ylä-Savon ammattiopiston hitsausrobotin solu.

Kuva 6. Ylä-Savon ammattiopiston hitsausrobotin solu.

Projektin toteutus vaatii metallialan ammattitaitoja, metallipajan koneiden ja laitteiden käyttötaitoja, kokemusta ja tietenkin käsihitsauskokemusta. Ennen hitsaamista ja hitsausarvojen hakemista piti valmistaa hitsauksessa käytetyt koekappaleet.



Kuva 7. Ylä-Savon ammattiopiston konepajan levyleikkuri.



Kuva 8. Koepalat.

Projektin aikana jouduttiin hitsaamaan monta levyä (ks. kuva 8). Niiden vahvuudet olivat 3 – 12 mm. Ne hitsattiin PA- ja PB-asennoissa. Yhden asennon koehitsaamista varten tarvittiin vähintään 30 koekappaletta. Projektin aikana valmistettiin yli 200 koekappaletta.

Hitsausarvojen hakemista varten hitsausrobotilla oli virtuaalinen hitsaussolu (ks. kuva 9). Tietokone oli robotin vieressä, ja RobotStudio ohjelman avulla haettiin tarvittavia hitsausarvoja.



Kuva 9. Hitsausrobotilla oleva tietokone.

5.1 Projektin tavoitteet

Hitsaus-, vaaputus- ja seurantatiedostojen luonti. Työn tavoitteena oli myös oppia hitsausrobotin käyttöä ja ohjelmointia.

5.2 Toimenpiteet

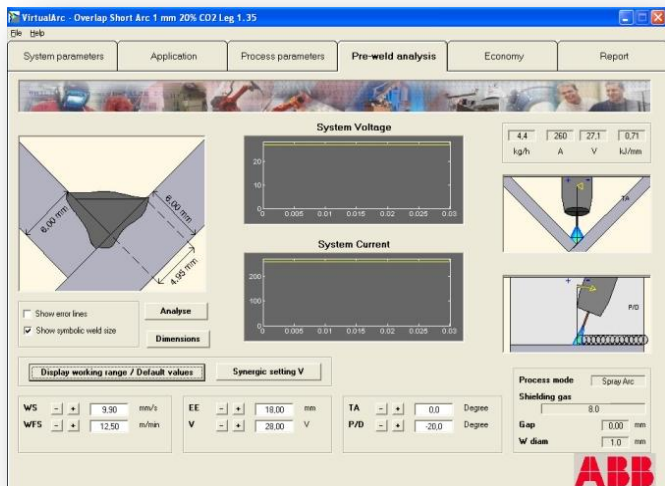
Työ oli aikaa ja kärsivällisyyttä ottava, koska käytännössä kaikki mahdolliset ainevahvuudet jouduttiin koehitsaamaan ja vaaputuksen käyttö jouduttiin huomioimaan omana welddata yhdistelmänään. Railonseuranta vaatii vaaputuksen käyttöä.

1. ABB IRB -hitsausrobotin koneen käytettävyyden tutkimus

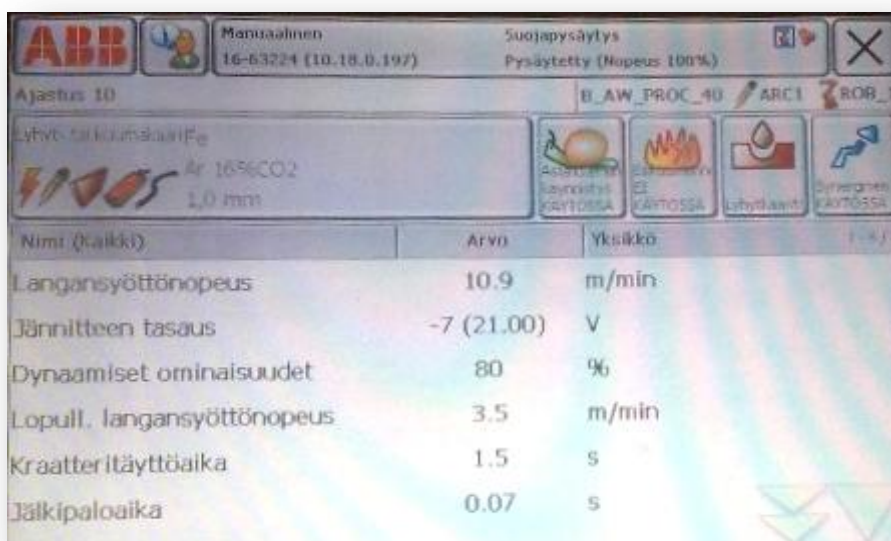
Tutkimus tapahtui Ylä-Savon ammattiopiston metallipajassa. Asiantuntijana toimi Arto Voutilainen, Ylä-Savon ammattiopiston insinööri. Hitsausrobotisolu on ammattiopiston metallipajassa, ja työn aikana se oli vapaana koko ajan.

2. Hitsausarvojen luominen

Hitsausarvojen luomista varten hitsausrobotin solun vieressä oli tietokone, jota käytettiin apuna parametrien hakemissa Virtual Robot Studio -ohjelman avulla. Hitsausarvojen luonti oli helppoa ja yksinkertaista. Huomattiin, että 80 % annetuista arvoista oli oikeita. Mikäli saadut arvot olivat jostain syystä huonot, haettiin uudet arvot väärin arvojen perusteella. Hitsausarvodata sisältää langansyöttönopeuden, jännitteen ja kuljetusnopeuden (ks. kuvat 11 ja 12).



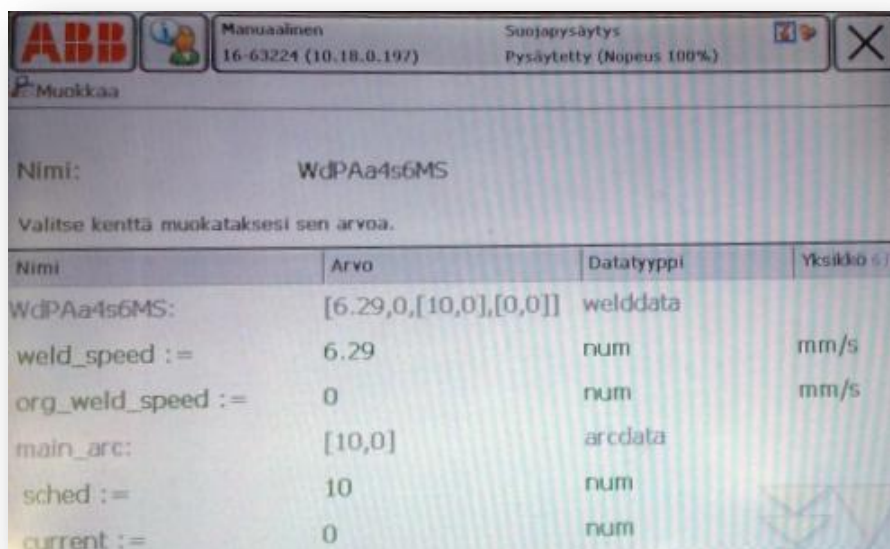
Kuva 11. Robot Studio -ohjelman ikkuna.



Kuva 12. Hitsausrobotin ohjausyksikön ikkuna (ajastuksen ikkuna).

3. Hitsaustiedostojen luominen

Hitsaustiedostot haettiin samalla lailla kuten hitsausarvot. Virtual Robot Studio -ohjelman avulla. Hitsaustiedostoa käytetään ohjaamaan hitsausta hitsausvaiheessa, eli silloin, kun kaari on muodostettu siihen, kun hitsaus on saatettu loppuun. Työn aikana valmistettiin noin 30 hitsaustiedostoa. Kuvassa 13 näkyy, että hitsaustiedosto sisältää hitsausnopeuden ja ajastuksen numeron (sched).



