

Pekka Laurila

**TEOLLISUUSROBOTIN JA YHTEISTYÖROBOTIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET
KONEPAJAN HITSAUSTUOTANNOSSA**

TEOLLISUUSROBOTIN JA YHTEISTYÖROBOTIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET KONEPAJAN HITSAUSTUOTANNOSSA

Pekka Laurila
Opinnäytetyö
Syksy 2021
Insinööri YAMK, hitsausala
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Insinööri YAMK, hitsausala

Tekijä(t): Pekka Laurila

Opinnäytetyön nimi: Teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin käyttömahdollisuudet konepajan hitsaustuotannossa

Työn ohjaaja: Mikko Ilmola

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 50+4

Opinnäytetyössä tutkittiin teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin käyttömahdollisuuksia konepajan hitsaustuotannossa. Lisäksi tarkasteltiin työntilaajan SSAB:n Raahan tehtaan keskuskorjaamon tuotteiden soveltuvuutta robotisoituun hitsaukseen. Perehdyttiin pienten ja keskisuurten sarjojen robotihitsauksen ohjelmointiin kunnossapidon uusien tuotteiden valmistuksessa sekä pinnoitus- ja kunnostushitsauksessa. Tavoitteena oli selvittää, soveltuuko robotihitsaus keskuskorjaamon hitsaustuotantoon.

Teoriaosuudessa perehdyttiin alan kirjallisuuteen, teknisen alan lehtiin ja alalla tunnettuihin kaupallisiin laitetoimittajiin. Asiantuntijahaastatteluita tehtiin laitetoimittajille ja alaa tutkineille laitoksille. Keskuskorjaamon tuotteille tehtiin testihitsauksia Oulun ammattikorkeakoulun robotihitsauslaitteistoilla. Pinnoitushitsauksissa kokeiltiin kulutuskestävien hitsauslisäaineiden soveltuvuutta robotihitsaukseen. Kunnostushitsauksissa tutkittiin 3D-skannauksessa syntyneen datan hyödyntämistä robotin ohjelmoinnissa.

Testeissä käytetyt uudet tuotteet ja pinnoitushitsattavat tuotteet soveltuvat robotisoituun hitsaukseen. Korjaushitsattavista tuotteista kylmäaihionpäiden robotihitsaus on haasteellinen ohjelmointivaikeuksien vuoksi, eikä niiden hitsauksella ole viisasta aloittaa robotihitsauksen käyttöönottoa. Keskuskorjaamon hitsaustuotannon automatisointi kannatta aloittaa yhteistyörobotilla tai pienellä teollisuusrobotilla. Pyörityspöydällä varustettu robotti lisää käyttömahdollisuuksia ja hitsattavien tuotteiden valikoimaa. Se mahdollistaa uusien, pinnoitettavien ja korjaushitsattavien pyörähdyskappaleiden taloudellisemman hitsauksen.

Asiasanat: teollisuusrobotti, yhteistyörobotti, robotihitsaus, korjaushitsaus, pinnoitushitsaus.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Engineering YAMK, welding

Author(s): Pekka Laurila

Title of thesis: Possibilities of using an industrial robot and a collaborative robot in the welding production of a machine shop

Supervisor(s): Mikko Ilmola

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2022 Number of pages: 50+4

In this thesis, the possibilities of using an industrial robot and a collaborative robot in the welding production of a machine workshop were investigated. The suitability of the products of SSAB Raahe central workshop for robotic welding was investigated. The programming of small and medium sized series robotic welding in the production of new spare parts was examined together with cladding and repair welding of old parts. The aim was to find out whether robot welding is suitable method for the welding production of a central workshop.

The theoretical section looked at the literature in the field and technical journals. Expert interviews were conducted with equipment suppliers and institutes of researching the field. Test welding was performed into the central workshop products by using the robotic welding equipment of the Oulu University of Applied Sciences. The suitability of wear-resistant welding consumables for robotic welding was tested with clad welding. In the repair welding, utilization of data generated in 3D scanning in robot programming was investigated.

The new products used in the tests and the products to be hard faced are suitable for robotic welding. Robot programming is challenging with repair welding. It is not practical to start the introduction of robot welding with refurbishment welding of cold blank heads. It is worth to start the automation of welding production in a central workshop with a collaborative robot or a small industrial robot. By adding the rotary table to the process increases versatility of applicable welding products. The rotary table reduces welding costs of new parts, weld clad parts and weld repaired parts.

Keywords: industrial robot, collaborative robot, robotic welding, repair welding, cladding welding

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TYÖN TOIMEKSIANTAJA SSAB	8
2.1	SSAB Europe Oy.....	8
2.2	Kunnossapidon osa-alueet Raahessa	8
2.3	Korjaamotoiminnot	9
3	TEOLLISUUS- JA YHTEISTYÖROBOTIT	10
3.1	Teollisuusrobotit	10
3.2	Cobotit eli yhteistyörobotit	11
3.3	Työturvallisuus	11
3.4	Vaarojen tunnistaminen ja riskin arviointi	13
4	HITSAUSMENETELMÄT JA TALOUDELLISUUS.....	14
4.1	Robottihitsaukseen soveltuvat hitsausmenetelmät.....	14
4.2	Robotti- ja käsinhitsauksen vertailu	14
5	HITSAUSROBOTIN VALINTA, SUUNNITTELU JA HANKINTA.....	15
6	HITSAUSROBOTTIEN OHJELMOINTI	17
6.1	Muodon skannaus ohjelman luontia varten	17
6.2	Työstöradasta robotin ohjelma	18
6.3	Makroiin perustuva ohjelmointi	19
6.4	Robotin liikeratojen ohjelmointi	19
6.4.1	Delfoi Robotics Premium 4.3 -ohjelma	20
6.4.2	RoboDK	21
6.4.3	RobotStudio	22
6.5	Railonhaku ja -seuranta robotisoidussa hitsauksessa	22
7	ROBOTTI- JA COBOTTIHITSAUKSEEN SOVELTUVAT TUOTTEET	24
8	TESTIHITSAUKSET	25
8.1	Murskainpalkit	26
8.2	Suojalevy.....	26
8.3	Suojakotelo.....	27
8.4	Tuki	28
8.5	Kylmäaihionpää.....	28

9	KORJAAMON ROBOTIHITSAUKSEEN SOVELTUVAT TUOTTEET JA TESTITULOKSIA.....	30
9.1	Kylmäaihionpäät.....	30
9.2	Valssin kytkimien ja konvertterin suurenkaiden kunnostus.....	32
9.3	Murskainpalkit	33
9.4	Suojalevy.....	35
9.5	Suojakotelo.....	37
9.6	Tuki	38
10	HITSAUSROBOTILLE ASETETUT VAATIMUKSET	39
10.1	Toimintaympäristö (käyttöympäristö).....	40
10.2	Tilantarve, hitsausmenetelmät ja -parametrit.....	41
10.3	Ohjaus- ja päätelaitejärjestelmä	41
10.4	Robotille soveltuvat sarjakoot.....	42
11	RATKAISUVAIHTOEHTOJEN SOVELTUVUUS VALITTUJEN TUOTTEIDEN HITSAUKSEEN	43
12	TULOKSET.....	45
13	YHTEENVETO	47
	LÄHTEET.....	49
	LIITTEET	51

1 JOHDANTO

Automatisoinnin kehitys on helpottamassa työvoimapulasta kärsivää alaa ja auttaa pitämään tuotannon itsellä alentuneiden valmistuskustannusten ja tehostuneen tuotannon ansiosta. Hitsauksen automatisointia ja robottihitsausta on viime vuosien aikana tutkittu ja kehitetty paljon. Robottisoidulla hitsauksella saavutetaan parempaa tuottavuutta, tasalaatuista tuotantoa ja lyhempiä läpimenoaikoja. Operaattorin työoloja voidaan parantaa työnkuormittavuuden osalta sekä altistumista savukaasuille ja valokaarelle voidaan vähentää operaattorin työskennellessä etäämmällä hitsauskohteesta. Varustamalla hitsausrobotti erillisellä kappaleenkäsittelyrobotilla voidaan automaatiotasoa nostaa lisää ja siirtää yksinkertaisia työvaiheita operaattorilta robottien tehtäväksi.

Tavoitteena on kartoittaa markkinoilla olevia robottihitsauslaitteistoja ja niiden soveltuvuutta korjaamon hitsaustuotantoon, korjaamolla valmistettaville pienille ja keskisuurille sarjatuotantomäärille sekä kunnostus- ja korjaushitsauksiin. Pinnoitehitsauksessa kokeillaan kulutuskestävien hitsausliäsäaineiden soveltuvuutta robottihitsaukseen. Työssä tutkitaan ja testataan teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin, ns. cobotin soveltuvuutta korjaamon hitsaustuotantoon. Työssä selvitetään robottihitsaukseen soveltuvat hitsausmenetelmät sekä millaisia vaatimuksia robotti asettaa hitsattaville kappaleille. Lisäksi tarkastellaan, millaisia rajoituksia on kappaleen koossa, painossa ja muodoissa.

Työssä selvitetään robotin ohjelmoinnin tuomia haasteita korjaushitsattavissa tuotteissa, joissa kulluneen pinnan koneistuksen jälkeen hitsataan kappaleeseen uutta pintaa poistetun tilalle. Testeillä selvitetään, voidaanko esikoneistuksessa käytettyjä työstörataohjelmia sekä kappaleesta skannaamalla saatuja tiedostoja käyttää robotin ohjelman muodostamisessa.

Työssä perehdytään alan kirjallisuuteen, teknisenalan lehtiin ja alalla tunnettuihin kaupallisiin laite-toimittajiin. Testihitsaukset tehdään Oulun ammattikorkeakoulun cobotilla (UR10) ja teollisuusrobotilla (ABB). SSAB:n muiden toimipaikkojen hitsausrobotteja ja niiden toimivuutta kartoitettiin asiantuntija haastatteluin. Lisäksi tehtiin asiantuntija haastatteluja laite-toimittajille ja aihetta tutkineille laitoksille.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA SSAB

SSAB on maailmanlaajuisesti toimiva teräsyhtiö, joka missionsa mukaisesti on pitkälle erikoistunut kehittämään lujia teräksiä, jotka ovat vahvempia, kevyempiä ja kestävämpiä kuin tavallinen rakeneteräs. SSAB:lle on tärkeää pitää läheiset suhteet asiakkaisiin ja ohjata sitä kautta omaa toimintaansa. SSAB:n tuotantolaitokset sijaitsevat Ruotsissa, Suomessa ja Yhdysvalloissa, ja niiden yhteenlaskettu vuosituotanto on noin 8,8 miljoonaa tonnia terästä. Yhdysvalloissa tuotantoprosessit ovat kierrätysmetallipohjaisia ja niissä tuotanto tapahtuu valokaariuuneissa. Suomessa ja Ruotsissa teräksen tuotanto on integroitu malmipohjaiseen masuuniprosessiin, mutta teräksen valmistuksessa voidaan käyttää myös kierrätysterästä. SSAB kestävän kehityksen edelläkävijänä aikoo tuoda fossiilivapaata terästä markkinoille jo vuonna 2026 ja päästä eroon vuoteen 2045 mennessä hiilidioksidipäästöistään. SSAB on onnistuneesti tuottanut ja toimittanut ensimmäiset fossiilivapaat teräkset asiakkaalle vuonna 2021. (1.)

2.1 SSAB Europe Oy

SSAB Europe valmistaa Pohjoismaissa korkealaatuisia kuumavalssattuja levy- ja nauhatuotteita, kylmävalssattuja nauhatuotteita, metalli- ja maalipinnoitettuja nauhatuotteita. Lisäksi tuotevalikoimaan kuuluvat arkit, rainat, putket, profiilit sekä infrastruktuurituotteet. Työntekijöitä on noin 6700. SSAB:n kokonaisliikevaihdosta Europen osuus oli vuonna 2020 reilu 1/3 (35 %). Samana vuonna terästoimitukset olivat noin 3,3 miljoonaa tonnia. Pääasiakassegmentit ovat auto- ja energiateollisuus, raskaat kuljetusvälineet (myös meriteollisuus), rakennuskoneet, rakentaminen ja infrastruktuuri sekä erilaiset teollisuussovellukset. Lisäksi on palvelukeskuksia, jotka muokkaavat ja välittävät terästä eteenpäin. (2.)

2.2 Kunnossapidon osa-alueet Raahessa

Kunnossapidon organisaatio on jaettu Raahen tehtaalla yhdeksään eri osa-alueeseen, jotka ovat

- rautatuotannon kunnossapito
- terästuotannon kunnossapito
- valssaustuotannon kunnossapito
- keskitettykunnossapito

- keskuskorjaamo
- kiinteistöpalvelu
- materiaalipalvelu
- investointipalvelu
- kunnossapidon kehitys (3).

2.3 Korjaamotoiminnot

Korjaamopäällikkö johtaa korjaamon organisaatiota, joka on jaettu viiteen osa-alueeseen: konetekniset korjaamotyöt, aluesähköhuolto, automaatio- ja moottorihuolto, turvalaite ja kalibrointi sekä sähkönjakelu ja voimalaitoksen sähkökunnossapito. Konetekniset korjaamotyöt jaetaan vielä neljään osa-alueeseen, jotka ovat

- koneistuspalvelut
- pumppu- ja kompressorihuolto
- levy- ja hitsauspalvelut
- asennuspalvelut
- työkalu- ja hydraulikkahuolto.

Jokaisella osa-alueella on omat työnsuunnittelijat, jotka suunnittelevat sen alueen työt. Osa työnsuunnittelijoista suunnittelee töitä useammalle osa-alueelle. Työnjohtaja organisoii töiden valmistuksen ja priorisoi työt yhdessä työnsuunnittelijan kanssa. Työnsuunnittelijan tehtäviin kuuluu oman alueen töiden suunnittelu sekä työturvallisuuden- ja menetelmien kehittäminen.

3 TEOLLISUUS- JA YHTEISTYÖROBOTIT

Standardi SFS-EN ISO 10218-1 määrittelee teollisuusrobotin automaattisesti ohjatuksi ja uudelleen ohjelmoitavaksi monikäyttöiseksi käsittelylaitteeksi, joka on tarkoitettu käytettäväksi teollisuuden automaatiosovelluksissa. Laite voi olla, joko kiinteästi asennettu tai liikkuva ja sen akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa. Teollisuusrobotti pitää sisällään seuraavat osat:

- käsittelylaitteen ja toimilaitteet
- ohjauslaitteen (laitteisto ja ohjelmisto)
- mahdolliset yhdistetyt lisäakselit.

Yo. standardin mukaan myös käsin ohjattavat robotit, yhteistyörobotit sekä liikkuvien robottien käsittelylaitteet katsotaan teollisuusroboteiksi. Yhteistyörobotit eivät täytä standardin ISO 10218-1:n vaatimuksia standardin ja IFR:n mukaan, mutta voivat olla siitä huolimatta turvallisia käyttää. Niiden valmistuksessa ja käytössä on kuitenkin pyritty noudattamaan erilaisia kansallisia tai sisäisiä standardeja sekä erilaisia turvallisuusstandardeja. (4; 5.)

Standardissa ISO 10218-1 käsitellään niitä teollisuusrobotin turvallisuuteen liittyviä asioita, jotka tulee huomioida sen suunnittelussa ja rakenteessa. Standardin toisessa osassa ISO 10218-2 käsitellään robottijärjestelmää kokonaisuutena sekä sen suunnittelua ja käyttötapaa. Standardi ohjeistaa henkilöturvallisuuden varmistamista robottilaitteistojen sovittamisessa toisiinsa, sen asennuksessa ja toiminallisessa testauksessa sekä henkilöturvallisuudesta sen käytön, ohjelmoinnin, kunnossapidon ja huollon aikana. (4; 6.)