Kuva 13. Hitsausrobotin ohjausyksikön ikkuna (Hitsaustiedoston ikkuna)

4. Seurantatiedostojen luominen

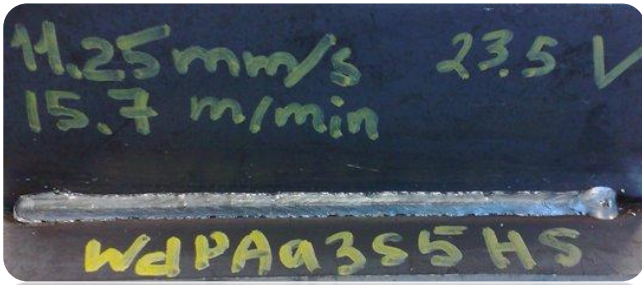
Weavedataa eli vaaputusdataa käytetään määrittämään mitä tahansa hitsauksen aikaista vaaputusta. Vaaputusta voidaan käyttää hitsin kuumennus- ja hitsausvaiheessa. Kuvassa 14 on esitetty vaaputusdatan avulla hitsattava liitos. Vaaputus on liikettä, jota suoritetaan prosessin perusradan ”päälle”. On olemassa kolme eri vaaputuskuvioityyppiä: zigzag, V- muoto sekä kolmiomuoto. Työssä käytettiin zigzag-vaaputusta. Weavedata sisältää vaaputusjakson pituuden ja vaaputuskuvion leveyden.



Kuva 14. Weavedatan avulla hitsattava liitos.

5.3 Hitsausparametrien vaikutus

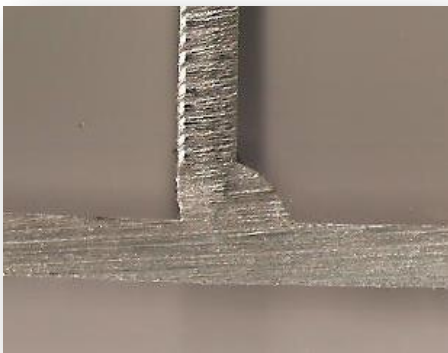
Luvussa 4 käsiteltiin hitsausparametrien vaikutusta MIG/MAG-hitsaukseen. Ylä- Savon ammattiopiston hitsausrobotilla tutkittiin hitsausparametrien vaikutusta hitsin ulkomuotoon. Kaikki tulokset kuvattiin ja analysoitiin. Hitsattiin jalkoasennossa, FW liitoksessa. Perusaineen paksuus oli 5 mm, ja a-mitta oli 4 mm. Hitsausparametrit on esitetty taulukossa 7. Hitsin ulkomuoto näkyy kuvassa 15.



Kuva 15. WdPAa3s5HS -datan avulla hitsattava liitos.

Taulukko 7. Alkuperäiset hitsausparametrit.

| Pal- ko | Hitsaus- mene- telmä | Lisäaine Ø | Hitsaus- virta alue (A) | Kaarijän- nitealue (V) | Hitsaus- nopeus alue (mm/s) | Langan- syöttö- nopeus (m/min) |
|------------|----------------------------|---------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---|
| 1 | 135 | 1mm | 180 | 23.5 V | 11,25 | 15,7 |



Kuva 16. PAa3s5 sauma (a-mitta 4mm).

5.3.1 Hitsausnopeus

Ensimmäinen hitsausparametri joka muutettiin, oli hitsausnopeus – V. Sen alkuperäinen arvo oli 11,25 mm/s. Ensin lisättiin hitsausnopeutta. Hitsattiin nopeudella 14,25 mm/s. A-mitan arvoksi saatiin 3 mm. Eli a-mitta pienentynyt, ja kuvan 17 perusteella nopea hitsausnopeus vaikuttaa hitsin tunkeumaan ja hitsipalon muotoon. Tunkeuma pienentynyt ja hitsin leveys kaventunut.

Toinen puoli hitsattiin nopeudella 8,25 mm/s. A- mitan arvoksi saatiin 5 mm. Eli a-mitta kasvanut ja kuvien 17, 18 ja 19 perusteella pienellä hitsausnopeudella muodostuu suuri hitsisula.

Hitsausnopeus (kuljetusnopeus) vaikuttaa hitsin tunkeumaan ja hitsipalon muotoon.



Kuva 17. Vasemman puolen hitsausnopeus oli 8,25 mm/s.

Oikean puolen hitsausnopeus oli 14,25 mm/s.



Kuva 18. Oikean puolen hitsausnopeus oli 14,25 mm/s.

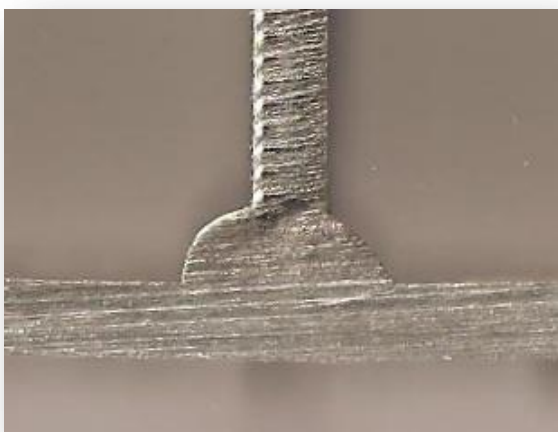


Kuva 19. Vasemman puolen hitsausnopeus oli 8,25 mm/s.

5.3.2 Langansyöttönopeus

Toinen hitsausparametri joka muutettiin, oli langansyöttönopeus. Sen alkuperäinen arvo oli 15,7 m/min. Ensimmäin lisättiin langansyöttöä, eli hitsattiin langansyöttönopeudella 18,7 m/min. Hitsin a-mittan arvoksi tuli 4 mm. Eli a-mitta ei muuttunut. Kuvan 20 perusteella nopea langansyöttönopeus vaikutti hitsinpalon muotoon. Hitsissa oli korkea kupu koska langansyöttönopeus oli liian suuri verrattuna jännitteeseen. Korkea hitsauskupu on yksi tavallisimmista hitsausvirheistä.

Toinen puoli hitsattiin langansyöttönopeudella 12,7 m/min. Hitsin a-mittan arvoksi tuli 4 mm, joten a-mitta ei muuttunut. Kuvien 20, 21 ja 22 perusteella pieni langansyöttönopeus vaikuttaa hitsinpalon muotoon. Langansyöttönopeudella on vaikutusta hitsin tunkeumaan ja hitsinpalon muotoon. Saatiin hyvänäköinen ja tasainen hitsi.



Kuva 20. Vasemman puolen langansyöttönopeus on 18,7 m/min. Oikean puolen langansyöttönopeus oli 15,7 m/min.



Kuva 21. Vasemman puolen langansyöttönopeus oli 18,7 m/min.

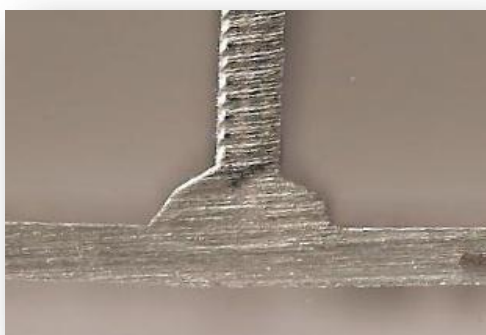


Kuva 22. Oikean puolen langansyöttönopeus oli 15,7 m/min.

5.3.3 Kaarijännite

Kolmas hitsausparametri joka muutettiin, oli jännite (U). Sen alkuperäinen arvo oli 23,5 V. Ensin kaarijännitettä nostettiin 26,5 V. Hitsin a-mitan arvoksi tuli 4 mm, joten a- mitta ei muuttunut. Kuvan 23 perusteella korkea jännite vaikuttaa hitsinpalon muotoon. Lisäaine levisi laajemmalle alueelle, ja hitsin kupu oli muodostunut matalaksi. Yleensä, silloin kun kaarijännitettä suurennetaan, valokaari pitenee, tunkeuma pienenee, hitsipalko levenee, kupu madaltuu ja hitsisulasta tulee herkkäliikkeisempää.