3.1 Teollisuusrobotit

Robotit voidaan ryhmitellä karkeasti portaali-, napakoordinaatisto- ja sylinterirobotteihin sekä rinnakkaisrakenteisiin robotteihin ja kiertyvänivelisiin robotteihin. Yleisin hitsaussovelluksissa käytetty robotti on kiertyvänivelinen robotti, joissa on 5 - 6 ohjelmoitavaa liikettä. Tyypillisesti robottihitsauksessa käytetään ns. käsivarsirobotia (kiertyvänivelinen robotti), jossa on 5 niveltä. Niveliä tai akseleita saadaan lisää, kun laitetaan robotin eteen pyörityspöytä, tai käsivarsirobotti asennetaan lineaariradalle tai portaaliin. (7.)

Standardi SFS-EN ISO 10218-1 määritteli teollisuus- ja yhteistyörobotit saman teollisuusrobottinimityksen alle. Laitetoimittajat erittelevät kuitenkin teollisuusrobotit ja cobotit toisistaan laitteen toiminnan mukaan. Teollisuusrobotit on yleensä suojattu turva-aidoilla ja -valoverhoilla siten, että ihminen ei pääse robotin työskentelyalueelle ja ne voivat toimia itsenäisesti. Teollisuusrobotit on yleensä sijoitettu kiinteästi konepajaan tai tuotantolinjalle. Teollisuusrobotit ovat nopeampiliikkeisiä sekä kooltaan isompia ja raskaampia. Niiden tyypillisiä töitä ovat monimutkaiset kappaleet ja suuret sarjakoot. (8.)

3.2 Cobotit eli yhteistyörobotit

Cobotit eli collaborative robots (yhteistoiminnalliset robotit) ovat teollisuusrobotteja huomattavasti helpompia ottaa käyttöön, ja niiden ohjelmointi on helpompaa. Ne ovat pienehköjä ja automatisoituja robotteja ja ohjelmoitu suorittamaan tuotannon toistotarkkuutta vaativia tehtäviä. Ne työskentelevät turvallisesti ihmisten kanssa yhdessä. Cobotteja käytetään pääasiassa pienien ja keskisuurien sarjojen tuotannossa. Markkinoilta löytyy jo cobotteja, joiden käyttö piensarjatuotannossa on taloudellisesti kannattavaa. Teollisuusrobotteihin nähden cobotit ovat kevyempirakenteisia ja niiden hyötykuorma on pienempi, nostokyky noin 20 kg. Ulottuvuus on vajaa 2 metriä, ja mitä pidempi on ulottuvuus, sitä pienempi on hyötykuorma. Cobotit eivät ole paikkasidonnaisia, niitä voidaan siirtää eri työkohteisiin ja työpaikkoihin nopeasti sekä joustavasti, joten samaa laitetta pystytään hyödyntämään useammassa eri kohteessa. (9; 10.)

Laittevalmistaja ABB on lisännyt cobottivalikoimaansa auttaakseen asiakkaitaan lisäämään automatisointia ja vauhdittaakseen kannattavaa kasvua. ABB näkee neljä eri suuntausta, jotka ovat tulevaisuudessa muuttamassa liiketoimintaa sekä lisäämässä automaatiota yrityksissä myös aloilla, jossa ei aiemmin ole ollut suurta painetta automatisoinnille. Nämä suuntauksat ovat kuluttajien yksilöllistyminen, työvoimapula, digitalisaatio ja epävarmuus. (11.)

3.3 Työturvallisuus

Cobotit eivät yleensä tarvitse valoverhoja ja suoja-aitauksia, vaan niiden toiminta on suunniteltu niin, että ihminen pystyy turvallisesti työskentelemään samalla alueella. Cobotti tunnistaa törmäyksen ihmiseen tai muuhun esteeseen omien moottoreidensa virrankulutuksen muutoksen mukaan,

muun kuorman- tai esteentunnistuksen tai törmäysanturin avulla, jolloin laite pysähtyy. Turvallisuussyistä cobotit ovat yleensä melko pienikokoisia, ja niiden ulottuvuus yhteen suuntaan jää noin metriin ja nostokyky muutamiin kiloihin. Törmäystilanteissa edellä mainituista seikoista on se hyöty, ettei ole niin paljon liikkuvaa massaa eikä hitausmomenttia. (9.) Cobotin liikenopeudet ovat rajoitettuja (noin 400 mm/s) käyttäjän turvallisuuden vuoksi, ja ne ovat yleensä pienemmät kuin teollisuusrobotissa.

Cobotit eivät ole niin paikkasidonnaisia kuin teollisuusrobotit, koska ne voidaan rakentaa niin, että niiden liikuttelu työpisteestä toiseen on helppoa ja vaivatonta. Coboteille ei tarvitse rakentaa suojausta kuten teollisuusroboteille, jotka yleensä työskentelevät suljetussa tilassa tai aitauksessa, johon ihminen ei saa mennä robotin työskentelyn aikana. Teollisuusrobotit ovat yleensä myös järeämpiä ja työläästi siirrettäviä paikasta toiseen. Automaattisesti toimiville laitteille, kuten coboteille on kuitenkin suositeltavaa tehdä aina riskikartoitus ennen käyttöönottoa.

Teollisuusrobottien valmistajatkin ovat menneet kohti kollaboratiivisuutta suunnitteleamalla robotteihin turvajärjestelmiä, jotka tunnistavat ihmisen lähestymisen ja hidastavat liikenopeuksia sekä pysäyttävät toiminnot tarvittaessa, ettei törmäystä ihmisen kanssa pääse tapahtumaan. Näillä pyritään poistamaan suoja-aitauksia ja muita suojuuksia, jotka vievät tilaa sekä rajoittavat työskentelyä. Yksi tällainen turvajärjestelmä on esim. ABB:n turvalaserskanneri (SafeMove2-ominaisuus). (9.)

Teollisuusrobotin voisi olettaa olevan käytössä cobottia turvallisempi sen paremman suojuuksen ansiosta, koska teollisuusrobotti työskentelee suljetussa tilassa, ellei suojuuksia ole ohitettu ja ihminen mennyt työskentelyalueelle. Jotkut toimittajat ei ole lähteneet vielä cobottia myymään ja toimittamaan sen turvallisuuspuutteiden vuoksi. Hitsausrobotin käyttöturvallisuudessa on syytä huomioida hitsauspoltin seuraavista näkökulmista:

- polttimen langan pistäminen operaattoriin
- lämpötila ja suojavaara
- langassa kulkeva sähkövirta ja -jännite.

3.4 Vaarojen tunnistaminen ja riskin arviointi

Vaarojen tunnistaminen ja riskin arviointi hankittavalle ja käyttöönotettavalle robottijärjestelmälle on hyvä tehdä standardin ISO 10218-2 monipuolisen ja kattavan ohjeistuksen mukaan. Standardi kattaa ohjeistuksen laitesijoittelun suunnittelusta robottijärjestelmän käyttöönottoon. Turvallisuusnäkökulmasta robottijärjestelmää tulee tarkastella kokonaisuutena kaikkine siihen liitettävine laitteineen (ohjaus, kappaleen käsittelylaitteet, hitsausprosessi ja -laitteisto yms.). Tulee huomioida myös turvallisuus käytönaikaisen toiminnan seurannassa sekä huoltojen ja kunnossapidon toteutuksessa. (6.)

4 HITSAUSMENETELMÄT JA TALOUDELLISUUS

Robottihitsaus on ollut autoteollisuudessa jo pitkään käytössä. Autoteollisuudessa käytetyimpiä hitsausmenetelmiä ovat olleet piste- ja laserhitsaus. Suomessa roboteissa käytetyin hitsausmenetelmä on kuitenkin MIG-/MAG-hitsaus. Hyvin suunnitellulla ja toteutetulla robotisoinnilla voidaan tehostaa hitsaustuotantoa parantuneen laadun, tuottavuuden ja työturvallisuudenkin myötä. Nykyaikaisilla hitsausprosesseilla (pulssehitsausprosesseilla) voidaan myös nopeuttaa hitsausta ja hallita muodonmuutoksia pienentyneen lämmöntonnin ansiosta.

4.1 Robottihitsaukseen soveltuvat hitsausmenetelmät

Yleisimmät hitsausmenetelmät robottihitsaukseen on MIG-/MAG- ja laserhitsaus. Yaskawa lupaa Motoman-roboteille valmiit digitaaliset liitäntämahdollisuudet eri valmistajien virtalähteisiin, kuten Kemppi, Fronius, Lincoln Electric, SKS, Lorch, Binzel, EWM ja Miller. (12.) Robottihitsauksessa voidaan käyttää laaja-alaisesti eri hitsausmenetelmiä, kuten kaari-, vastus-, piste-, TIG-, laser-, plasma- ja MIG-/MAG-hitsausta. (13.)

4.2 Robotti- ja käsinhitsauksen vertailu

Hyvin toteutetulla robotisoidulla MAG-hitsauksella voidaan saavuttaa jopa 5-kertainen tuottavuus käsin hitsaukseen nähden. Hitsiaineentuotto käsinhitsauksessa on 0,5 - 5 kg/h, kun robotilla voidaan hitsata 3 - 10 kg/h. Robotilla voidaan saavuttaa 60 - 80 %:n kaariaikasuhde (kaariaika/kokonaisaika), kun se MAG-hitsauksessa on yleensä 10 - 40 %. Robotilla päästään hitsauksessa muutoinkin parempiin tuloksiin tasaisemman laadun ja lämmöntonnin sekä paremman tuottavuuden ansiosta. (14.) Käsinhitsauksessa kuluu työaika paljon kasaukseen ja hitsauksen valmisteluun sekä viimeistelyyn. Robottihitsauksessa operaattori voi tehdä valmistelu- ja viimeistelytyötä robotin hitsatessa toista kappaletta. Kehittyneillä hitsausprosesseilla voidaan parantaa työntuottavuutta ja nopeuttaa hitsausta, kun kappaleeseen tuodaan vähemmän lämpöä hitsauksen aikana, jolloin muodonmuutosten hallinta onnistuu paremmin. (15.)

5 HITSAUSROBOTIN VALINTA, SUUNNITTELU JA HANKINTA

Ennen kuin yrityksen robottihanketta lähdetään viemään eteenpäin, tulee tunnistaa automatisoitavat kohteet ja tehdä tarvekartoitus tuotantoprosessille. Tulee selvittää, miksi jotain työvaihetta halutaan automatisoida ja miksi tietystä työvaiheesta on tullut tuotannon pullonkaula. Tuotantohäiriöön voi olla syynä esimerkiksi työvaiheen yksitoikkoisuus ja sen aiheuttamat terveyshaitat operaatoreille, jolloin yksitoikkoisen työn automatisoinnilla voidaan saada työvaihetta tehostettua ja operaattorin työoloja parannettua. (16.)

Robottiaseman suunnitteluvaiheessa on hyvä ottaa kaikki laitteistotoimittajat mukaan suunnitteluun parhaan ratkaisun löytämiseksi. Toimittajaa valittaessa on syytä pyrkiä kokonaisvaltaiseen toimintukseen, avaimet käteen ja käyttäjät koulutettuna -periaatteella, jossa yhden toimittajan kautta tulee robottiasema kokonaisuutena käyttövalmiiksi asennettuna. Yhden toimittajan periaatteella voidaan varmistaa laitteiston kokonaisvaltainen toimivuus sekä eri osa-alueiden yhteensopivuus. Ohjaus- ja käyttöjärjestelmän sekä päätelaitteen on toimittava moitteettomasti ja kyettävä ohjaamaan kokonaisuutta, robottia, kappaleenkäsittelylaitetta, pyörityspöytää, hitsausvirtalähdettä, työkaluja, robotin kalibrointilaitteistoa sekä polttimepuhdistus- ja lisäainelangankatkaisulaitteistoa. Käytettävän automaation ja robotin on oltava yhteensopivia käyttöönotettavan työkalu- ja päätejärjestelmän kanssa (17.)

Robotin valintaan vaikuttavat

1. toimintaympäristö (käyttöympäristö)
2. käsiteltävien kappaleiden koko ja paino sekä käsiteltävät sarjakoot
3. robotin liikeradat ja ulottuvuudet
4. hitsausmenetelmät ja -prosessit sekä virtalähteet (MIG/MAG, jäähdytys, soveltuvat lisäaineet)
5. kappaleen käsittelylaitteet ja apulaitteet (pyöröpöydät, railontunnistus, polttimepuhdistus ja langankatkaisu)
6. ohjaus- ja päätelaitejärjestelmä
7. robotin ohjelmointi (Online-/Offline-ohjelmointi).

Kun kolme ensimmäistä kohtaa on määritelty, voidaan aloittaa suunnittelemaan laitteistoa. On tärkeä valita yhteensopivat laitteistot, jotta laitteisto toimii moitteettomasti ja on helposti käyttöönotettavissa. (17.)

Käyttäjän näkökulmasta laitteiston käyttö tulisi olla mahdollisimman helppoa ja yksinkertaista. Robotin ohjelmitavuus aina uudelle kappaleelle tulisi olla yksinkertaista ja nopeaa, etenkin pienille ja keskisuurille sarjoille, jotta laitteiston käyttö olisi taloudellista ja laitteiston takaisinmaksuaika olisi mahdollisimman lyhyt. Konepajan laitteistoinvestoinneissa olisi hyvä pyrkiä noin 2 - 3 vuoden takaisinmaksu-aikaan, jotta hankinta olisi kannattavaa.

Robotin ohjelmointiin on valittava huolella robotin kanssa yhteen sopiva offline-ohjelma. Ohjelmaa valittaessa on hyvä ajatella tulevaisuutta valitsemalla ohjelma, jota voidaan hyödyntää useamman valmistajan robotille. Lisä robottien hankinta on tällöin joustavampaa ja kaikkia robotteja pystytään ohjelmoimaan samalla ohjelmalla. Offline-ohjelmissa on myös se hyvä puoli, että niillä voidaan rakentaa erilaisia robottikokonaisuuksia ja simuloimalla kokeilla niiden toimivuus ja ohjelmointi ennen kalliin robotin investointia. Offline-ohjelmistolla voidaan rakentaa hitsausrobotiasema pyörityslaitteineen ja kappaleen käsittelylaitteineen sekä sijoittaa sinne omat hitsattavat tuotteet, joiden hitausta suunnitellaan automatisoitavaksi. (18; 19.)

6 HITSAUSROBOTTIEN OHJELMOINTI

Robotinohjauksessa ja liikeratojen ohjelmoinnissa on käytetty yleensä robottivalmistajan omaa ohjausta. Nykyisin on saatavissa jo ohjelmia, joilla voidaan ohjelmoida useamman valmistajan robotteja, mikä on mielestäni hyvä suuntaus helpottamaan robottien käyttöönottoa ja muunneltavuutta myöhemmin. Näin ei olla täysin sidoksissa yhteen valmistajaan tai toimittajaan. Tässä työssä on jonkin verran tutkittu ohjelmoinnin problematiikkaa kunnossapidon korjaushitsauksien näkökulmasta. Yhtenä tutkimuskohteena on kappaleen esikoneistusvaiheessa tehdyn työstöradan ja työtetyn mallin hyödyntäminen robotin ohjelmoinnissa. Toisena kohteena on esikoneistetun kappaleen muotojen skannaus ja skannatusta tiedostosta ohjelman tekeminen robotille.