Toisen puolen hitsi hitsattiin 20,5 V jännitteellä. Hitsin a-mitan arvoksi saatiin 3 mm, joten a- mitta pientynyt. Kuvien 23, 24 ja 25 perusteella pieni kaarijännite vaikuttaa hitsinpalon muotoon ja hitsin tunkeumaan.



Kuva 23. Vasemman puolen kaarijännite oli 26,5 V.
Oikean puolen kaarijännite oli 20,5 V.



Kuva 24. Vasemman puolen kaarijännite oli 26,5 V.



Kuva 25. Oikean puolen kaarijännite oli 20,5 V.

6 KOVUUSKOKEET

Erilaisilla materiaalin aineenkoetusmenetelmillä tutkitaan materiaalien käyttäytymistä ja ominaisuuksia. Aineenkoetusmenetelmät jaetaan ainetta rikkoviin ja rikkomattomiin menetelmiin. Rikkovassa aineenkoetuksessa pieni materiaalinäyte erotetaan levystä, putkesta tai tuotantokappaleesta, jolloin tarkastuksen kohde rikotetaan. Rikkomattomassa aineenkoetuksessa tarkastuksen kohde voidaan ottaa uudelleen käyttöön tutkimuksen jälkeen.

Työssä tutkittiin hitsausliitoksen kovuutta. Aineen kovuutta voidaan kuvata aineen kykyä vastustaa toisen kovemman esineen tekemiä painaumuksia. Pehmeässä materiaalissa painauma on iso. Mitä kovempi aine sitä pienempi on painauma.

6.1 Hieiden (tutkittavien näytteiden) valmistus

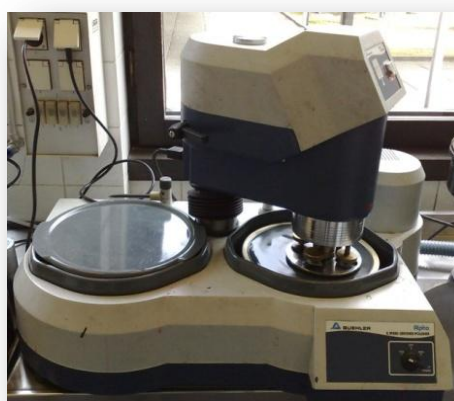
Hie on sisäinen rakenteen tutkimuksiin tarkoitettu näytepala. Se valmistetaan siten, että tutkittavassa kappaleesta irrotetun pienehkön näytteen pinta hiotaan, kiillotetaan peilikiiltoon ja lopuksi yleensä vielä syövytetään.

Työssä valmistettiin seitsemän näyttettä putki- ja pienahitseistä. Kokeissa käytettiin Savonia-ammattikorkeakoulun laboratoriossa olevia testauslaitteita.

Buehler Simplimet 1000 -laitteen avulla valmistettiin tutkittavat näytteet valamalla ne muovinappeihin. Katso kuva 26. Kiillotuskoneen avulla näytteet hiottiin peilikiiltoon (ks. kuva 27).



Kuva 26. Buehler Simplimet 1000.



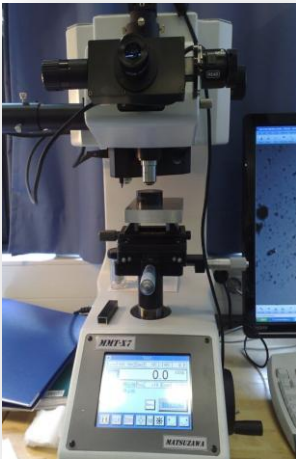
Kuva 27. Buehler Alpha.

6.2 Mikroskooppitutkimus

Metalleja tutkitaan erityisellä mikroskoopilla, metallimikroskoopilla. Sen rakenne perustuu siihen, että metalli ei päästä valoa lävitseen, vaan heijastaa sitä. Valon säde kohtaa hiepinnan ja heijastuu siitä mikroskoopin okulaarin tai himmeälle lasille, jolle syntyy tutkittavan rakenteen kuva. Työssä otettiin mikrokuvia mikroskooppiin liitetyllä kameralla. Kuvat ovat esitetty liitteissä 1 ja 2. [4, s. 40.]

6.3 Kovuuskoe

Kokeessa käytettiin materiaaliteknikan laboratoriossa olevaa mikrokovuuslaitetta , jolla tehtiin 26 painaumaa (ks. kuva 28). Tutkittavan kappaleen aineenpaksuus oli 6 mm. Kokeessa käytettiin kahta mittapisteriviä. Kovuuskoe osoitti tutkittavan hitsin kovuus on korkeampi kuin perusaineen kovuus. Koetulokset ja pöytäkirjat ovat liitteissä 1 ja 2.



Kuva 28. Materiaaliteknikan laboratoriossa oleva mikrokovuuslaite.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia hitsausrobotin käyttöä ja ohjelmointia. Piti luoda hitsausarvoja, nopeus- ja vaaputustiedostoja. Tarkoitus oli saada myös mahdollisimman hyvä käsitys hitsausparametrien vaikutuksesta MIG/MAG-hitsaukseen.

Teoriaosuudessa yritettiin yhdistää loogisesti hitsausrobottiin liittyviä asioita ja hitsausparametrien vaikutusta. Teoriaosassa kerrottiin ensin yleistä suomalaisesta hitsaustuotannosta. Sen jälkeen käsiteltiin yleistä hitsausrobotisoinnista ja sen eduista ja haitoista. Seuraavaksi selostettiin hitsausrobotisoinnista aiheutuvia. Sitten kerrottiin yleistä Projektin 4 -kurssin tavoitteista ja tuloksista. Työn loppuosassa esitettiin tutkimuksen hitsausparametrien vaikutusta. Tutkimuksessa käytettiin tehtyjä hitsauskokeita.

Hitsauskokeiden suorituksessa oli vähän kiirettä, minkä takia monet toimenpiteet tehtiin väärin. Esimerkiksi koekappaleiden oikeasta valmistuksesta saatiin tietoja vain heidän valmistuksen jälkeen. Työn suorittamiseen vaikutti myös se, että Ylä-Savon ammattiopisto sijaitsee lialmassa.

Ylä-Savon ammattiopiston hitsausrobotin hitsausarvojen kirjastoon saatiin hitsausarvot, nopeustiedostot ja ohjelmat. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Insinööriä aihe oli mielestäni haastava, mielenkiintoinen, motivoiva ja kokemuksena arvokas. Projekti kokonaisuudessaan antoi hyödyllistä oppia ja kokemusta alan todellisista työtehtävistä.

LÄHTEET

1. Ylä- Savon ammattiopiston nettisivu. (2010). [online] [viitattu 15.04.2010]
<http://www.ysao.fi/Suomeksi.iw3>
2. Alarova, R. (2003). *Yleistekniikka aloitusjaksolle*. OTAVA.
3. ABB Robotics. (2010). Robottikoulutus [online]
http://www.abb.com/_automationuniversity
4. Esab, hitsausuutiset. (2006). [online, PDF] [viitattu 15.04.2010].
http://www.esab.fi/fi/fi/news/upload/HU_1_06.pdf
5. Koivisto, K. (2006). *Konetekniikan materiaalioppi*. EDITA.
6. Kalervo, L. (2008) Suomalaisen hitsaustuotannon Kilpailukyky [online, PDF] [viitattu 15.04.2010]. http://www.vtt.fi/liitetiedostot/muut/VTT_R_06707_08_Sisuhitsi.pdf
7. Lepola, P. (2006). *Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet*. Werner Söderström Oy.
8. Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. (2006). *Hitsauksen materiaalioppi*. Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.
9. SFS-EN ISO 15614-1 standardi. (2010). [online] [viitattu 15.04.2010]
<http://www.sfs.fi>
10. Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. (2007). *Hitsaustekniikka. Ammattilinen aikakauslehti*, Hel. 2007.
11. Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. (2008). *Hitsaustekniikka. Ammattilinen aikakauslehti*, Huh. 2008.
12. Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. (2008). *Hitsaustekniikka. Ammattilinen aikakauslehti*, Tou. 2008.

13. Suomen Hitsausteknollinen Yhdistys r.y. (2008). *Hitsaustekniikka. Ammattilinen aikakauslehti*, Hel. 2008.

14. Suomen Robottiikkayhdistys r.y. (2010). Robotiikan kustannustehokkuus [online, PDF] [viitattu 15.04.2010].
http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/SISU/fi/Dokumenttito/Viestinta_ ja_aktivointi/Seminaarit/Robottihankinnan_ABCx_aineisto/Robottihankinnan_ABC_Leino.pdf

15. Vähäkainu, O. (2003). *Hitsaajan opas 2003*. Rautaruukki steel.

NÄYTE A

WdPAa5s8MS (38) 5,36 m/s

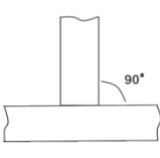
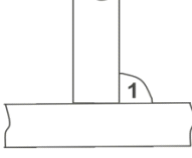
12,6 m/min

21,75 V





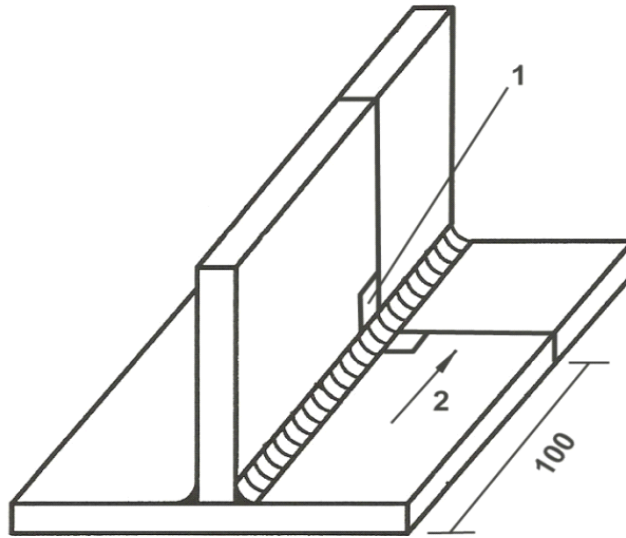
| Osasto | Laatia | Päivämäärä |
|---|--|------------|
| Valvontakoe pöytäkirja 5.2.2010 | | |
| Valmistajan hitsausohje : WPS PA 2 | | |
| Valmistaja: | Ylä- Savon ammattiopisto (Metalli osasto) | |
| Koestandardi: | SFS- EN ISO 15614-1 | |
| Hitsausmenetelmä: | 135 | |
| Hitsausasento: | PA | |
| Liitosmuoto: | FW | |
| Ainepaksuus: | 8 mm | |
| Materiaali: | S355 | |
| Lisäainetyyppi: | | |
| Suojakaasu | 92% Ar 8% CO2 | |
| Hitsausvirtauslaji: | DC + | |
| Hitsaaja: | Karpenko Fedor | |
| Valvoja: | Vuotilainen Arto | |
| Päivämäärä | Alekirjoitus | |
| <u>05.02.2010</u> | <u>Fedor Karpenko</u> | |

| WPAR No./Mene- telmäkokeen num. | | WdPAa5s8MS (38) parametrien koe. | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---|-----------------------------------|-------------------|-------|
| Perusaineet | | S355 | | | | | | | | | |
| Aineenpaksuus | | t= 8mm | |  | | | |  | | | |
| Putken ulkohalkaisija | | | | | | | | | | | |
| Hitsausmenetelmä | | 135 (MAG) hitsausrobotti | | | | | | | | | |
| Hitsausasento | | PA (Jalko) | | | | | | | | | |
| Railon valmistus | | Leikkuri | | | | | | | | | |
| Railon puhdistus | | | | | | | | | | | |
| Kappaleen kiinnitys | | Ruuvikiinnittimet | | | | | | | | | |
| Silloitus | | | | | | | | | | | |
| Juuren avaus | | | | | | Elektrodi | | | | | |
| Juurituki | | | | | | Teroituskulma | | | | | |
| | | Lisäaineet ja hitsauskaasut | | | | Poltinkulma | | | | | |
| Lisäaineen luokittelumerkintä | | | | | | Kallistuskulma | | | | | |
| | | | | | | Etäisyys työkapaeesta | | | | | |
| | | | | | | Työlämpötila | | | | | |
| Lisäaineen kauppamerkintä | | ESAB | | | | Korotettu työlämpötila | | | | | |
| | | | | | | Palkojen välinen lämpötila | | | | | |
| Jauhe | | | | | | Esikuumennusmenetelmä | | | | | |
| Suojakaasu | | 92% Ar 8% CO2 | | | | Työlämpötilan mittaus | | | | | |
| Virtausnopeusalue | | | | | | Jälkilämpökäsittely | | | | | |
| Plasmakaasu | | | | | | Menetelmä | | | | | |
| Virtausnopeusalue | | | | | | Kuumennusnopeus | | | | | |
| Juurikaasu | | | | | | Pitolämpötila | | | | | |
| Virtausnopeusalue | | | | | | Pitoaika | | | | | |
| Virtalaji | | | | | | Jäähtymisnopeus | | | | | |
| Napaisuus | | DC + | | | | Jälkikäsittely | | | | | |
| Huomautuksia: SFS- EN ISO 15614 standardin mukaan hitsattavan kappaleen mitat T- liitoksessa pitäisi olla: Alalevy min. (350 mm × 350 mm) Ylälevy min. (150 mm × 350 mm) Tämän ohjeen hitsattavan kappaleen mitat: (200mm × 50mm) (200mm × 50mm) | | | | | | Pvm ja laatija: 20.11.2009 Fedor Karpenko | | | | | |
| Pal- ko | Hitsaus- mene- telmä | Lisäaine Ø | Hitsaus- virta alue (A) | Kaarijän- nitealue (V) | Hitsaus- nopeus alue (mm/s) | Langan- syöttö- nopeus (m/min) | Lämmön- tuonti alue (kJ/mm) | Vapaa- langan- pituus (mm) | Vaapu- tustaa- juus (Hz) | Amplitudi (mm) | Huom! |
| 1 | 135,0 | 1.0 mm | 210,0 | 21,75 V | 5,4 | 12,6 | 63,4 | 15,0 | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| Valmistaja Fedor Karpenko | | | | | | Hyväksytty | | | | | |

Koesauvan sijainti T- liitoksessa

LIITE 1.4

| | |
|-------------------------|----------------------------------|
| T - liitos | WdPAa5s8MS (38) parametrien koe. |
| Perusaineet | S355 |
| Aineenpaksuus | t= 8mm |
| Hitsausmenetelmä | 135 (MAG) hitsausrobotti |
| Hitsausasento | PA (Jalko) |
| Railon valmistus | Leikkuri |



Huomautuksia:

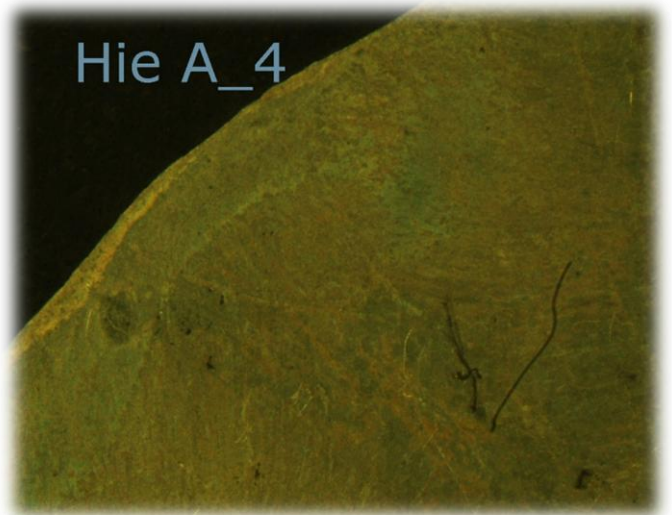
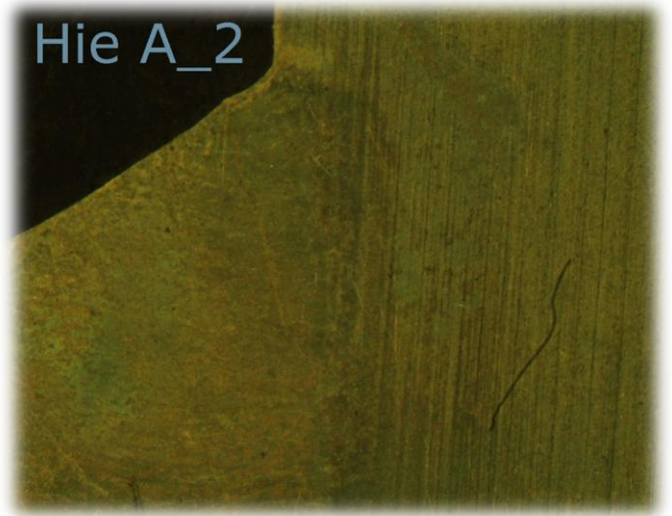
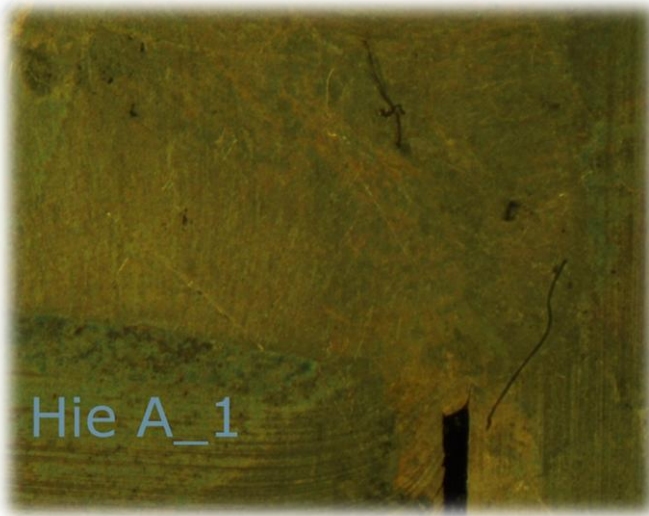
SFS- EN ISO 15614 standardin mukaan hitsattavan kappaleen mitat T- liitoksessa pitäisi olla:
 Alalevy min. (350 mm × 350 mm)
 Ylälevy min. (150 mm × 350 mm)
 Tämän ohjeen hitsattavan kappaleen mitat: (200mm × 50mm)
 (200mm × 50mm)

1. Mikrohie ja kovuuskoesauva
2. Hitsaussuunta

| Pal-ko | Hitsausmenetelmä | Lisäaine ∅ | Hitsausvirta alue (A) | Kaarijännitealue (V) | Hitsausnopeus alue (mm/s) | Langan- syöttö- nopeus (m/min) | Lämmön- tuonti alue (kJ/cm) | Vapaa- langan- pituus (mm) | Vaapu- tustaa- juus (Hz) | Amplitudi (mm) | Huom! |
|-------------------------------------|------------------|---------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------|
| 1 | 135,0 | 1.0 mm | 210,0 | 21,75 V | 5,4 | 12,6 | 63,4 | 15,0 | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| Valmistaja Fedor Karpenko | | | | | | Hyväksytty | | | | | |



| | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| pWPS | | Perusaine | S355 | | | | |
| Sovellusstandardi | SFS-EN ISO 15614-1 | | Aineenpaksuus | 8 mm | | | |
| Asiakas/ viite | Ylä- Savon ammattiopisto (Metalli) | | Hitsityyppi | PA | | | |
| | | | Hitsausprosessi | 135 (MAG) | | | |
| Tarkastusajankohta | | ennen hitsausta | | hitsauksen aikana | | | |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | hitsauksen jälkeen | | lämpökäsittelyn jälkeen | | | |
| Valaistus | | Apuvälineet | | Suoritettavat mittaukset | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Yleisvalaistus | <input type="checkbox"/> | mittanauha | <input type="checkbox"/> | ristikkäisyys | | |
| <input type="checkbox"/> | Kohdevalaistus | <input type="checkbox"/> | työntömitta | <input type="checkbox"/> | kuvun korkeus | | |
| <input type="checkbox"/> | > 500 lx | <input type="checkbox"/> | rakomitta | <input type="checkbox"/> | aineenpaksuus | | |
| <input type="checkbox"/> | Valovoimakkuus mitattu | <input type="checkbox"/> | hitsimitta | <input type="checkbox"/> | muu _____ | | |
| <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | profiilikampa | | | | |
| Tarkastusohjeet | | SFS-EN 970 | <input checked="" type="checkbox"/> | SFS-EN 5817 | | | |
| Tarkastuslaajuus | <input checked="" type="checkbox"/> | 100% | | % | % | | |
| Hitsiluokkavaatimus | | B | | C | | | |
| Hitsauksen jälkikäsittelyn laatuaste SFS 8145 | | 05 | | 04 | | | |
| Muut hyväksymisrajat | | IIW | | ASME | | | |
| Hitsin nimellismitat | | | | | | | |
| Nimellinen a-mitta= 4mm | | hitsin levys | hitsautumissyvyys | aineenpaksuus | | | |
| | | b= 5mm | s= 3mm | t= 6mm | | | |
| Tarkastustulokset | | | | | | | |
| Virhe | | | Virheen sijainti | | Hyväksyminen | | |
| Virheen numero | Stand.nr. | Virheen nimitys/ kuvaus | L Virheen pituus | I Etäisyys reunaan | Koko h tai d | Laskennallinen standardin max. virhe koko ko. hitsiluokassa | Hitsiluokka |
| | 5817 | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 100 | Halkeama | | 501 | Reunahaava | | 512 | Kateettipoikkeama |
| 104 | Kraateri halkeama | | 502.503 | Korkea kupu | | 515 | Vajaa juuri |
| 201 | Huokonen | | 504 | Korkea juurikupu | | 517 | Uudelleen aloitusvirhe |
| 2013 | Huokosryhmä | | 506 | Pintapalon valuma | | 601 | Sytytysjälki, roiskeet |
| 2015 | Pitkä nomainen huokonen | | 507 | Sovitusvirhe | | OD | Liiallinen oksidointuminen (rst) |
| 401 | Liitosvirhe | | -a | Vajaa a-mitta | | PRE | Pistekorrosio (rst) |
| 402 | Vajaa hitsautumissyvyys | | 512 | Vajaa kupu, sulamaton raillopinta tai vajonnut hitsi | | | |
| Tarkastajan pätevyys | | | | | | | |
| SFS-EN 473 | | NORDTEST | | Muu | | | |
| Pätevyysluokat: ____C____ | | Henkilökohtainen NDT - pätevyysnumero: _____ | | | | | |
| Tarkastuksen tulos | | | <input type="checkbox"/> | ei täytä vaatimuksia | <input checked="" type="checkbox"/> | täyttää vaatimukset | |
| Tarkastajan nimi | | Allikirjoitus | | | Pvm | | |

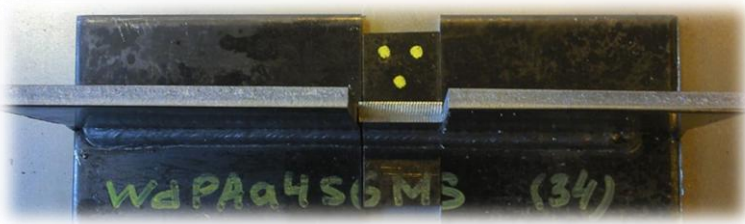


NÄYTE B

WdPAa4s6MS (34) 6,29 m/s

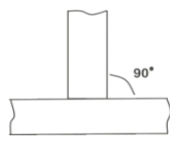
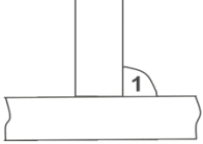
10,9 m/min