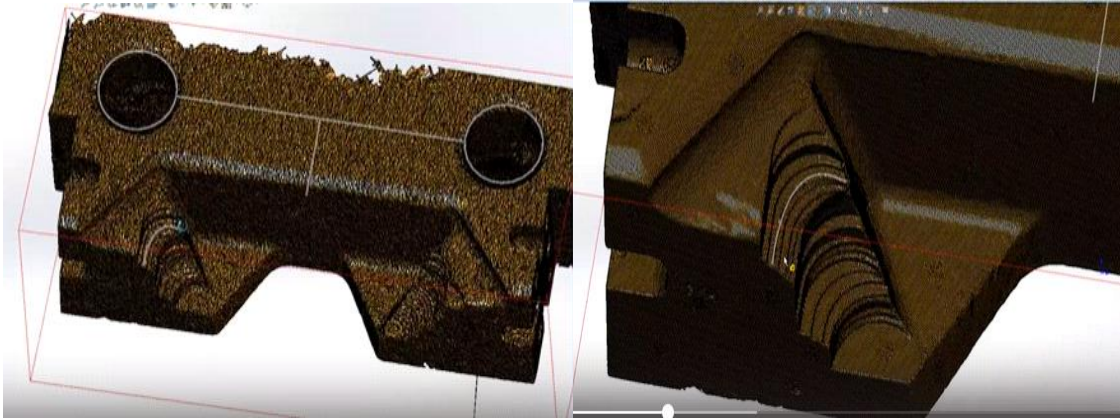
Korjaushitsauksissa ja pienten sarjojen valmistuksessa robottien ohjelmoinnin kankeus ja hitaus ovat tekijöitä, jotka rajoittavat robottien laajempaa käyttöönottoa konepajoissa. Robotin käyttöönotto on perustellumpaa aloilla, joissa tehdään suuria sarjoja ja joissa ohjelman tekoa ei ole niin paljon, vaan tehdyllä ohjelmalla tehdään tuotantoa pidemmän aikaan. Tällöin ohjelman tekoon käytetyllä ajalla ei ole niin suurta merkitystä kappaleen kokonaiskustannuksiin ja läpimenoaikaan. Odotankin tämän alan ohjelmointipuolen kehittymistä suurella mielenkiinnolla. Joidenkin toimittajien mielestä kunnossapidonhitsauksissa makroihiin perustuva ohjelmointi on tällä hetkellä realismia.

6.1 Muodon skannaus ohjelman luontia varten

Muodon skannaus toteutettiin korjaamalla 16.4.2021 Oulun ammattikorkeakoulun skannerilla Creaform HandySCAN Black Elite. Skannaus pystyttiin toteuttamaan onnistuneesti kahdelle eri kylmäaihionpäälle. Skannatut kylmäaihionpäät olivat ns. lohenpyrstömalli (piirustusnumero 1751875) ja toinen ns. kourumalli (piirustusnumero 1443871). Näiden skannattujen tiedostojen pohjalta keuhkehtiin muodostaa ohjelma robotille.

Skannatusta pistepilvestä ohjelman tekeminen robotille ei onnistu suoraan. Skannattuun tiedostoon joudutaan piirtämään 3D-ohjelmalla (Solid Works, Inventor) muotoviivat, joiden mukaan hitsausrobotin liikeradat voidaan toteuttaa. Kuvassa 1 on skannatun kylmäaihionpään pistepilvi siirrettyä Solid Works-ohjelmaan ja piirretty muotoviiva, jonka mukaan hitsausrata voitaisiin toteuttaa.

Esikoneistetun kylmäaihionpään täytehitsauksen toteutus näin on ohjelmoinnin osalta erittäin työläs. Kuvan 1 kylmäaihionpään täytehitsaus ei toteudu yhdellä palkokerroksella ja seuraavien palkokerrosten liikeratojen piirtäminen käy lähes mahdottomaksi ohjelman teon kannattavuutta ajatellen.



KUVA 1. Skannatut pistepilvet esikoneistetusta kylmäaihionpäästä

Skannatusta tiedostosta ohjelman tekeminen robotille on käytössä olevilla ohjelmistoilla työläs ja aikaa vievä prosessi. Ohjelman tekeminen skannatusta tiedostosta ei ole järkevää ja kustannustehokasta. Tämä tulee kysymykseen vain osissa, joiden uudelleen valmistus on kallista, jolloin ohjelman tekoon käytetyllä ajalla ei ole niin suurta merkitystä. Tämän opinnäytetyön laajuudessa ja tutkimusalueella skannauksen hyödyntäminen ohjelmoinnissa ei ole järkevää, ja yleensäkin sen järkevyys kannattaa tarkastella aina tapauskohtaisesti.

6.2 Työstöradasta robotin ohjelma

Tässä työssä tutkittiin mahdollisuutta hyödyntää työstöradasta saatua dataa robotin ohjelmoinnissa. CAD/CAM-ohjelmasta otetun datan hyödyntämiseen löytyy kaksi lähestymistapaa. (Lyhenneet CAD = Computer Aided Design eli tietokoneavusteinen suunnittelu ja CAM = Computer Aided Manufacturing eli tietokoneavusteinen valmistus.) CAD/CAM-ohjelmassa simuloitu malli on mahdollista tallentaa STL-tiedostoksi, jota 3D-tulostimienkin liikeratojen luonnissa käytetään. STL-tiedostoa voidaan taas käsitellä 3D-mallinnusohjelmalla (Inventor ja Solid Works). CAD/CAM-ohjelmassa simuloitu malli voidaan tallentaa STL-tiedostoksi ja siirtää STL-malli sellaisenaan Delfoi Robotics Premium 4.3-ohjelmaan ja käyttää mallia hitsauksen simuloinnissa. STL-tiedostoksi tallennettu malli vastaa työstetyn kappaleen muotoja. CAD/CAM-ohjelman simuloidusta mallista tämän hetken tiedon valossa voidaan tehdä robotille ohjelma nopeammin kuin skannatusta tiedosta.

Toinen tutkittava vaihtoehto on CAM-ohjelmissa tehtyjen työstöratujen hyödyntäminen robotin ohjelmoinnissa. Tässä tapauksessa mahdollisesti joudutaan tekemään CAM-ohjelmassa erikseen ohjelma koneistukselle ja robotille. (19.) Tätä osa-aluetta ei tässä työssä tutkittu muutoin kuin teorioidon ja toimittajainformaation pohjalta.

6.3 Makroihin perustuva ohjelmointi

Makroihin perustuvassa ohjelmoinnissa on kyse kerran tehdyistä ohjelmista, joita sitten toistetaan samanlaisille kappaleille. Makroihin perustuvaa ohjelmointia voidaan hyödyntää korjaushitsauksissa ainakin kahdella eri tavalla. Jokaiselle eri esikoneistusohjelmalle tehdään oma hitsausohjelma, jota käytetään vain sille tarkoitetun esikoneistuksen täytehitsaukseen. Esim. jos kappaleen pinnasta koneistetaan pois noin 0,5 - 2,5 mm, tehdään tälle koneistusohjelmalle vastaava robotti-hitsausohjelma, jolla hitsataan kappaleen pintaan yksi hitsauspalkokerros. Seuraava makro olisi, kun kappaleen pinnasta on koneistettu pois noin 2,5 - 5,5 mm, jolloin tälle tehdään oma hitsausohjelma, jossa hitsataan kappaleen esikoneistettuun pintaan kaksi hitsauspalkokerrosta. Tätä toistetaan tarvittava määrä. Tässä tapauksessa valittu esikoneistusohjelma määrää valittavan hitsausohjelman (makron). Oletuksena on, että yhden hitsatun palkokerroksen vahvuus on noin 3 mm.

Toinen vaihtoehto on koneistuksen ohjelmoinnista tuttu makro-ohjelmointi, jossa tehdään ns. yksi makro-ohjelma, jota sitten toistetaan tarvittava määrä, että päästään haluttuun esikoneistussyvyyteen. Hitsausrobotille tehdään samoin makro-ohjelma yhden palkokerroksen hitsauksesta, jota sitten toistetaan kulloinkin tarvittava määrä niin, että päästään haluttuun kerrosvahvuuteen. Tässä tapauksessa kappaleen pinnasta poistettu ainemäärä ratkaisee sen, montako kertaa makro-ohjelma toistetaan hitsauksen yhteydessä. Hitsattava alue on tässä tapauksessa joka kerrokselta samankokoinen eli ei sellaisenaan sovellu esim. kylmäaihionpään hitsaukseen.

6.4 Robotin liikeratojen ohjelmointi

Robotin ja cobotin liikeratoja voidaan ohjelmoida online- ja offline-ohjelmoinneilla, jotka tuovat suuren helpotuksen nykyaikaisen robotin ohjelmointiin perinteisen ohjelmakoodaamisen tilalle. Online-ohjelmointi tapahtuu robottisolussa sen omalla ohjauspäätteellä, joten kaikki ohjelmointiin käytetty

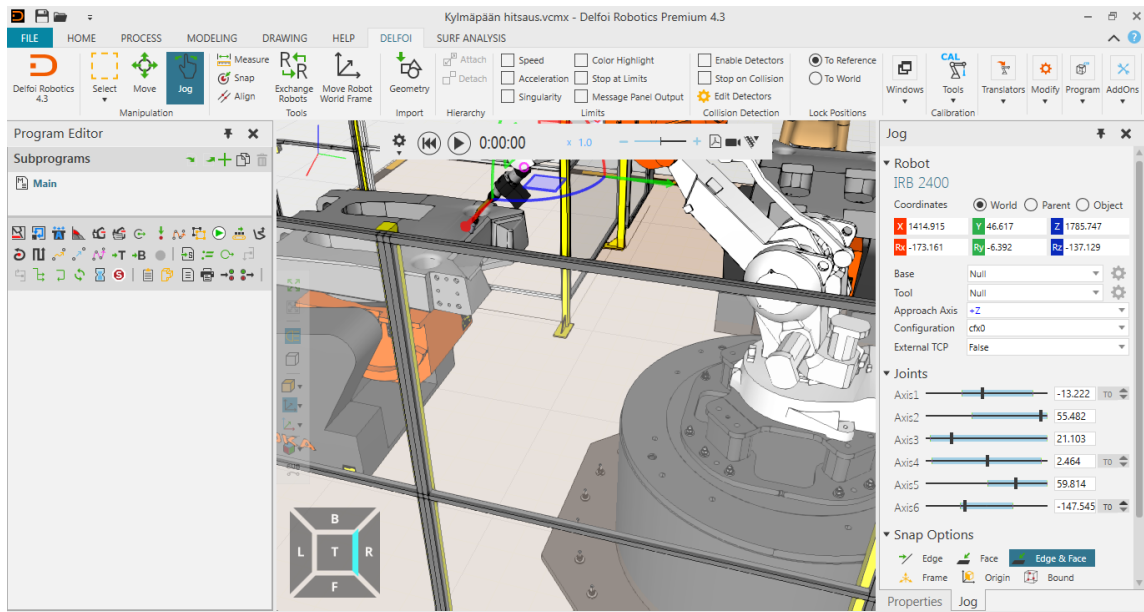
aika on pois robottisolun tuotantoajasta. Online-ohjelmoinnissa näytetään cobotin käsivartta liikuttamalla ne pisteet, joissa sen tulee käydä, viemällä hitsauspoltin hitsauslangalla kohdistamalla haluttuun kohtaan. Cobotin ohjelmointi käy helposti näyttämällä sille lähtöpiste, lähestymispiste, hitsattavan railon alku-, väli- ja loppupisteet ja poistumispiste sekä paluu lähtöpisteeseen.

Offline-ohjelmointi tapahtuu robottisolun tai tuotantoympäristön ulkopuolella. Ohjelmointia voidaan tehdä robottisolun ollessa tuotannossa, jolloin se ei aiheuta ohjelmoinnin ajaksi tuotantokatkoja. Offline-ohjelmoinnilla voidaan simuloida hitsausprosessi ja tehdä törmäystarkastelu ennen tuotteen hitsausta tai tuotantosolun perustamista. Tuotantosolun suunnittelussa ja hitsausprosessissa tapahtuneet virheet voidaan ennakoida ja poistaa ennen tuotantosolun perustamista tai tuotteen laittamista hitsaukseen. (20.) Offline-ohjelmoinnilla voidaan lisätä tuottavuutta ja vähentää riskejä simuloimalla prosessia etukäteen, joka nopeuttaa uusien tuotteiden käyttöönottoja ja lyhentää kappaleiden vaihtoaikoja (21).

Robottien ohjelmointiin ovat tuoneet helpotusta niin RoboDK kuin Delfoikin tekemällä robottien simuloitiohjelman, joka kattaa useamman robottivalmistajan robottien ja oheislaitteiden ohjelmoinnin. Ilman näitä robottien ohjelmointi olisi huomattavasti työläämpää ja robotin hankinnassa jouduttaisiin valitsemaan yhden toimittajan laitteistoja, jotta välttyttäisiin eri valmistajien toisiinsa sopimattomien ohjelmointi- ja simuloitiohjelmien hankinnalta. (22.)

6.4.1 Delfoi Robotics Premium 4.3 -ohjelma

Tähän työhön liittyviä testejä tehtiin Delfoi Robotics Premium 4.3 -ohjelmalla. Delfoi Robotics- etäohjelmointi- eli offline-ohjelmointitekniikkaa on käytössä auto- ja ilmailuteollisuudessa, raskaiden koneiden valmistuksessa, laivanrakennuksessa ja rakennusalan teräsrakenteiden valmistuksessa. Delfoi ARC on kaari- ja laserhitsauksen ohjelmointiin soveltuva parametrinen ja piirrepohjainen (feature based) ohjelmisto. Robotin liikeratojen ohjelmoinnissa voidaan käyttää hitsattavan kappaleen 3D-mallia (kuva 2). Tuettuja muotoja on mm. IGES-, STEP-, SAT-, IPT- ja SAT-tiedostot. Myös monet muut tiedonsiirtoformaatit ovat mahdollista viedä ohjelmistoon ja hyödyntää niitä ohjelman teossa. Ohjelmiston omaa WPS (Welding Procedure Specification) -tietopankkia käytetään hitsausratojen ja -ohjelmien luonnissa. (23; 24.)

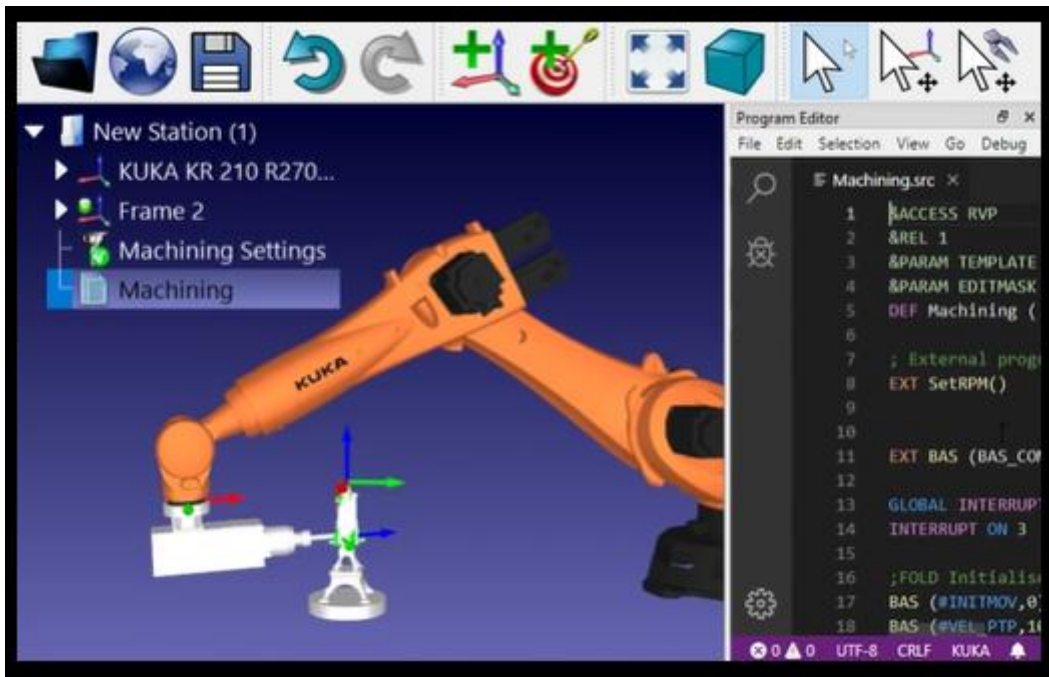


KUVA 2. Delfoin Robotics Premium 4.3 -ohjelmalla ohjelmointia

Ohjelmalla voidaan suunnitella robottisolun layout kaikkine laitteineen, tehdä robotin ulottuvuus- ja törmäystarkastelu sekä simuloida tehdyt ohjelmat. Ohjelmistosta löytyy valmiina useiden robottivalmistajien robotteja ja hitsauspaikoitinnalleja sekä kuljettimia ja turvalaitteistoa. Offline-ohjelmistosta voidaan tehdä robottikoodia mm. seuraavien robottivalmistajien roboteille: ABB, Fanuc, Kawasaki, KUKA, Reis Robotics ja Yaskawa Motoman. (24.)

6.4.2 RoboDK

RoboDK:n ohjelmistolla voidaan simuloida samoin kuin Delfoin ohjelmallakin useamman robotin ja pyörityspöydän robottisolun toiminta. RoboDK:n ohjelmasta löytyy laaja robottikirjasto, josta voidaan layoutiin poimia satoja eri teollisuusrobottivarsia 50 robottivalmistajalta. Käytettävissä on mm. seuraavien valmistajien robotteja: ABB, Fanuc, KUKA, Universal Robots ja Yaskawa/Motoman. Lisäksi kirjastosta löytyy 1 - 3-akselisia kääntöpöytiä ja lineaarikiskoja. Ohjelmaan voidaan tuoda myös omien työkalujen ja hitsattavien kappaleiden 3D-malleja STL-, STEP- ja IGES-tiedostomuodoissa. RoboDK:n ohjelmisto tukee myös laajennusmahdollisuutta Mastercamiin, jolla voidaan tehdä CNC-koneen työstörataohjelmia. Ohjelmatoimittajan mukaan se voidaan integroida helposti myös muihin CAD-/CAM-ohjelmiin. (Kuva 3.) (18; 20.)



KUVA 3. RoboDK:lla ohjelmointia (20)

6.4.3 RobotStudio

RobotStudio on ABB:n oma robottien ohjelmointiin suunniteltu simulointi- ja offline-ohjelmointiohjelmisto, jolla voidaan ohjelmoida robotteja etänä ilman tuotantokatkoja. RobotStudion offline-ohjelma on samanlainen ohjelmisto, jolla käytetään ja ohjataan tuotantorobotteja. Se on rakennettu ABB Virtual Controlleriin, mikä mahdollistaa aidoilla robottiohjelmilla ja konfiguraatitiedoilla todennukaisen liikeratojen simuloinnin. Ohjelmiston käyttäminen muiden valmistajien robottien ohjelmoinnissa ei ole mahdollista, joten ohjelmisto käy niille, jotka valitsevat robotti-toimittajaksi yhden toimijan. (21.)

6.5 Railonhaku ja -seuranta robotisoidussa hitsauksessa

Railonhakuun robottihitsauksessa voidaan käyttää kosketusantureina hitsauspolttimen kaasuholkia tai hitsauslankaa kytkemällä niihin sähkövirta railonhaun ajaksi. Näitä kutsutaan sähköisiksi kosketusantureiksi. Railonseuranta voidaan toteuttaa mittaamalla hitsausprosessin aikana tapahtuvaa hitsausvirran muutosta, jonka hitsauslaitteisto tunnistaa vapaalangan pituuden muutoksista. Railonseurantaan voidaan käyttää lasersensoreita, konenäköä ja optisia menetelmiä, joihin kehitys on viime aikoina keskittynyt. Valmiin sauman tarkasteluun voidaan käyttää laserskannereita, joiden avulla nähdään mm. hitsausvirheitä. Railonhausta ja -seurannasta saadun tiedon kehitystyö on

keskittynyt robotin ja hitsausprosessin reaaliaikaisen ohjauksen kehittämiseen, jotta robottisoitu hitsaus olisi tuottavampaa. Kehitystyön tavoitteena ovat kustannuksiltaan kannattavat tekniset menetelmät ja mahdollisuus hitsata automatisoidusti yksittäisiäkin kappaleita. (25; 26.)

7 ROBOTTI- JA COBOTIHITSAUKSEEN SOVELTUVAT TUOTTEET

Cobottihitsaukseen soveltuvat kooltaan pienet ja kevyet kappaleet, joita voidaan helposti käsin asettaa hitsauspöydälle. Kappaleet, joiden kiinnittämiseen hitsauksen ajaksi ei tarvitse valmistaa erillisiä kiinnittimiä, soveltuvat hyvin cobotilla hitsaukseen. Useimpien kappaleiden hitsaukseen riittää hyvin siirrettävillä kiinnittimillä oleva hitsauspöytä.

Cobotin omalla ohjauksella on helppo ohjelmoida niin suorat kuin kaarevatkin liitokset ja pyörähdyskappaleet. Kappaleista ei tarvitse olla 3D-malleja ohjelmointia varten, koska hitsattavat kohdat näytetään ja kohdistetaan hitsauslangan avulla. Cobotilla voidaan hitsata yksittäisiä kappaleita, piensarjoja tai isompiakin sarjoja. Isompia sarjoja hitsattaessa voidaan cobotille tuoda kaveriksi erillinen kappaleenkäsittelyrobotti, joka tuo hitsattavat kappaleet cobotille ja pitää toista hitsattavaa kappaletta paikoitettuna silloitushitsauksen ajan. Kappaleenkäsittelyrobotti poistuu silloituksen jälkeen ja vaihtaa lopuksi hitsatun kappaleen uuteen.

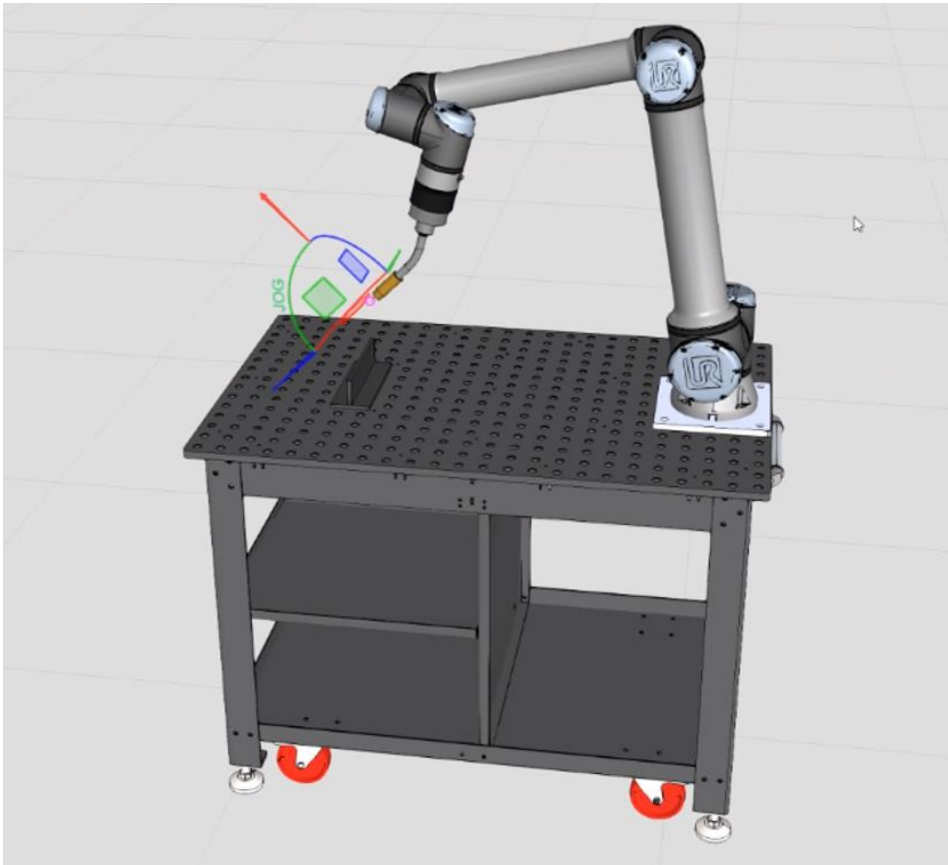
Päittäis- ja pienaliitokset onnistuvat cobotilla hyvin, kun kappaleet ovat rakenteeltaan sellaisia, joihin hitsauspoltin mahtuu ja hitsauskohdat ovat robottikäsivarren liikeratojen puolesta saavutettavissa. Cobotilla voidaan suorittaa myös pinnoitehitsauksia, joita tämänkin työn aikana kokeiltiin onnistuneesti. Myös monipalkohitsaukset onnistuvat kuonaa muodostamattomalla hitsauslisäaineella.

Teollisuusroboteille soveltuvat sekä pienet että suuremmatkin kappaleet. Periaatteessa koko ja painorajoitetta ei ole, koska teollisuusrobottiasema voidaan suunnitella ja rakentaa hitsattavien tuotteiden mukaan niin, että kappaleen hitsattavat kohdat ovat saavutettavissa esimerkiksi portaalilin tai lineaariliikkeiden avulla. Toki kappaleiden tulee olla sellaisia, että hitsattavat kohdat ovat robottikäsivarren saavutettavissa. Teollisuusrobotin ohjelmointi asettaa omat vaatimuksensa kappaleiden muodolle ja kappalemäärille robottisoinnin kannattavuuden näkökulmasta. Pienikin sarja voidaan saada kannattavaksi, jos ohjelmointi tehdään vain kerran ja sitä voidaan käyttää myöhemmin uuden sarjan valmistukseen. Myös kappaleiden kiinnitys ja paikoitus tulee huomioida, suunnitella ja valmistaa niin, että uuden sarjan aloittaminen on helppoa ja nopeaa eivätkä kappaleen vaihdon asetteluaikat ole pitkiä.

8 TESTIHITSAUKSET

Oulun ammattikorkeakoulun Cobotille valittiin SSAB:n hitsattavista varastotuotteista muutamia testihitsaukseen. Ammattikorkeakoululla on käytettävissä testihitsauksiin cobotti nimeltään UR (kuva 4). Cobottihitsaukseen valikoituivat neljä erityyppistä tuotetta, joiden soveltuvuutta cobottihitsaukseen testattiin:

- murskainpalkit, jotka pinnoitehitsataan kovahitsauslangalla
- suojakotelot ja -kannet, joiden sarjahitsauksen toistettavuutta testattiin
- ainevahvuudeltaan 40 mm vahvat tukilevyt, jotka hitsataan V-railoon monipalkkohitsausena.



KUVA 4. Delfoi-ohjelmalla tehty OAMK:n UR-robotin malli

8.1 Murskainpalkit

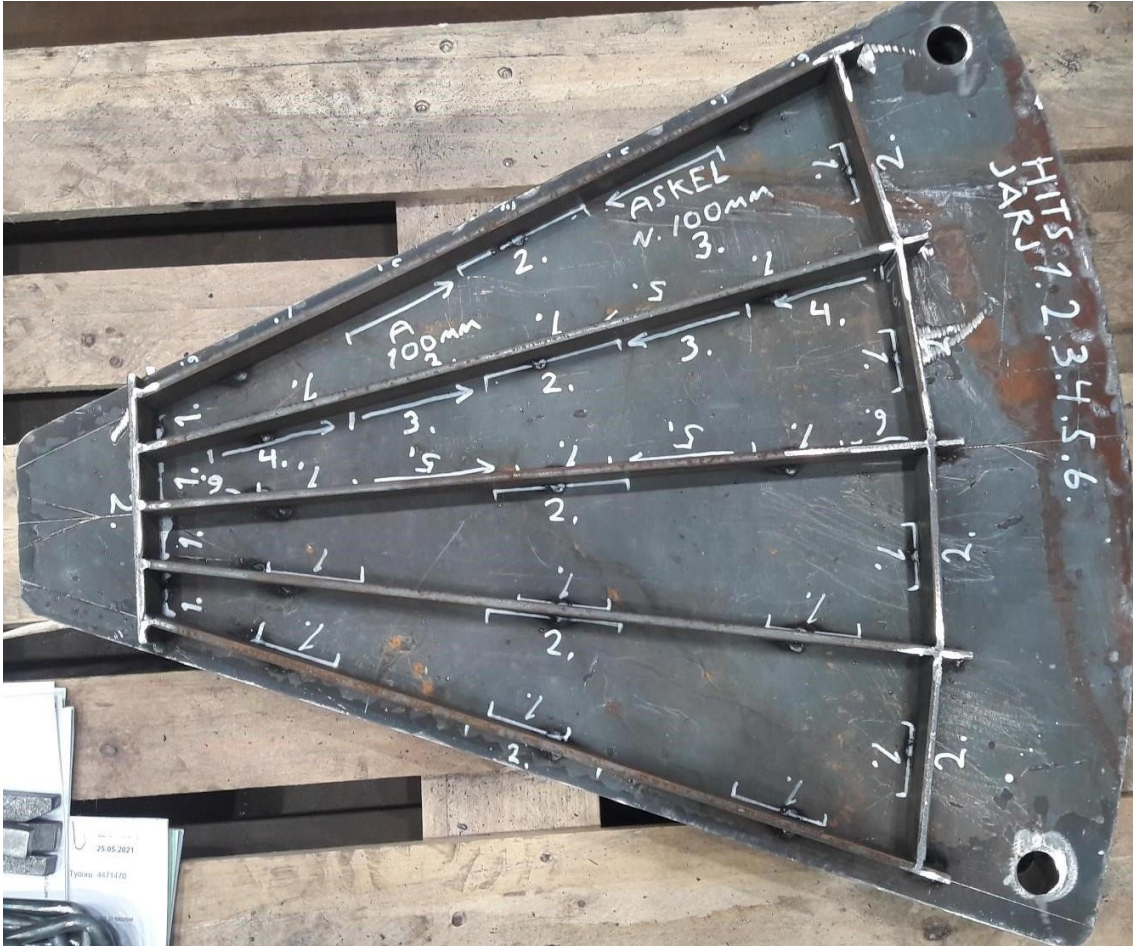
Murskainpalkit on valmistettu valamalla materiaalista S355 J2G3. Murskainpalkit pinnoitehitsataan kolmelta sivultaan esilämmitettyinä noin 300 - 350 °C:seen. Esilämmityksessä voidaan käyttää kaasu- tai induktiolämmitintä. Hitsauslisäaineina käytettiin Soudokay A45-O- ja Welding Alloys CNV-O -jauhetäytelankoja. Valmiin hitsausaineen vahvuus on 5 mm ja hitsauksen kovuus noin 63 - 65 HRC. Hitsattusauma kestää hyvin kovaa hankaavaa abrasiivista kulutusta ja jonkin verran iskuja, jopa 650 °C:n käyttölämpötilassa. Hitsattu sauma on työstettävissä ainoastaan hiomalla. (Liite 1.)

Testillä pyritään selvittämään kovahitsauslisäaineen soveltuvuutta automatisoituun hitsaukseen. Käytettävässä jauhetäytelangassa on hyvin hauras kuorimateriaali, joka katkeaa hyvin helposti taitutettaessa. Ennen testihitsauksia oli ennakkotieto, että lisäainelanka asettaa erityisvaatimuksia langansyöttölaitteistolle sekä syöttökaapelille haurauden ja katkeamisherkkyyden vuoksi. Lisäksi langansyöttörullissa tulisi olla mahdollisimman suuri halkaisija, pyälletty vetopinta ja niiden puristusvoima tulisi säätää niin, etteivät ne vaurioita langan pintaa. Langansyöttö ei saisi kuitenkaan häiriintyä liian pienen puristusvoiman vuoksi. Tämä ennakkotieto kumoutui täysin testien aikana eikä yllämainittuja muutoksia ole tarpeen testissä käytetylle robotille tehdä. Ainoastaan syöttökaapelin tulee olla mahdollisimman lyhyt ja sen mutkien tulisi pysyä mahdollisimman loivina hitsausprosessin aikana. Murskainpalkkien hitsaus toteutettiin UR:n valmistamalla cobotilla. ABB:n teollisuusrobotilla testejä ei voitu tehdä tämän työn kirjoittamisen aikana, mutta ne tehdään myöhemmin ja niistä saatu tieto hyödynnetään myöhemmässä vaiheessa.