21 V





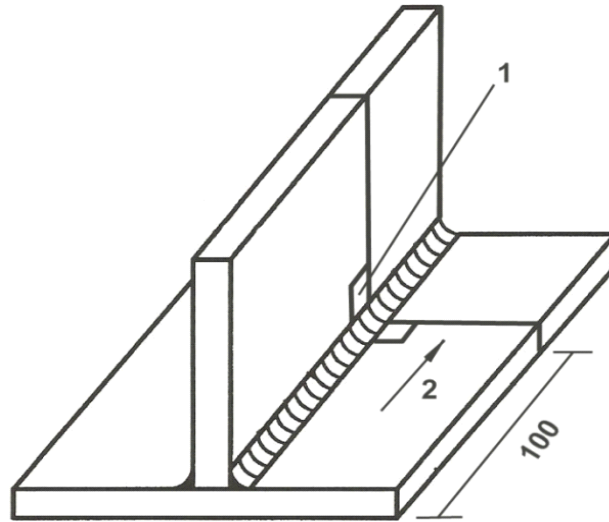
| Osasto | Laatia | Päivämäärä |
|--|--|------------|
| Valvontakoe pöytäkirja 18.5.2010 | | |
| Valmistajan hitsausohje : p WPS PA1 | | |
| Valmistaja: | Ylä- Savon ammattiopisto (Metalli osasto) | |
| Koestandardi: | SFS- EN ISO 15614-1 | |
| Hitsausmenetelmä: | 135 | |
| Hitsausasento: | PA | |
| Liitosmuoto: | FW | |
| | | |
| Ainepaksuus: | 6 mm | |
| Materiaali: | S355 | |
| Lisäaine tyyppi: | | |
| Suojakaasu | 92% Ar 8% CO2 | |
| Hitsausvirtauslaji: | DC + | |
| | | |
| Hitsaaja: | Karpenko Fedor | |
| Valvoja: | Vuotilainen Arto | |
| | | |
| Päivämäärä | Allekirjoitus | |
| <u>18.05.2010</u> | <u>Fedor Karpenko</u> | |

| WPAR No./Mene- telmäkokeen num. | | WdPAa4s6MS (34) parametrien koe. | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|--|---|-------------------|-------|
| Perusaineet | | S355 | | | | | | | | | |
| Aineenpaksuus | | t= 6mm | | | |  | | |  | | |
| Putken ulkohalkaisija | | | | | | | | | | | |
| Hitsausmenetelmä | | 135 (MAG) hitsausrobotti | | | | | | | | | |
| Hitsausasento | | PA (Jalko) | | | | | | | | | |
| Railon valmistus | | Leikkuri | | | | | | | | | |
| Railon puhdistus | | | | | | | | | | | |
| Kappaleen kiinnitys | | Ruuvikiinnittimet | | | | | | | | | |
| Silloitus | | | | | | | | | | | |
| Juuren avaus | | Elektrodi | | | | | | | | | |
| Juurituki | | Teroituskulma | | | | | | | | | |
| | | Lisäaineet ja hitsauskaasut | | | Poltinkulma | | | | | | |
| Lisäaineen luokittelumerkintä | | | | | Kallistuskulma | | | | | | |
| | | | | | Etäisyys työkappaleesta | | | Työlämpötila | | | |
| Lisäaineen kauppamerkintä | | ESAB | | | Korotettu työlämpötila | | | | | | |
| | | | | | Palkojen välinen lämpötila | | | Esikuumennusmenetelmä | | | |
| Jauhe | | | | | Työlämpötilan mittaus | | | | | | |
| Suojakaasu | | 92% Ar 8% CO2 | | | Jälkilämpökäsittely | | | | | | |
| Virtausnopeusalue | | | | | Menetelmä | | | | | | |
| Plasmakaasu | | | | | Kuumennusnopeus | | | | | | |
| Virtausnopeusalue | | | | | Pitolämpötila | | | | | | |
| Juurikaasu | | | | | Pitoaika | | | | | | |
| Virtausnopeusalue | | | | | Jäähdytysnopeus | | | | | | |
| Virtalaji | | | | | Jälkikäsitely | | | | | | |
| Napaisuus | | DC + | | | | | | | | | |
| Huomautuksia: SFS- EN ISO 15614 standardin mukaan hitsattavan kappaleen mitat T- liitoksessa pitäisi olla: Alalevy min. (350 mm × 350 mm) Ylälevy min. (150 mm × 350 mm) Tämän ohjeen hitsattavan kappaleen mitat: (200mm × 50mm) (200mm × 50mm) | | | | | | | | Pvm ja laatija: 20.11.2009 Fedor Karpenko | | | |
| Pal- ko | Hitsaus- mene- telmä | Lisäaine Ø | Hitsaus- virta alue (A) | Kaarijän- nitealue (V) | Hitsaus- nopeus alue (mm/s) | Langan- syöttö- nopeus (m/min) | Lämmön- tuonti alue (kJ/cm) | Vapaa- langan- pituus (mm) | Vaapu- tustaa- juus (Hz) | Amplitudi (mm) | Huom! |
| 1 | 135,0 | 1.0 mm | 210,0 | 21 V | 6,3 | 10,9 | 33,6 | 15,0 | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| Valmistaja Fedor Karpenko | | | | | | Hyväksytty | | | | | |

Koesauvan sijainti T- liitoksessa

LIITE 2.4

| | |
|-------------------------|----------------------------------|
| T - liitos | WdPAa4s6MS (34) parametrien koe. |
| Perusaineet | S355 |
| Aineenpaksuus | t= 6mm |
| Hitsausmenetelmä | 135 (MAG) hitsausrobotti |
| Hitsausasento | PA (Jalko) |
| Railon valmistus | Leikkuri |



Huomautuksia:

SFS-EN ISO 15614 standardin mukaan hitsattavan kappaleen mitat T- liitoksessa pitäisi olla:
 Alalevy min. (350 mm × 350 mm)
 Ylälevy min. (150 mm × 350 mm)
 Tämän ohjeen hitsattavan kappaleen mitat: (200mm × 50mm)
 (200mm × 50mm)

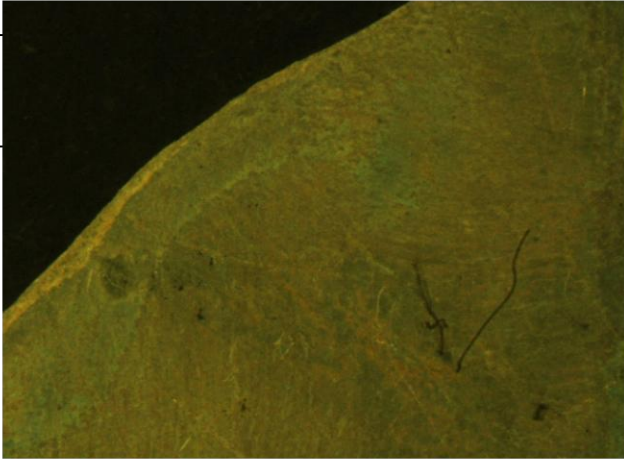
1. Makrohie ja kovuuskoesauva
2. Hitsaussuunta

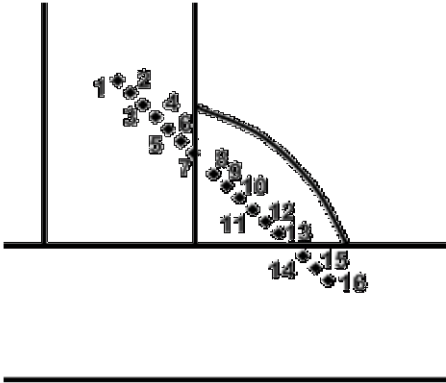
| Pal-ko | Hitsausmenetelmä | Lisäaine Ø | Hitsausvirta alue (A) | Kaarijännitealue (V) | Hitsausnopeus alue (mm/s) | Langan- syöttö- nopeus (m/min) | Lämmön- tuonti alue (kJ/cm) | Vapaa- langan- pituus (mm) | Vaapu- tustaa- juus (Hz) | Amplitudi (mm) | Huom! |
|--------|------------------|---------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------|
| 1 | 135,0 | 1.0 mm | 180,0 | 21 V | 6,3 | 10,9 | 3,6 | 15,0 | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |

Valmistaja
Fedor Karpenko

Hyväksytty



| Kovuuskokeen tyyppi | Vickers HV 10 | Kuvat | | | |
|---|-------------------------|-------|---------------|----------|--|
| | | Num | Virheet | | |
| Sovellusstandardi | SFS-EN ISO 15614-1 | 1 | 602 | Huokoset | |
| Asiakas / viite | Ylä-Savon ammattiopisto | 2 | 100 | Halkeama | |
| Perusaine | S355 | 3 | | | |
| Aineenpaksuus | 6 mm | 4 | | | |
| Hitsityyppi | | 5 | | | |
| Hitsausprosessi | 135 (MAG) | 6 | | | |
| Hitsausaine | Esab | 7 | | | |
| Lämpökäsittely ja / tai vanhentaminen | vanhentaminen | 8 | | | |
| | | 9 | | | |
|  | | 10 | | | |
| | | 11 | | | |
| | | 12 | | | |
| | | 13 | | | |
| | | 14 | | | |
| | | 15 | | | |
| | | 16 | | | |
| | | 17 | | | |
| | | 18 | | | |
| | | 19 | | | |
| | | 20 | | | |
| | | 21 | | | |
| | | 22 | | | |
| | | 23 | | | |
| | | 24 | | | |
| | | 25 | | | |
| | Virheiden kuvaus | | | | |
| Kuvassa näkyy, että hitsin keskellä ovat huokoset ja halkeama. Sen pituus on noin 0,5 mm. | | | | | |
| Testauksen suorittaja | | | | | |
| Päivämäärä | | | Allekirjoitus | | |
| Kokeen valvoja | | | | | |
| Päivämäärä | | | Allekirjoitus | | |

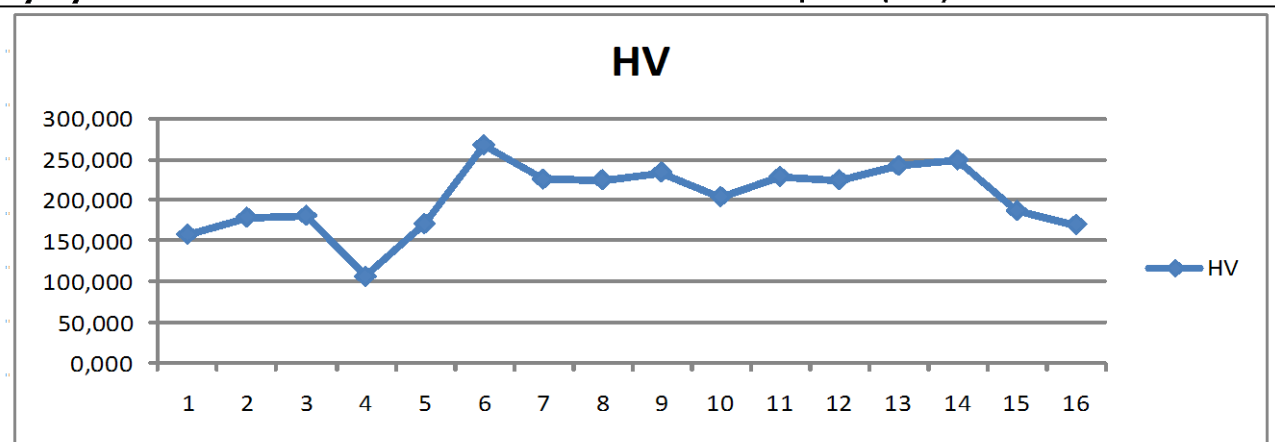
| Kovuuskokeen tyyppi | <i>Vickers HV 10</i> | Mittaustulokset HV | | | | |
|--|--------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|---------|
| Sovellusstandardi | <i>SFS-EN ISO 15614-1</i> | Piste | Halk. 1 μm | Halk. 2 μm | Keskiarvo | HV |
| Asiakas / viite | <i>Ylä-Savon ammattiopisto</i> | 1 | 33,838 | 34,668 | 34,25293 | 158,055 |
| Perusaine | <i>S355</i> | 2 | 32,227 | 32,178 | 32,20215 | 178,827 |
| Aineenpaksuus | <i>6 mm</i> | 3 | 32,422 | 31,592 | 32,00684 | 181,016 |
| Hitsityyppi | | 4 | 41,748 | 41,650 | 41,69922 | 106,647 |
| Hitsausprosessi | <i>135 (MAG)</i> | 5 | 33,105 | 32,764 | 32,93457 | 170,962 |
| Hitsausaine | <i>Esab</i> | 6 | 26,709 | 25,977 | 26,34277 | 267,227 |
| Lämpökäsittely ja / tai vanhentaminen vanhentaminen | | 7 | 28,613 | 28,760 | 28,68652 | 225,345 |
| | | 8 | 28,467 | 29,004 | 28,73535 | 224,580 |
| Painumarivien lyhyt kuvaus | | 9 | 27,783 | 28,516 | 28,14941 | 234,026 |
| | | 10 | 29,980 | 30,322 | 30,15137 | 203,981 |
| | | 11 | 28,223 | 28,711 | 28,4668 | 228,837 |
| Huomautuksia Kovuuskoe aikana käytettiin 100 g (980,7 mN) kuormitusta | | 12 | 28,711 | 28,760 | 28,73535 | 224,580 |
| | | 13 | 27,490 | 27,881 | 27,68555 | 241,934 |
| | | 14 | 26,563 | 28,027 | 27,29492 | 248,908 |
| Painumarivien mitat ja merkinnät  | | 15 | 31,494 | 31,494 | 31,49414 | 186,958 |
| | | 16 | 32,959 | 33,057 | 33,00781 | 170,204 |
| | | 17 | | | | |
| | | 18 | | | | |
| | | 19 | | | | |
| | | 20 | | | | |
| | | 21 | | | | |
| | | 22 | | | | |
| | | 23 | | | | |
| | | 24 | | | | |
| | | 25 | | | | |

Perusaineen pisteet (1-4)

Muutosvyöhykkeiden pisteet (5-7, 14-16)

Vyöhykkeiden kovuudet:

Hitsiaineen pisteet (8-13)