8.2 Suojalevy

Suojalevyt on valmistettu 5 mm vahvasta levystä S355 J2G3 ja jäykisteet lattatangosta 5 x 50 S235 JR. Suojalevyjen hitsauksessa oli kolme asiaa, joihin kiinnitettiin testien aikana huomiota. Yhtenä asiana oli robotin ohjelmaa luodessa esisuunnitelman mukaisen hitsausjärjestyksen toteutuminen (kuva 5). Hitsien vuorottelulla pyrittiin hillitsemään suojalevyn muodonmuutoksia lämmöntuonnin kohdistamisessa aina pienelle alueelle kerrallaan. Muodonmuutostenhallinta oli toinen seurattava asia. Kolmantena kokeiltiin käsivaraisen mitoituksen riittävyttä suojalevyn jäykisteiden hitsauksessa. Tarkoituksena oli kokeilla käsintehtyyn työn toistotarkkuutta ja sitä, voidaanko suojalevyt

hitsata samalla ohjelmalla mittaheitoista huolimatta. Suojalevyjen hitsausta kokeiltiin cobotilla. Robotti sietää tällaisessa kohteessa jonkin verran mittaheittoja, mutta jatkossa tämän kaltaiset työt on parempi suunnitella niin, että osien kasaamisessa toistotarkkuus on parempi. (Liite 2.)



KUVA 5. Suojalevyn hitsausjärjestykset ja jäykistelevyt on silloitettu robottihitsausta varten.

8.3 Suojakotelo

Suojakotelossa on 5 mm vahva levylaippa ja mankeloitu lieriö sekä levylaipan keskellä oleva putkiholkki, jotka hitsataan toisiinsa. Materiaalina kaikissa osissa on S355 J2G3 –rakenneteräs. Suojakotelon osat liitetään toisiinsa hitsauslisäaineella OK Autrod 12.51. Langan halkaisija on $\varnothing 1$ mm. Valmis kappale ja sen hitsaus on periaatteessa hyvin selkeä, mutta suojakotelo valikoitui koehitsaukseen, että voidaan varmentaa, riittääkö mankeloitujen levyosien valmistustarkkuus cobotihitsaukseen. Levyt on mankeloitu tavanomaisella levymankelilla eikä automatisoidulla mankelilla, joten mankeloidut lieriöt ovat omia ”yksilöitä” ja muoto voi vaihdella jonkin verran. Tässä halutaan

varmentaa sarjatyönä ns. käsintehtyjen tuotteiden toistotarkkuus ja cobotin ohjelman toistettavuus erikappaleille. (Liite 3.)

Hitsauslisäaineena käytetään suojakotelon, suojalevyn sekä tuen hitsauksessa OK Autrod 12.51 kuparoitua, seostamatonta yleislankaa Ø1 mm. Lanka on tarkoitettu sellaisten rakennusteräksien ja hienoraeterästen MAG-hitsaukseen, joiden myötölujuusvaatimukset ovat korkeintaan 420 N/mm². Lanka käy mm. hienoraeteräksille, yleisille rakennusteräksille, paineastiateräksille sekä laivanrakennusteräksille. Lankaa on saatavissa robotisoituun sekä mekanisoituun hitsauksiin suurpakkauksina (Marathon Pac). (27.)

8.4 Tuki

Tuki on valmistettu kahdesta 40 mm vahvasta levystä polttoleikkaamalla ja hitsausviisteet on koneistettu toiseen levyistä. Materiaalit ovat rakenneterästä S355 J2G3. Levyt hitsataan toisiinsa hitsauslisäaineella OK Autrod 12.51. Hitsaus tehdään monipalkohitsauksena 12 mm syvään puoli V-railoon. Hitsauksessa voidaan kokeilla vaaputusta palkomäärien vähentämiseksi. Alkutiedon mukaan käytettävällä laitteella ei ole mahdollista ohjelmoida monipalkohitsausta, mikä mielestäni on harmillinen puute. Vaikka cobotin omaohjaus ei tukisi monipalkohitsausta, voidaan ohjelma tehdä Delfoin Robotics Premium 4.3 -ohjelmalla ja siirtää cobotin ohjaukseen. Monipalkohitsauksessa käytetään kuonaa muodostamatonta hitsauslisäainetta käsityön ja keskeytysten minimoimiseksi. Hitsauksen vuorottelua tulee käyttää, jotta hitsattava korvakko saadaan pysymään suorassa. Testihitsaukset suunniteltiin aluksi tehtävän cobotilla, mutta testien aikana muutettiin testihitsaukset teollisuusrobotille kappaleen koon ja monipalkohitsauksen sekä teollisuusrobotilla olevan pyörityspöydän vuoksi. Pyörityspöydällä voidaan kappaletta käänellä ohjelmoidusti haluttuun asentoon hitsauksen edetessä. (Liite 4.)

8.5 Kylmäaihionpää

Kylmäaihionpään ohjelmointi- ja hitsaustesteissä pyrittiin selvittämään ensinnäkin eri ohjelmointimahdollisuudet toteuttaa hitsauksia robotilla. Kylmäaihionpäiden hitsaus on ns. kunnostushitsausta, jossa kappaleesta esikoneistetaan käytössä vioittuneet kohdat pois ja täytehitsataan kappaleesta lähteneen materiaalin tilalle uutta materiaalia (kuva 6). Sen jälkeen kappale koneistetaan uudelleen piirustuksen mukaisiin mittoihin.



KUVA 6. Koneistamaton ja käytöstä tullut kylmäaihionpään kourumalli

Robotin ohjelmointia kokeiltiin lähestyä ensin skannaamalla esikoneistettu kappale ja skannatun tiedoston pohjalta kokeiltiin luoda ohjelma robotille (kuva 7). Toinen tutkittava tapa tehdä ohjelma robotille on hyödyntää työstöradan ohjelmoinnissa simuloitu työstömalli tallentamalla se STL-tiedostoksi, joka on hyödynnettävissä sitten robotin ohjelmoinnissa. Kolmantena vaihtoehtona on ns. makro-ohjelmat, jolloin jokaiselle esikoneistusohjelmalle tehdään vastaava hitsausohjelma, jolla lisätään materiaalia niin paljon, kuin sitä on esikoneistuksessa poistettu.



KUVA 7. Esikoneistettu kylmäaihionpää ns. lohenpyrstömalli

9 KORJAAMON ROBOTTIHITSAUKSEEN SOVELTUVAT TUOTTEET JA TESTITULOKSIA

Testihitsauksien pohjalta voidaan todeta, että testihitsatut kappaleet soveltuvat robottihitsaukseen. Vastaavanlaisia hitsattavia tuotteita ja kappaleita löytyy muitakin korjaamolla valmistettavista tuotteista. Hitsattavia tuotteita ja kappaleita löytyy niin cobotille kuin teollisuusrobotillekin soveltuvia. Testihitsauksiin valitut tuotteet soveltuvat molemmille laitteistoilla hitsattavaksi. Testissä käytetyissä laitteistoissa on kuitenkin eroja ja toinen tuote saattaa soveltuu paremmin teollisuusrobotille kuin cobotille. Seuraavissa luvuissa käsitellään testituloksia ja soveltuvuutta testissä käytetyille laitteille.

9.1 Kylmäaihionpäät

Kylmäaihionpäiden (jäljempänä päiden) hitsauksen voisi toteuttaa automatisoidulla teollisuusrobotilla osittain. Ainoa suuri kysymys kylmäaihionpäiden hitsauksen robotisoinnissa on sen ohjelmointi, joka ei mielestäni ole vielä niin nopeaa ja kehittyneitä, että se voitaisiin toteuttaa niin, että jokainen kunnostukseen tullut pää ohjelmoitaisiin erikseen. Hitsaukseen tulevat päät ovat nykyisellä tavalla kunnostettuna aina kukin omia yksilöitä ja esikoneistukset ovat erilaisia kouruosassa. Kylmäaihionpäiden sivulla olevat levikepalojen tilat voidaan esikoneistaa aina samalla ohjelmalla, jolloin niiden hitsauskin voitaisiin toteuttaa aina samalla ohjelmalla. Levikepalojen tilat kiinnitysreikineen voidaan hitsata robotilla kustannustehokkaasti ja toteuttaa niin, että niiden robotisointi on järkevää. Kourun ja lohenpyrstön jokaisen pään ohjelmointi vie niin paljon aikaa, ettei se ole sellaisenaan kustannustehokas ja järkevä nykyisellä tekniikalla toteuttaa ja robotisoida.

Ohjelmoinnin nopeutumiselle on tulevaisuudessa hyviä mahdollisuuksia, kunhan ohjelmointipuoli vielä kehittyy paremmin kunnostushitsauksiin soveltuvammaksi. Tässä työssä oli yhtenä tutkimuskohteena kunnostushitsauksissa robotin ohjelmointi skannatun tiedoston pohjalta. Kunnostushitsauksissa olisi iso etu, jos robotti skannaa kappaleen muodot ja vertaa niitä alkuperäisen kappaleen mallinnettuihin muotoihin ja sen pohjalta muodostettaisiin ohjelma robotille. Tässä olisi mielestäni kunnostushitsauksia silmällä pitäen hyvä kehityskohde robotti- ja ohjelmatoimittajille tulevaisuudessa.

Hitsausratojen ohjelmoinnissa on helppo tehdä ohjelmia, kun hitsattavissa kappaleissa on selkeät hitsausrailot tai pienahitsit, joiden mukaan ohjelmat ja liikeradat luodaan. Roboteissa on nykyisinkin jo käytössä rillon- ja kappaleentunnistusautomaatiikkaa, mutta ne ei sellaisenaan käy kylmäaihionpäiden hitsaukseen. Kylmäaihionpäiden hitsauksessa ohjelmanluonti kaarevien ja päästölisten pintojen hitsaukseen tuottaa haasteita ja ongelmia. Tässä on yksi merkittävä kehitettävä kohde robottien liikeratojen ohjelmointiin, jotta kylmäaihionpään kaltaisten kappaleiden kunnostushitsaukset voidaan toteuttaa robotilla taloudellisesti ja kannattavasti.

Ohjelmoinnille on olemassa myös vaihtoehtoja. Esimerkiksi SURFCAM-ohjelmassa simuloitu työstömalli voidaan tallentaa STL-tiedostoksi, jolloin sen muodot vastaavat koneistetun kappaleen muotoja. STL-malli voidaan sijoittaa sellaisenaan robotin simulointiohjelmaan, mutta sen muotojen hyödyntäminen hitsausratojen ohjelmoinnissa on haasteellinen. Tätä asiaa olisi hyvä tutkia vielä lisää yhdessä ohjelmatoimittajan kanssa. Tässä toimintatavassa on koneistusohjelman tekijän huomioitavat myös hitsauksen asettamat vaatimukset ja tunnettava molemmat tekniikat hyvin, jotta hitsaus on mahdollista toteuttaa. Näen tässä sellaisia riskitekijöitä, jotka eivät johda kustannustehokkaaseen ohjelmointiin ja itse työstötapahtumaan, vaan työstöön joudutaan tekemään liikeratoja hitsauksen vuoksi. Tätä toimintatapaa ei ole mielestäni järkevää edelleen kehittää tai käyttöönottaa kylmäaihionpäiden kunnostuksessa muutoin kuin vähän kuluneiden ja halkeilleiden päiden kunnostuksessa.

Kourujen ja lohenpyrstöjen kunnostusta voitaisiin muuttaa myös siten, että esikoneistukset ja hitsaukset toteutettaisiin makro-ohjelmilla hyväkuntoisempien kylmäaihionpäiden pintojen kunnostuksessa. Tietyille esikoneistusohjelmalle tehtäisiin vastaava hitsausohjelma, joka lisää materiaalia sen mukaan, kun sitä on esikoneistuksessa poistettu. Halkeamat, kolot ja lohenpyrstön kolmionmalliset ulokkeet koneistettaisiin erikseen ja niiden hitsaus toteutettaisiin vielä käsin. Halkeamien, kolojen ja ulokkeiden käsin hitsauksen jälkeen robotti hitsaisi täytehitsattavat pinnat ja levikepalojen tilat automatisoidusti. (Kuva 8.)



KUVA 8. Esikoneistetun kylmäaihionpään kolot tulisi hitsata käsin ja pinnat voitaisiin hitsata robotilla.

Nykyisellä toimintamallilla jatkettaessa kylmäaihionpäiden kunnostuksessa tulisi erittäin huonokuntoiset päät romuttaa herkemmin ja tilata uusi pää tilalle. On ollut esimerkkejä, että kunnostuskustannukset ovat ylittäneet uuden pään hankintahinnan. Tämä ongelma on korjaamon kylmäaihionpäiden kunnostukseen osallistuvien toimihenkilöiden tiedossa, mutta uuden pään hankinta riittävän nopeasti on ollut ongelmallista luotettavien ja kustannuksiltaan kohtuullisten valmistajien puuttessa. Nykyisellään on kuitenkin jo tiedossa hyviä toimittajia, ja tämä hankinta-, valmistus- ja toimitusketju tulisi hoitaa niin hyvin kuntoon, että uusi kylmäaihionpää saadaan kohtuullisessa ajassa toimitettua käyttöön romutetun kylmäaihionpään tilalle tai uusia kylmäaihionpäitä olisi varastossa romutettavien tilalle. Toimitusketjun ollessa kunnossa voidaan luopua niistä kustannuksiltaan kalliista kunnostustöistä ja kunnostaa vain ne päät, joiden kunnostus on taloudellisesti kannattavaa.

9.2 Valssin kytkimien ja konvertterin suurenkaiden kunnostus

Tehtävänannon jälkeen valssin kytkimet ja konvertterin suurenkaat on jätetty tästä työstä pois, koska niiden kunnostukseen on löydetty toisenlainen ratkaisu. Ne käsitellään lyhyesti tässä osiossa.

Valssinkytkimien hitsaus on päätetty lopettaa kokonaan siinä määrin, mitä se lähtötilanteessa oli. Jatkossa kytkimet korjataan koneistamalla ne seuraavaan suoritukseen ja laittamalla vahvemmat

kulutuslevyt valssin ja kytkimen väliin, joten tämän asian selvittäminen ei ole enää tässä työssä tarpeellista. Tämä muutos on tehty erillisenä työnä, eikä sitä ole tämän työn yhteydessä ratkaistu.

Tässä työssä löydettiin kaksi hyvää tapaa nopeuttaa konvertterin suurenkaiden hitsausta. Ensimmäinen ratkaisu on mekanisoitu MAG-hitsaus, joka otettiin korjaamalla käyttöön tämän työn edessä. Toinen tapa on jauhekaarihitsaus pyörityspöytää apuna käyttäen. Näiden ratkaisujen pohjalta voidaan todeta, ettei aina tarvitse olla tekemässä kalliita laiteinvestointeja kustannussäästön aikaansaamiseksi. Kuten suurenkaiden osaltakin käytössä on vain yksinkertainen akkutoiminen polttimen kuljetusvaunu, jonka kulkua ohjaa hitsattavan kappaleen ulkoreuna, kuten kuvassa 9. Vaunun ohjaus voidaan toteuttaa myös erillisellä ohjainkaarella.



KUVA 9. Konvertterin suurenkaan hitsaus mekanisoidusti

9.3 Murskainpalkit

Murskainpalkkien hitsaus onnistui hyvin UR:n cobotilla, ja murskainpalkit soveltuvat hyvin robottisoi-
tuun hitsaukseen. Käytetty hitsausmenetelmä ja -lisäaineet soveltuvat hyvin testeissä käytetyille
cobotille. Kokeneen käyttäjän on helppo ja nopea ohjelmoida murskainpalkkien hitsausprosessi.
Laitteiston liikeradat mahdollistavat useamman murskainpalkin hitsauksen yhdellä kertaa, mikä li-
sää hitsauksen tuottavuutta ja kustannustehokkuutta. (Kuva 10.)



KUVA 10. Murskainpalkin hitsauksen liikeratojen ohjelmointia

Murskainpalkkien hitsaus toteutettiin kahdella palkokerroksella ja manuaalisesti käännettävällä pyöröpöydällä. Nykyisin käytössä olevassa mekanisoidussa hitsauksessa on murskainpalkit hitsattu yhdellä vahvemmassa palkokerroksella, mikä parantaa kappalekohtaista läpimenoaikaa mekanisoidun hitsauksen eduksi, kun verrataan sitä cobotilla hitsaukseen. Vaatisi vielä lisätutkimuksia, päästäänkö cobotilla samaan lisääineen tuontimääriin, jotta hitsaus voitaisiin toteuttaa silläkin yhdellä palkokerroksella. Suorituskykyä siihen löytyy niin cobotista kuin käytetystä hitsauslaitteistostakin, mutta tarvitaan lisätietoa siitä, kestääkö cobotin käsivarsi ja käytetty hitsauspoltin esilämmitetyn kappaleen ja hitsausprosessin tuomaa lämpöä (kuva 11).

Laitteistoon integroidulla pyöröpöydällä voitaisiin nostaa automaation tasoa vielä lisää ja nopeuttaa hitsausprosessia, kun kaikki kolme hitsattavaa pintaa voitaisiin hitsata samalla kertaa. Kuonaa muodostavalla langalla hitsattaessa tulee kuonanpoisto varmistaa nurkkien hitsauspalkojen yhtymä kohdassa.

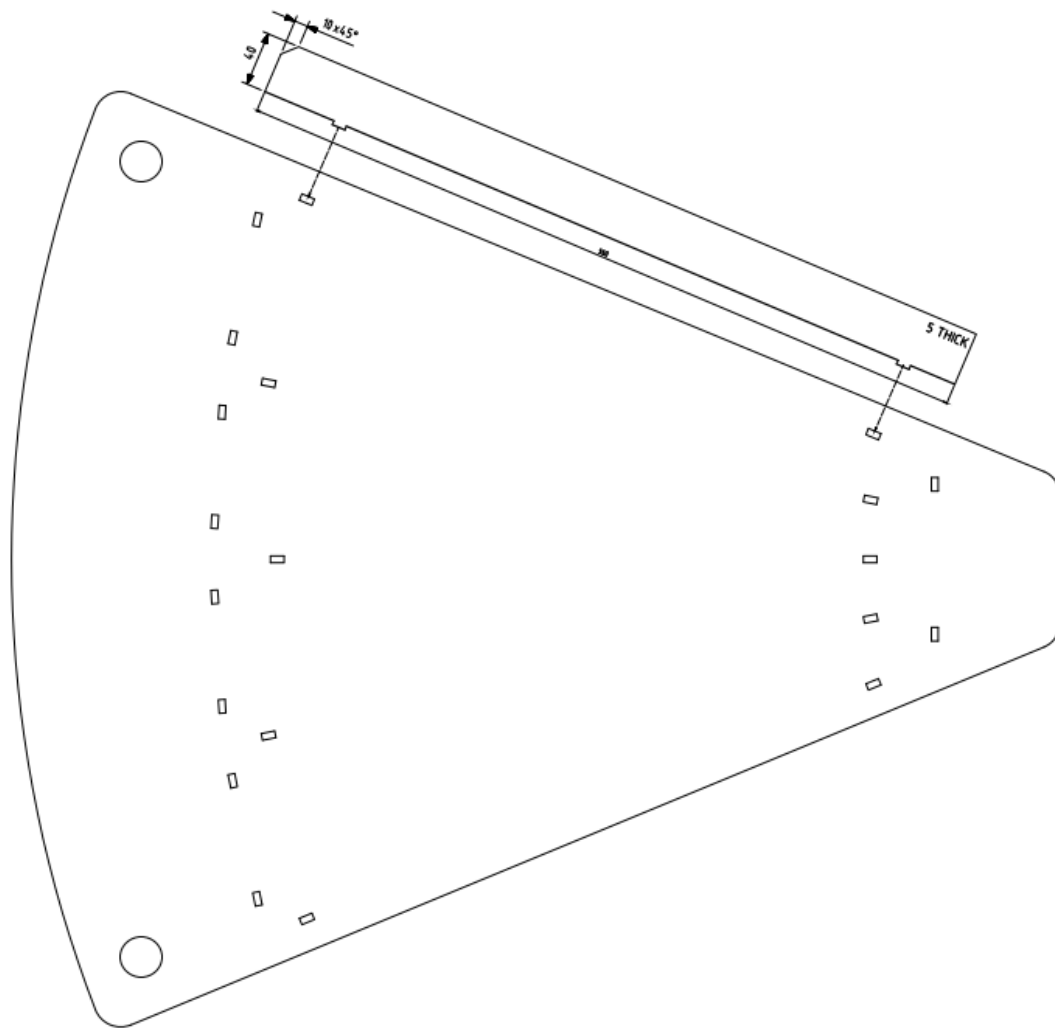


KUVA 11. Murskainpalkin hitsausta ja hitsauspoltin murskainpalkkien hitsauksen jälkeen

Murskainpalkkien hitsaus soveltuu myös teollisuusrobotille. Murskainpalkkien hitsaus on tarkoitus toteuttaa myös ABB:n teollisuusrobotilla tämän työn valmistumisen jälkeen. Teollisuusrobotin IP-luokitus on yleensä IP-65, kun cobotissa se voi olla IP-55, joka ei ole riittävä suojaus murskainpalkkien hitsauksessa eikä korjaamon olosuhteissa. Murskainpalkin hitsauksessa cobotin tilalle kannatta harkita vaihtoehtoisesti pientä teollisuusrobottia, joka kestää paremmin hitsausprosessia ja olosuhteita sekä hitsaus voidaan toteuttaa turvallisemmin suojatussa ympäristössä.

9.4 Suojalevy

Paremman toistotarkkuuden aikaan saamiseksi suojalevyt ja jäykistelevyt kannattaa jatkossa tehdä laserleikkaamalla siten, että jäykistelevyissä on kohdistusolakkeet ja kansilevyssä aukot olakkeille (kuva 12). Jäykistelevyt asetetaan suojalevyn reikiin ja hitsataan kiinni. Näin saadaan erilevyjen välille parempi toistotarkkuus ja voidaan useampi levy hitsata muokkaamatta robotin ohjelmaa kapaleiden vaihdon välissä. Esivalmistuksen kustannukset saadaan myös minimoitua, kun suojalevyjen kasaus on helpompaa. Suojalevyn hitsausta olisi mielenkiintoista kokeilla myös hitsaussovelluksessa, jossa erillinen palvelurobotti tuo hitsattavat jäykistelevyt kokoonpanoon ja paikoittaa ne suojalevyn oikeaan kohtaan. Samassa yhteydessä hitsausrobotti kiinnittää jäykistelevyt silloituksilla oikeisiin kohtiin ennen lopullista hitsausta.



KUVA 12. Suojalevyyn tehtävät muutokset paremman toistotarkkuuden saavuttamiseksi

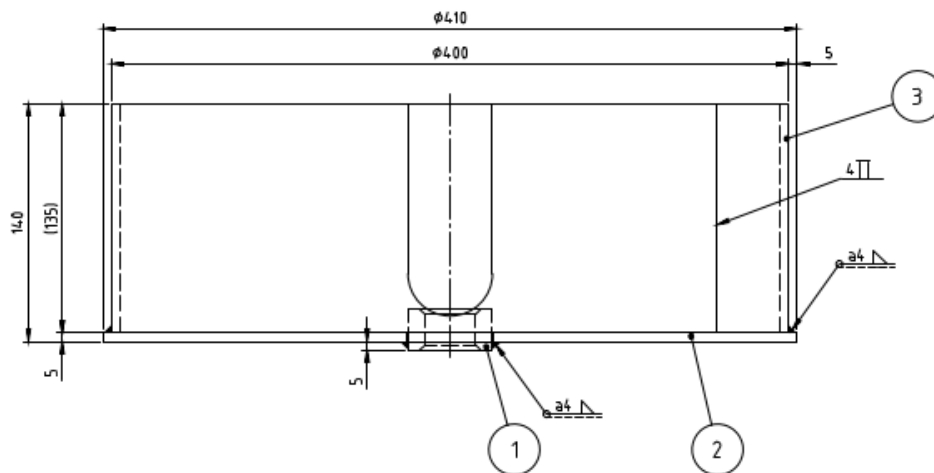
Robotti sietää tällaisessa kohteessa jonkin verran mittaheittoja, mutta jatkossa tämän kaltaiset työt on parempi suunnitella niin, että osien kasaamisessa toistotarkkuus on parempi kuin testissä käytetyillä kappaleilla. Suojakannen hitsauksen robotisoinnissa tulee jo suunnitteluvaiheessa huomioida myös muodonmuutosten ja jäännösjännitysten vaikutukset. Muodonmuutoksia ja jäännösjännityksiä voidaan hallita hitsauksen vuorottamisella ja lämmöntuonnin minimoinnilla käyttämällä soveltuvia pulssihitsausprosesseja. Hitsauskiinnittimien tulee olla suunniteltu siten, että ne sallivat kappaleen muodonmuutoksia ja antavat kappaleelle mahdollisuuden laajentua. Kuvassa 13 on yksinkertainen esimerkki helposti kasattavasta kokoonpanosta, jossa robotin vaatima toistotarkkuus toteutuu erinomaisesti.



KUVA 13. Oulun ammattikorkeakoulun käyttämä harjoituskappale

9.5 Suojakotelo

Ohjelmointi voitiin toteuttaa helposti näyttämällä cobotille kappaleen hitsattavista liitoskohdista neljä pistettä, joiden mukaan ohjelmoitiin cobotin liikkeitä. Suojakotelon hitsaus toteutettiin kolmella eri kiinnityksellä, jotta saumat voitiin hitsata jalkoasennossa. Mankeloidun lieriön päät hitsattiin ensin toisiinsa kiinni. Sen jälkeen hitsattiin mankeloitu lieriö kiinni laippaan ja lopuksi holkki laipan keskiöön. (Kuva 14.)



KUVA 14. Suojakotelon hitsattavat saumat

Jos testissä käytetyssä cobotissa olisi ollut ohjelmoitava pyöröpöytä, hitsaukset olisi voitu tehdä yhdellä kiinnityksellä. Tämän kaltaisten kappaleiden hitsaus on toteutettava yhdellä kiinnityksellä, että hitsauksen automatisointi on järkevää ja kustannustehokasta. Mankeloidun kappaleen muodot mahdollistivat hitsauksen samalla ohjelmalla. Mankeloidun lieriön hitsauksessa käytettiin PMC-

pulssihitsausprosessia, joka piti kappaleen hyvin muodossaan, eikä haittaavia muodon muutoksia päässyt syntymään.

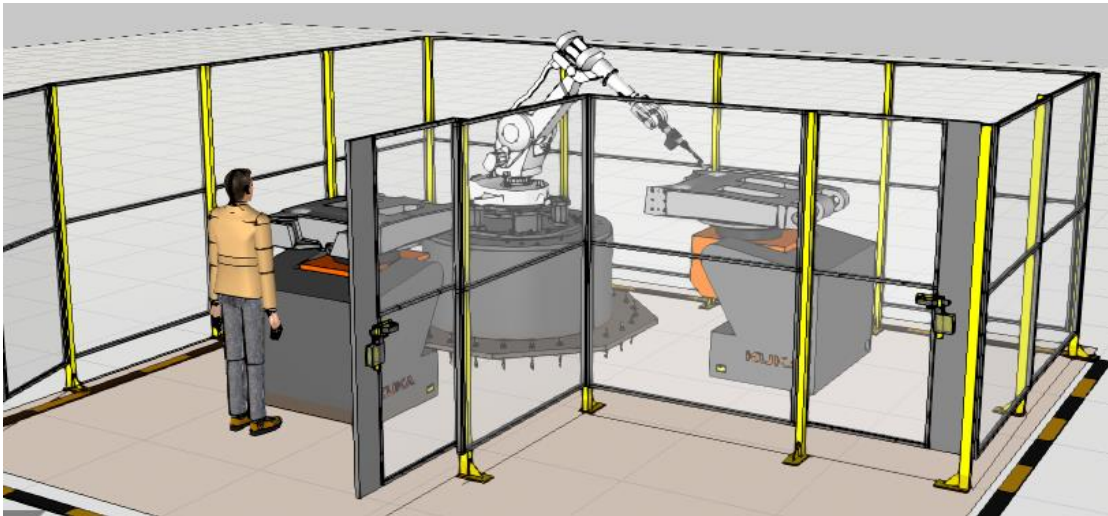
9.6 Tuki

Tuen hitsaus siirrettiin alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen cobotilta teollisuusrobotille kappaleen koon, monipalkohitsauksen ja pyörityspöydän käytön vuoksi. Tämäkin työ etenee tämän työn valmistumisen jälkeen, mutta edellytykset hitsauksen onnistumiselle ovat olemassa. Kappale on muodoiltaan ja hitsausrailotyypiltään sellainen, että se soveltuu robottihitsaukseen hyvin. (Liite 4.)

10 HITSAUSROBOTILLE ASETETUT VAATIMUKSET

Korjaamoympäristöön soveltuvia laitteistoja löytyy monelta toimittajalta, mm. ABB, Fronius, Kuka, Yaskawa ja Pemamek pystyvät toimittamaan soveltuvan laitteiston. Pelkästään kylmäaihionpään hitsaukseen soveltuvaa laitteistoa ei ole järkevää investoida, vaan robottisolulta vaaditaan mielestäni mahdollisuuksia muidenkin tuotteiden hitsaukseen pienellä kiinnitysratkaisujen muutoksella. Luvussa 5 käsiteltiin robottisolun valintaan vaikuttavia asioita.

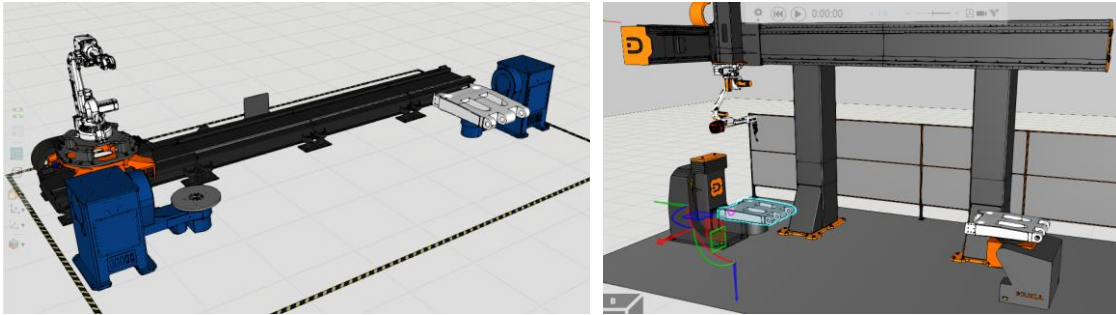
Kuvan 15 mukainen layout kylmäaihionpään hitsaussolusta on tehty Delfoin Robotics Premium 4.3 -ohjelmalla, jolla voidaan tarkastaa ennen robottisolun hankintaa robotin ulottuvuudet, tehdä törmäystarkastelut ja simuloida itse hitsausprosessi. Layout on periaatteellinen, eikä sitä voida sellaisenaan käyttää tarjouskyselyyn ja hankintaan. Solussa voidaan hitsata kylmäaihionpäiden lisäksi vastaavan kokoluokan muitakin kappaleita. Kuvassa 15 olevan pöydän kantavuus on 2,6 tonnia.



KUVA 15. Periaatteellinen layout kylmäaihionpään hitsaussolusta

Solussa robotin hitsatessa toista kylmäaihionpäästä, operoija voi saman aikaisesti valmistaa seuraavaa kappaletta robotin hitsattavaksi. Kun hitsaus tulee valmiiksi, robotti laitetaan hitsaamaan operoijan valmistelevaa kappaletta ja operoija siirtyy toiselle puolelle vaihtamaan kappaletta ja valmistelevaan seuraavaa kappaletta hitsaukseen.

Toisena vaihtoehtoisena ratkaisuna voidaan käyttää kuvan 16 mukaisia lineaarijohteilla olevia robotteja, jotka mahdollistavat kylmäaihionpään hitsauksen lisäksi pidempien kappaleiden hitsaukset. Molemmissa päissä on pyörityspöydät, joihin voi sijoittaa kylmäaihionpään. Pyörityspöytien väliin voi sijoittaa myös pitempiä kappaleita siten, että kappale on molemmissa pöydissä kiinni. Kuvassa 16 olevat laitteet ovat periaatteellisia, eikä niitä sellaisenaan tule käyttää tarjouskyselyihin eikä robottisolun hankintaan.