Testauksen suorittaja

Päivämäärä

18.05.2010

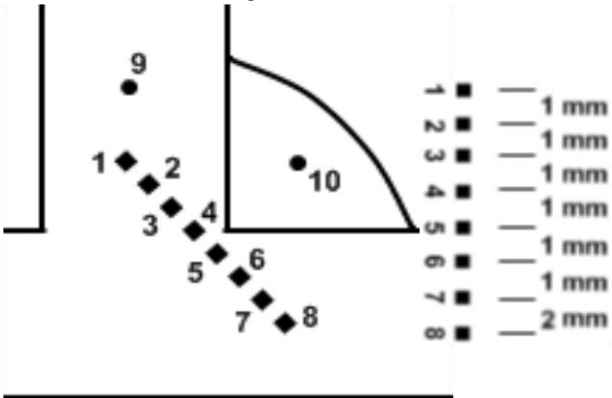
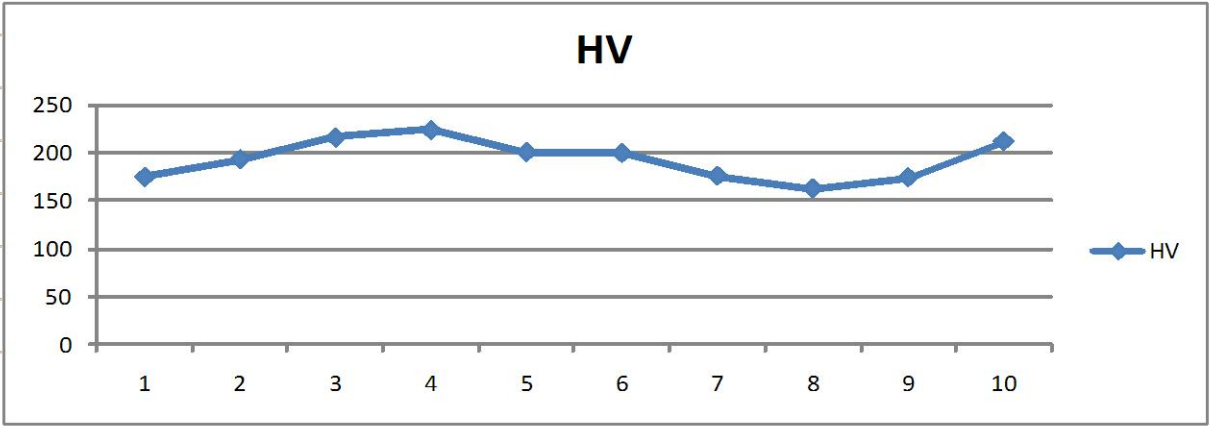
Allekirjoitus

Fedor Karpenko

Kokeen valvoja

Päivämäärä

Allekirjoitus

| Kovuuskokeen tyyppi | Vickers HV 10 | Mittaustulokset HV | | | | |
|--|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------|-----|
| Sovellusstandardi | SFS-EN ISO 15614-1 | Piste | Halk.1 μm | Halk.2 μm | Keskiarvo | HV |
| Asiakas / viite | Ylä-Savon ammattiopisto | 1 | 32,520 | 32,715 | 32,617 | 174 |
| Perusaine | S355 | 2 | 30,469 | 31,494 | 30,981 | 193 |
| Aineenpaksuus | 6 mm | 3 | 28,906 | 29,688 | 29,297 | 216 |
| Hitsityyppi | | 4 | 28,027 | 29,541 | 28,784 | 224 |
| Hitsausprosessi | 135 (MAG) | 5 | 30,371 | 30,420 | 30,396 | 201 |
| Hitsausaine | Esab | 6 | 30,225 | 30,713 | 30,469 | 200 |
| Lämpökäsittely ja / tai vanhentaminen vanhentaminen | | 7 | 31,689 | 33,301 | 32,495 | 176 |
| | | 8 | 33,203 | 34,375 | 33,789 | 162 |
| Painumarivien lyhyt kuvaus | | 9 | 32,764 | 32,520 | 32,642 | 174 |
| | | 10 | 29,883 | 29,248 | 29,565 | 212 |
| Huomautuksia Kovuuskoe aikana käytettiin 100 g (980,7 mN) kuormitusta | | 11 | | | | |
| | | 12 | | | | |
| | | 13 | | | | |
| Painumarivien mitat ja merkinnät  | | 14 | | | | |
| | | 15 | | | | |
| | | 16 | | | | |
| | | 17 | | | | |
| | | 18 | | | | |
| | | 19 | | | | |
| | | 20 | | | | |
| | | 21 | | | | |
| | | 22 | | | | |
| | | 23 | | | | |
| | | 24 | | | | |
| | | 25 | | | | |
| Perusaineen pistet (1-3) | | Muutosvyöhykkeiden pistet (4-7) | | | | |
| Vyöhykkeiden kovuudet: | | Hitsiaineen pistet (5,6) | | | | |
|  | | | | | | |
| Testauksen suorittaja | | | | | | |
| Päivämäärä 18.05.2010 | | | Allekirjoitus Fedor Karpenko | | | |
| Kokeen valvoja | | | | | | |
| Päivämäärä 18.05.2010 | | | Allekirjoitus | | | |



| | | | | | | | |
|--|--|---|--|--------------------------|-----------------|---|---------------------------------|
| pWPS | | Perusaine | S355 | | | | |
| Sovellusstandardi | SFS-EN ISO 15614-1 | Aineenpaksuus | 6mm | | | | |
| Asiakas/ viite | Ylä- Savon ammattiopisto (Metalli) | Hitsityyppi | PA | | | | |
| | | Hitsausprosessi | 135 (MAG) | | | | |
| Tarkastusajankohta | <input type="checkbox"/> ennen hitsausta <input checked="" type="checkbox"/> hitsauksen jälkeen | hitsauksen aikana | lämpökäsittelyn jälkeen | | | | |
| Valaistus | Apuvälineet | Suoritettavat mittaukset | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Yleisvalaistus | <input type="checkbox"/> mittanauha | <input type="checkbox"/> ristikkäisyys | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Kohdevalaistus | <input type="checkbox"/> työntömitta | <input type="checkbox"/> kuvun korkeus | | | | | |
| <input type="checkbox"/> > 500 lx | <input type="checkbox"/> rakomitta | <input type="checkbox"/> aineenpaksuus | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Valovoimakkuus mitattu | <input type="checkbox"/> hitsimitta | <input type="checkbox"/> muu _____ | | | | | |
| | <input type="checkbox"/> profiilikampa | | | | | | |
| Tarkastusohjeet | SFS-EN 970 | <input checked="" type="checkbox"/> SFS-EN 5817 | | | | | |
| Tarkastuslaajuus | <input checked="" type="checkbox"/> 100% | % | % | | | | |
| Hitsiluokkavaatimus | B | C | | | | | |
| Hitsauksen jälkikäsittelyn laatuaste SFS 8145 | <input type="checkbox"/> 05 | <input type="checkbox"/> 04 | | | | | |
| Muut hyväksymisrajat | IIW | ASME | | | | | |
| Hitsin nimellismitat | | | | | | | |
| Nimellinen a-mitta= | 4mm | hitsin levys b= 5mm | hitsautumissyvyys s= 3mm | | | | |
| | | | aineenpaksuus t= 6mm | | | | |
| Tarkastustulokset | | | | | | | |
| Virhe | | Virheen sijainti | | Hyväksyminen | | | |
| Virheen numero kuvassa | Stand.nr. 5817 | Virheen nimitys/ kuvaus | L Virheen pituus | I Etäisyys reunaan | Koko h tai d | Laskennallinen standardin max. virhekoko ko. hitsiluokassa | Hitsiluokka |
| 1 | 503 | Korkea kupu | 55 mm | 25 | 1,0 | ≤ 1+ 1,15b | C |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 100 | Halkeama | 501 | Reunaava | | | 512 | Kateettipoikkeama |
| 104 | Kraaterihalkeama | 502_503 | Korkea kupu | | | 515 | Vajaa juuri |
| 201 | Huokonen | 504 | Korkea juurikupu | | | 517 | Uudelleen aloitusvirhe |
| 2013 | Huokos ryhmä | 506 | Pintapalon valuma | | | 601 | Sytytysjälki, roiskeet |
| 2015 | Pitkänomainen huokonen | 507 | Sovitusvirhe | | | OD | Liiallinen oksidoituminen (rst) |
| 401 | Liitosvirhe |-a | Vajaa a-mitta | | | PRE | Pistekorrosio (rst) |
| 402 | Vajaa hitsautumissyvyys | 512 | Vajaa kupu, sulamaton railopinta tai vajonnut hitsi | | | | |
| Tarkastajan pätevyys | | | | | | | |
| SFS-EN 473 | | NORDTEST | | Muu | | | |
| Pätevyysluokat: <u>C</u> | | Henkilökohtainen NDT - pätevyysnumero: _____ | | | | | |
| Tarkastuksen tulos | <input type="checkbox"/> ei täytä vaatimuksia | <input checked="" type="checkbox"/> täyttää vaatimukset | | | | | |
| Tarkastajan nimi | Allekirjoitus | | | | | Pvm | |