KUVA 16. Lineaarijohteilla olevat robotit mahdollistavat pitempien kappaleiden hitsauksen

10.1 Toimintaympäristö (käyttöympäristö)

Robotin käyttöympäristö tulisi olemaan normaali konepajaympäristö, jossa laitteiston tulisi kestää hitsausprosessissa ja kappaleiden esilämmityksessä syntyviä lämpötiloja sekä lämpötilan muutoksia. Hitsattavan kappaleen korkein esilämmityslämpötila tulisi olemaan noin 350 °C, joka laitteiston tulisi kestää koko hitsausprosessin ajan. Laitteiston tulee kestää myös ajoittaista ympäristön pölyisyyttä ja laitteiston päälle muodostuvaa pölykertymää sekä hitsausprosessista vapautuvia kaasuja.

Sähkölaitteiden tiiveyden määrittelyjärjestelmän mukainen IP-luokitus tulee olla vähintään IP65. Teollisuusrobotin IP-luokitus on yleensä IP-65, kun cobotissa se voi olla IP-55, mikä ei ole riittävä suojaus murskainpalkkien hitsauksessa eikä korjaamon olosuhteissa. IP-55 suojausluokitus ei ole tarkoitettu kohteisiin, jossa laitteiston päälle kertyy pölyä. Epäpuhtauksia korjaamon tiloissa kertyy hitsausprosessista ja ympäristöstäkin, joten IP-65 suojausluokka on vähimmäisvaatimus.

10.2 Tilantarve, hitsausmenetelmät ja -parametrit

Tilan tarve teollisuusrobotisolulle on noin 6 m x 6 m. Cobotille riittää pienempi tila, jos sitä ei aseteta lineaarijohteille. Robotin pyörityspöydälle tulee pystyä asettamaan noin 3000 kg painavia kappaleita, jotka ovat kooltaan noin 2 m x 2 m. Kummallakin robotilla ulottuvuus tulee olla noin 1,5 metriä yhteen suuntaan.

Käytettävät hitsausmenetelmät ja virtalähteet ovat MIG-/MAG-hitsaus ja niissä yleisimmin käytettävät hitsauslisäaineet. Hitsauspolttimessa tulee olla nestekiertoinen jäähdytys. Hitsausvirtalähteen hitsausparametrien, mm. hitsausvirran, vapaalangan pituuden ja suuttimen kosketusetäisyyden tulee olla hyödynnettävissä robotin ohjauksessa. Muita hitsausvirtalähteestä seurattavia parametreja ovat kaarijännite, langansyöttönopeus, hitsausnopeus, langan paksuus ja suojavaasu. Lisäksi voidaan seurata hitsausasentoa sekä hitsauspolttimen asentoa ja kohdistusta.

10.3 Ohjaus- ja päätelaitejärjestelmä

Ohjaus- ja päätelaitejärjestelmä tulisi olla hyvän toimivuuden takaamiseksi saman toimittajan, kuin on robottikin. Hankinnassa tulee pyrkiä kokonaistoimitukseen, jossa yhdeltä toimittajalta tulee kompakti ja integroitu kokonaisuus häiriöttömän toiminnan takaamiseksi. Myös hitsauslaitteiston tulee olla samalta toimittajalta ja integroituna laitekokonaisuuteen niin, että ohjaus pystyy hyödyntämään hitsauslaitteiston ominaisuudet täysin ja päinvastoin. Hitsauslaitteiston tulee pystyä myös ohjaamaan robottia hitsausparametrien muutosten avulla, kuten hitsausvirran ja vapaalangan pituuden seurannan avulla. Nykyaikainen robottihitsaukseen suunniteltu hitsauslaitteisto pystyy seuraamaan vapaalangan pituutta, kosketussuuttimen etäisyyttä sekä hitsausvirran muutoksia ja niiden tietojen kautta ohjaamaan myös robottia.

Robotin ohjelmointia tulisi pystyä toteuttamaan niin online- kuin offline-ohjelmointina. Offline-ohjelmiston valinnassa on huomioitava, että se tukee valittua robotti- ja kappaleenkäsittelyjärjestelmiä. Lisäksi valinnassa kannattaa huomioida, että lisälaitteiden hankinta ja uusiminen olisivat tulevaisuudessa mahdollisimman joustavaa. Ohjelmiston voi valita joko niin, että on yhden toimittajan varassa tai niin, että sama ohjelmisto käy useamman laitetoimittajan laitteistolle.

10.4 Robotille soveltuvat sarjakoot

Robotin ohjauksen ja ohjelmoinnin tulisi olla selkeää ja nopeaa, jotta korjaamon toiminnoissa toistuvat pienet ja keskisuuret sarjakoot olisivat taloudellista valmistaa automatisoidusti robotilla. Sarjakoot vaihtelevat viidestä kappaleesta muutamaan sataan, mutta samaa kappaletta voidaan tehdä vuositasolla useammankin kerran. Kappale voi olla hyvin soveltuva robottihitsaukseen, mutta kappalemäärät ja niiden valmistuskyklit voivat olla niin vähäiset, ettei sen vuoksi ole järkevää robotisoida.

11 RATKAISUVAIHTOEHTOJEN SOVELTUVUUS VALITTUJEN TUOTTEIDEN HITSAUKSEEN

Valittujen tuotteiden hitsaukseen löytyy markkinoilta useita toimittajia, jotka voivat rakentaa ja toimittaa korjaamon tarpeisiin soveltuvan laitteiston. Cobotin etuna on helppo ja joustava ohjelmointi, mutta olosuhteiden ja turvallisuusnäkökohtien tarkastelun jälkeen pieni teollisuusrobotti on hyvä vaihtoehto cobotille, vaikka ohjelmointi teollisuusrobotissa viekin enemmän aikaa. On suositeltavaa aloittaa hitsauksen automatisointi ensin pienemmällä laitteistolla kuin investoida heti suoraan isoon ja monen kokoisille kappaleille soveltuvaan laitteistoon. Tämä on suositeltavaa myös korjaamon hitsattavien tuotteiden näkökulmasta siksi, että korjaamalla ei valmisteta suuria sarjoja toistuvia tuotteita, kuten autoteollisuudessa tai uusia tuotteita valmistavissa yrityksissä tehdään. Korjaamalla erilaisia tuotteita on paljon ja sarjakoot ovat pieniä, minkä seurauksena laitteiston kustannustehokas käyttö saavutetaan pidemmällä aika välillä. Vie aikaa, että kaikki tuotteet saadaan ns. ajettua sisään laitteistolle. Tuotteiden suunnittelu tai muuttaminen robottihitsaukseen soveltuvaksi, kappaleiden kiinnityksen suunnittelu ja mahdollisesti kiinnittimien valmistus sekä hitsauksen ohjelmointi vievät ensimmäisellä kerralla enemmän aikaa. Nämä tiedot ja työnohjeistus on tallennettava niin, että seuraavalla kerralla työ on helppo viedä tuotantoon.

Kylmäaihionpäiden hitsaukseen robottihitsauslaitteisto ei mielestäni sovellu nykyisellä saatavissa olevalla ohjelmointitekniikalla. Robottihitsauslaitteistoa ei ole järkevä hankkia ensimmäisenä kylmäaihionpäiden hitsaukseen ohjelmointihaasteiden vuoksi. Suositeltavampaa on hankkia laitteisto pienten ja keskisuurten sarjojen hitsaukseen niin, että sillä voidaan hitsata uusia osia ja tehdä kunnostus- ja pinnoitushitsauksia muihin kuin kylmäaihionpäihin. Hitsauksen liikeratojen ohjelmointi ja simulointi ovat helpompia ja selkeämpiä muille testeissä käytetyille osille ja vastaavanlaisia osia löytyy muitakin korjaamon töistä. Kylmäaihionpäiden hitsausta kannattaa harkita uudestaan sitten, kun hitsausrobotin käytöstä ja ohjelmoinnista on saatu riittävästi käyttökokemusta paremmin robottihitsaukseen soveltuvista kappaleista.

Cobottilaitteiston hankintahinta on noin 40 000 – 60 000 €. Hinta sisältää käsivarren, ohjauksen ja hitsauslaitteiston. Vastaava pieni teollisuusrobotti maksaa noin 100 000 €. Teollisuusrobotin hinnat

nousevat koon kasvaessa ja lisälaitteita hankittaessa. Lisälaitteita ovat erilaiset pyörityspöydät, lineaarijohteet käsivarrelle yhden lisäakselin aikaansaamiseksi, railontunnistus- ja seurantalaitteet sekä lisäkäsivarret esim. kappaleen käsittelyyn tai kahdella polttimella hitsaukseen.

12 TULOKSET

Testihitsauksien pohjalta voidaan todeta, että markkinoilta löytyy korjaamon hitsaustuotantoon soveltuvia cobotti-hitsauslaitteistoja, joilla voidaan valmistaa korjaamon valmistuskierrossa olevia terästehtaan laitteistojen varaosia sekä muita tehtaan tarvitsemia hitsattuja osia ja rakenteita. Laitteistolla voidaan tehdä myös pinnoitushitsauksia kovahitsauslangoilla sekä kunnostushitsauksia. Cobotin ohjaukseen integroitu pyörityspöytä mahdollistaa vielä laajemman tuotemäärän ottamisen automatisoituun hitsaukseen.

Korjaamon hitsattavien tuotteiden pohjalta uskoisin cobotti-investoinnin olevan korjaamolle taloudellinen hankinta ja sillä päästävän kannattavaan hankinnan takaisinmaksuaikaan. Cobotin hankintaa puoltaa myös helppo ohjelmitavuus, josta on korjaamon valmistamille tuotteille suuri etu, koska osista ja tuotteista ei suurelta osin löydy 3D-malleja. Näin vältytään, vain robotin vuoksi tehtävältä lisätyöltä. Cobotin etuna on myös sen helppo liikuteltavuus paikasta toiseen. Se ei ole paikassidonnainen kuten teollisuusrobotti. Cobotti voidaan viedä hitsattavan kappaleen viereen.

Cobotin huonona puolena on operaattorin työskentely cobotin kanssa samalla alueella, mutta hitsaussolu voidaan toteuttaa myös niin, ettei operaattori ja cobotin käsivarsi kohtaa toisiaan tai kohtaavat vain osittain. Huolellisella riskienarvioinnilla ja turvallisuustarkastelulla laitetoimittajan kanssa ennen laitteen hankintaa voidaan päästä hyvään lopputulokseen operaattorin turvallisuudesta ja laitteiston käytettävyydestä tinkimättä. Robottikäsivarren törmäys operaattoriin on suojattu törmäystunnistimilla ja liikkeen pysäytyksellä. Hitsausrobotin käyttöturvallisuudessa on syytä huomioida hitsauspolttimen lämpö ja suojakaasut, hitsauslangan pistomahdollisuus langansyöttöhäiriöissä sekä langassa oleva sähkövirta ja -jännite.

Vaihtoehto cobotille on pieni teollisuusrobotti, joka suojatussa tilassa työskennellessään on cobotia turvallisempi vaihtoehto. Teollisuusrobotilla voidaan valmistaa samoja osia ja tuotteita, kuin cobotilla testattiin. Näiden testit jatkuvat vielä Oulun ammattikorkeakoulun teollisuusrobotilla. Teollisuusrobotti soveltuu niin uuden valmistukseen, pinnoitushitsaukseen kuin korjaushitsaukseenkin. Pieni teollisuusrobotti on hankintahinnaltaan noin puolet kalliimpi ja ohjelmointityöt vaativat enemmän suunnittelua ja valmistelua kuin cobotilla. Takaisinmaksuaika teollisuusrobotilla tulisi ole-

maan merkittävästi pidempi. Teollisuusrobotilla on kuitenkin mahdollista valmistaa ja hitsata suurempi valikoima erilaisia korjaamon työkierrossa olevia osia ja tuotteita, mm. ohjaukseen integroitavien lisälaitteiden kuten pyörityspöytien ja railontunnistusten avulla.

13 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tutkia ja kokeilla teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin soveltuvuutta korjaamalla valmistettaville pienille ja keskisuurille sarjatuotantomäärille sekä kunnostus- ja korjaushitsauksiin. Työssä perehdyttiin robotin ohjelmointiin korjaushitsattavissa tuotteissa, joissa kuluneen pinnan koneistuksen jälkeen hitsataan kappaleeseen uutta pintaa poistetun tilalle. Tutkittiin, voidaanko esikoneistuksessa käytettyjä työstörataohjelmia sekä kappaleesta skannaamalla saatuja tiedostoja käyttää robotin ohjelman muodostamisessa.

Korjaamon valmistamien erilaisten varaosien runsaus ja kappaleiden koko vaihtelevat paljon ja osat ovat keskenään melko erilaisia, mikä ei helpota robottilaitteiston valintaa. Helposti tulee ajateltua kappaleiden kiinnitykseen tarvittavien kiinnittimien määrää ja ohjelmointiin käytettyä aikaa, mitkä ovat syömässä robottilaitteiston kannattavuutta ja kustannustehokkuutta. Testihitsausien pohjata voidaan kuitenkin todeta, että nykyaikainen robottilaitteisto helppokäyttöisen ohjelmoinnin kanssa on tätä kynnyistä mataloittamassa.

Hitsaustuotannon automatisointia ja robotisointia ei aloiteta robotin hankinnalla, vaan se on laajalaisempi muutos koko tuotantoketjussa. Työ on aloitettava jo hitsattavien kappaleiden ja osien suunnittelusta, jossa huomioidaan kappaleiden ja kokoonpanojen valmistustekniikka niin, että ne soveltuvat automatisoituun robottihitsaukseen. Hitsattavista kappaleista tulisi olla tehtyinä 3D-mallit, jotka helpottavat hitsauksen suunnittelua ja ohjelmointia. Kolmiulotteiset mallit voidaan sijoittaa offline-ohjelmaan, suunnitella hitsaus ja simuloida hitsausprosessi törmäystarkasteluineen ennen varsinaista robotin liikeratojen testausta ja hitsausta. Kappaleiden kasaus on suunniteltava niin, että osat ovat eri kappaleissa samassa kohtaan riittävällä tarkkuudella ja kokoonpanojen toistotarkkuus on riittävän hyvä. Sarjatuotannossa eri kappaleiden hitsauskohdat tulee olla riittävällä tarkkuudella samassa kohtaan, jotta hitsaus onnistuu samalla ohjelmalla sitä välissä muokkaamatta. Roboteille on kehitetty lisälaitteita tunnistamaan hitsausrailon paikat (railontunnistus), ja tunnistamaan kappaleita (kappaleen tunnistus), mutta mielestäni nämä ominaisuudet eivät sovellu kaikkiin kohteisiin eivätkä ole edes tarpeen, jos kappaleiden esivalmistuksessa toistotarkkuus on riittävä.

Kokoonpanohitsauksissa ja eteenkin kunnossapitohitsauksissa tulee suunnitella koko prosessi onnistuneen lopputuloksen aikaan saamiseksi. Jo kappaleen esikoneistuksessa on huomioitava ja

tiedettävä, miten kappale tullaan hitsaamaan. Koneistajan on ymmärrettävä koneistuksien vaikutukset hitsaukseen ja hitsausprosessin onnistumiseen. Hitsaus on myös toteutettava niin, että hitsauksen jälkeiselle koneistukselle on riittävästi työvaraa, jotta vältetään ylimääräisiltä kappaleiden siirtelyiltä ja uudelleen hitsauksilta.

Ennen robotin tai robottisolun hankintaa on huolellisesti perehdyttävä omaan hitsaustuotantoon, hitsattaviin tuotteisiin ja niiden valmistuksen automatisointiin. Markkinoilla olevien robottien ominaisuuksissa, toiminnassa ja niihin liitettävissä lisälaitteissa on eroja, joten robottia hankittaessa on tarkoin perehdyttävä eri valmistajien laitteistojen soveltuvuuteen omaan tuotantoon ja omille tuotteille. Jotta robotiikkaa voidaan paremmin hyödyntää piensarjojen ja yksittäistenkin kappaleiden hitsauksessa, tulisi robotin ohjelmointiin, käytettävyyteen, laitteisiin ja toimintatapoihin kehittää uusia helppokäyttöisiä ratkaisuja vielä lisää.

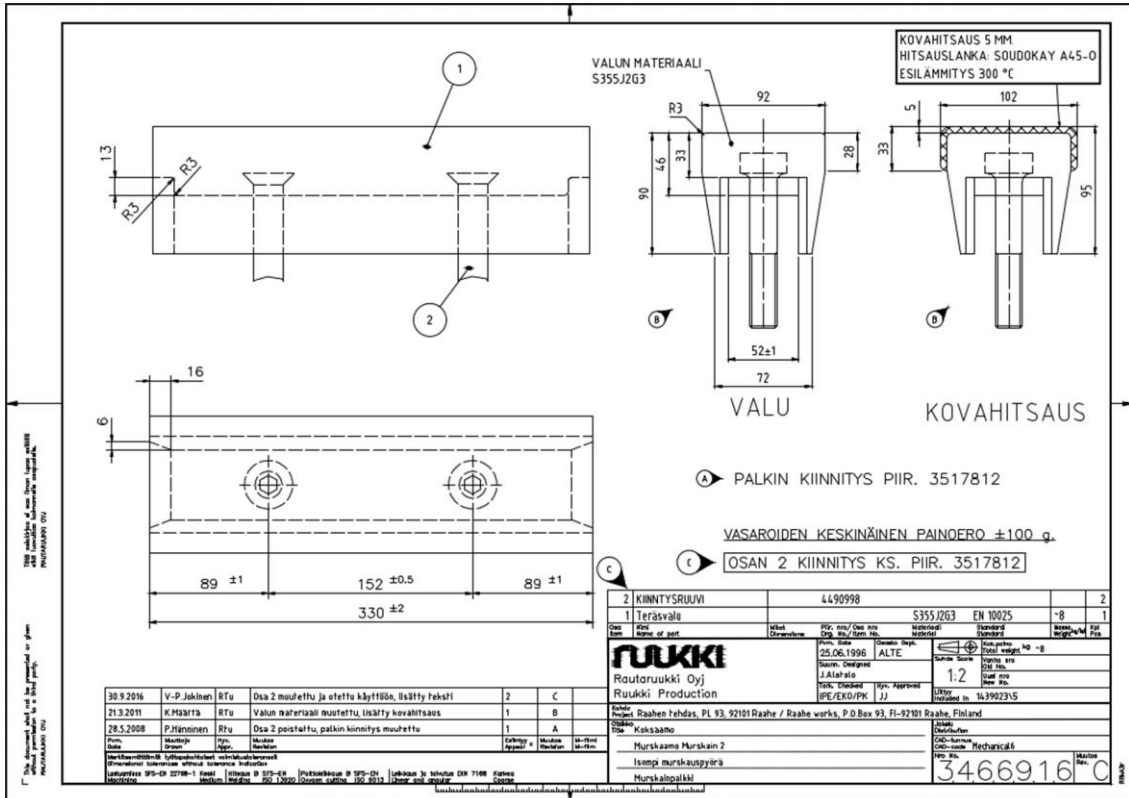
Tämä työ on ollut todella mielenkiintoinen matka hitsauksen automatisointiin ja robotisointiin. Työ on selkeyttänyt ja antanut lisätietoa robottisoidun hitsauksen mahdollisuuksista ja soveltuvuudesta konepajahitsauksiin. Näen hitsauksen robotisoinnille hyvät tulevaisuuden mahdollisuudet ottaa suomalaisessa konepajateollisuudessa laajemminkin käyttöön. Tutkimus- ja kehitystyö on painotunut lähivuosina vahvasti myös pienten sarjojen kustannustehokkaan hitsaustuotannon mahdollistamiseen, jossa ohjelmakehityksellä on näkemykseni mukaan suuri merkitys kannattavuuden saavuttamisessa.

LÄHTEET

1. SSAB 2021. Vahvempi, kevyempi ja kestävämpi maailma. Hakupäivä 18.2.2022. <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/ssab-lyhyesti>.
2. SSAB 2021. SSAB Europe. Hakupäivä 18.2.2022. <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/liiketoiminta/ssab-europe>.
3. SSAB/eWork 2020. Toimipaikat/Raahe/Raahen tehdas/Organisaatiot/Raahen tehtaan organisaatio marraskuu 2020. Hakupäivä 11.12.2020.
4. SFS-EN ISO 10218-1 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
5. IFR International Federation of Robotics 2021. Teollisuuden robotit, Määritelmä. Hakupäivä 18.11.2021. <https://ifr.org/industrial-robots>.
6. SFS-EN ISO 10218-2 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
7. Wikipedia 2021. Teollisuusrobotti, Robotiikka, Rakenteiden jaottelu. Hakupäivä 18.11.2021. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Teollisuusrobotti>.
8. Setälä, Ville 2021. Hitsaustekniikka 2/2021. Cobot = teollisuusrobotti. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry.
9. Autio, Toni 2020. Promaint 4/2020. Robotti tehostamaan tuotantoa. Vantaa: Omnipress oy.
10. OAMK. Mitä ovat cobotit? Selauspäivä 5.11.2021. <https://www.oamk.fi/fi/tutkimus-ja-kehitys/tki-ja-hanketoiminta/rokka/rokka-mita-ovat-cobotit>.
11. ABB 2021. ABB tuo markkinoille uuden sukupolven cobotteja laajentaakseen automaation käyttöä uusille aloille ja käyttäjille. Hakupäivä 5.11.2021. <https://new.abb.com/news/fi/detail/74784/abb-tuo-markkinoille-uuden-sukupolven-cobotteja-laajentaakseen-automaa-tion-kayttoa-uusille-aloille-ja-kayttajille>.
12. Yaskawa 2021. Arc Welding Process Equipment / Weld Packages for Motoman Robots. Hakupäivä 9.11.2021. https://www.yaskawa.fi/ratkaisut/sovellukset/sovellukset/arc-welding_a10876.
13. Kemppi 2021. Robottihitsaus, Robotisoidun hitsauksen käyttökohteet, laitteet ja suoritus-tekniikka. <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/robottihitsaus/>.
14. Meuronen, Ismo 2020. Hitsaustekniikka. Kilpailukyvyn varmistaminen vaatii tehokkaita hitsausprosesseja. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry.

15. Lappalainen, Ilkka 2021. Hitsaustekniikka. Moderni tuotantosolu. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry.
16. Nortio, Jukka 2020. Cobotti tehostaa tuotantoa. Hakupäivä 10.11.2021. <https://www.auto-maatiovayla.fi/cobotti-tehostaa-tuotantoa/>.
17. Pausus Jr., Benjamin 2021. Robotics Tomorrow. 4 Critical Considerations When Selecting a Robotic End-Effector System. Selauspäivä 10.11.2021. <https://www.roboticstomorrow.com/article/2021/10/4-critical-considerations-when-selecting-a-robotic-end-effector-system/17702>.
18. Owen-Hill, Alex 2021. The 5 Best G-Code Simulators for Machining and 3D Printing. Hakupäivä 16.11.2021. <https://robodk.com/blog/g-code-simulators-machining/>.
19. RoboDK 2021. Robottiohjelmointiohjelmisto pk-yrityksille. Hakupäivä 16.11.2021. <https://robodk.com/blog/robot-programming-software-sme/>.
20. RoboDK 2021. Offline Programming. Hakupäivä 8.12.2021. <https://robodk.com/simulation>.
21. ABB 2021. RobotStudio. Maailman eniten käytetty offline-ohjelmointityökalu robotiikkaan. Hakupäivä 17.12.2021. <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>.
22. RoboDK 2021. Off-line programming. Hakupäivä 8.12.2021. <https://robodk.com/blog/off-line-programming/>.
23. Delfoi 2021. Delfoi Robotics ohjelmistot. Hakupäivä 19.11.2021. <https://www.delfoi.com/fi/delfoi-robotics/delfoi-robotics-ohjelmistot/>.
24. Delfoi 2021. Delfoi ARC kaarihitsaus- ja laserhitsaussovellukset. Hakupäivä 19.11.2021. <https://www.delfoi.com/fi/delfoi-robotics/delfoi-arc/>.
25. Rahkolin, Vesa; Rauma, Jari; Kekkonen, Mira 2020. Optinen railonhaku ja -seuranta robotisoidussa hitsauksessa. Hakupäivä 17.12.2021. www.oamk.fi/epooki/2020/optinen-railonhaku-ja-seuranta-robotisoidussa-hitsauksessa/.
26. Skriko, Tuomas; Björk, Timo; Salminen, Antti; Hiltunen, Esa 2020. Hitsaustekniikka 2/2020. LUT-yliopiston DigRob-projektissa robotisoitu hitsaus kytketään osaksi koko tuotannon digitalisointia. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry.
27. ESAB. Seostamattomat teräkset. OK Autrod 12.51. Hakupäivä 16.11.2021. <https://www.esab.fi/fi/fi/products/filler-metals/mig-mag-wires-gmaw/mild-steel-wires/ok-autrod-12-51.cfm>.

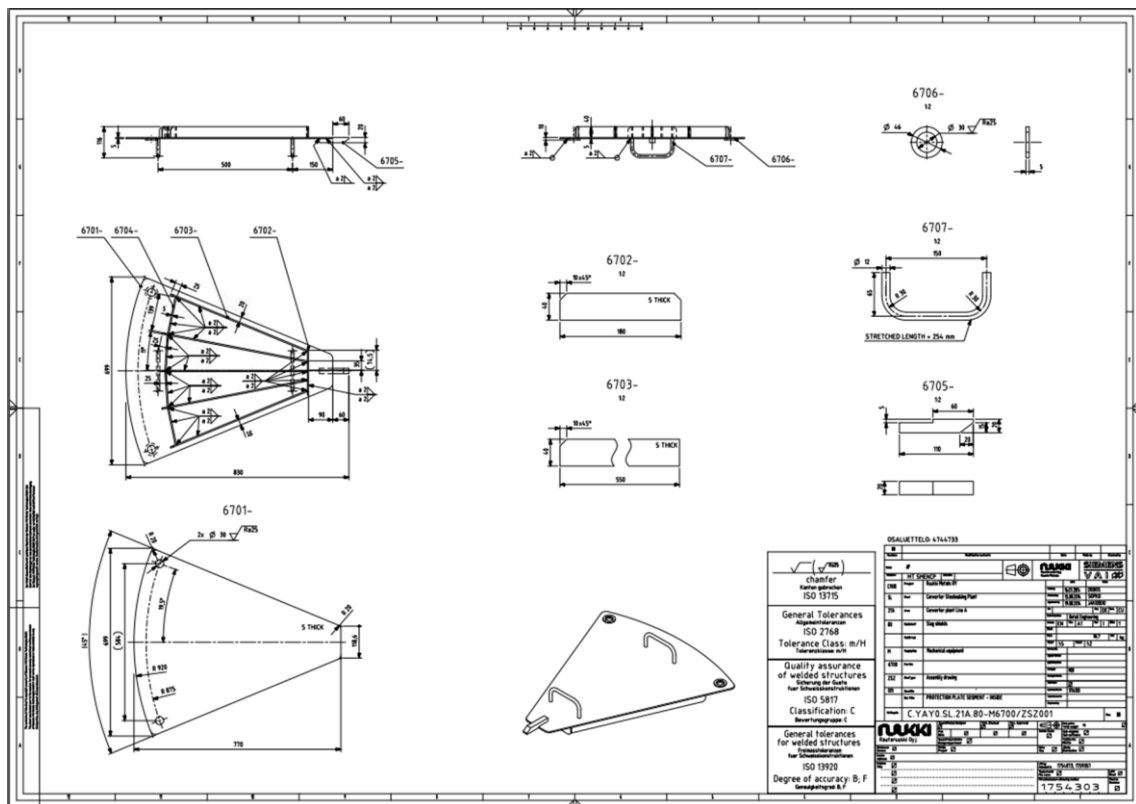
KOEHTISAUSRAPORTTI				Päiväys		
Tunnus	Nimi	Piirustus	KPL	Huomautus	Hitsauslisäaine 1.	Hitsauslisäaine 2.
MPS01	Murskainpalkki (suora)	3466916	2	Esilämmitys 350 °C	Soudokay A45-0, Ø1.6/Ø2	Welding Alloys CNV-O
Hitsausprosessi	Liitosmuoto	Peruaineryhmä	a-mitta (mm)	Perusaineen paksuus	Hitsiaineen paksuus (mm)	Hitsiasento (-asennot)
136	SW (päällehitsaus)	S355J2G3				5 PA
Korotettuyölämpötila	Suojakaasu	Aineensiirtymismuoto	Virtalaji	Yksi-/monipalkohitsaus	Lisäaineen koko (mm)	Lisäaineen kaupan nimi
350 °C	Argon		DC+ (136)			
Hitsausaika h/kpl	Hitsauksen jälkeinen lämpökäsittely					
	Hidas jäähditys peiteltynä					
Langan halkaisija Ø/mm	Virta (A)	Jännite (V)	Virtalaji	Langansyöttö (m/min)	Lämmöntuonti kJ/mm	Ajonopeus cm/min
1,6	350 (+/-5)	44 (+/-1)	DC+	13-13,5		
Esivalmistelu	Langan vahvuus on Ø1,6 mm, mutta on suositeltavaa käyttää väljempää suutinta Ø2 mm. Pyälletyt pyörät kevyellä puristuksella. Langan syöttö pistoolissa? Hitsauskaapeli tulee olla mahdollisimman lyhyt ja mahdollisimman suorana. Laitetaan levyn palat palkin päihin, jotta voidaan hitsata kovalla reunan yli. Tämä ei ole kuitenkaan välttämätöntä, hitsaus onnistuu ilman jatkepalojakin. Kts. Kuva.					
Asetukset						
Hitsaus	Hitsaus kannattaa tehdä yhdellä suoralla palolla päästä päähän ehyemmän sauman aikaan saamiseksi. Nurkat kannattaa hitsata kuparilevyä vasten. Hitsauksen kesto h/kpl.					
Hitsauksenlaatu	Halkeamia voi esiintyä muutaman sentin välein.					
Huomautukset	Hitsauslisäaineita on kaksi vaihtoehtoa.					
Esilämmityksen totetus	Induktio/kaasu					
Langansyötön sujuvuus						
Katkoo valoakaarta?						
Suoriutuuko robotti palkin hitsauksesta keskeytyksettä?						
Hitsisauman eheys, halkeamat						



KOEHTSAUSRAPORTTI SUOJALE01

LIITE 2

KOEHTSAUSRAPORTTI				Päiväys		
Tunnus	Nimi	Piirustus	KPL	Huomautus	Hitsauslisäaine	
SUOJALE01	Suojalevy	1754303	2		OK12.51 Ø1	
Hitsausprosessi	Litostuoto	Peruaineryhmä	a-mitta (mm)	Perusaineen paksuus	Hitsiaineen paksuus (mm)	Hitsiasento (-asennot)
136	PA/1F ja PB/2F	S355J2G3	2	5	2	PA/1F ja PB/2F
Korotettuyölämpötila	Suojakaasu	Aineensiirtymistuoto	Virtalaji	Yksi-/monipalkohitsaus	Lisäaineen koko (mm)	Lisäaineen kauppanimi
	Mison 25		DC+ (136)	Yksipalkohitsaus	Ø1	OK AUTROD 12.51
Hitsausaika h/kpl			Hitsauksen jälkeinen lämpökäsittely			
Langan halkaisija Ø/mm	Virta (A)	Jännite (V)	Virtalaji	Langansyöttö (m/min)	Lämmöntuonti kJ/mm	Ajonepeus cm/min
1	80-300	18-32	DC+	1,0-5,5		
Esivalmistelu	Suojalevyt on hitsattu heftiin korjaamalla ja merkattu hitsausjärjestys yhteen kappaleeseen. Hitsausjärjestyksestä ohje (valokuva).					
Asetukset	Kokeilemalla sopivat hitsausarvot					
Hitsaus	Hitsausjärjestyksen toteutus ja onnistuminen. Kappaleen irroitus "pöydästä" ennen jähtymistä tai jäähtymisen jälkeen muodon muutosten hillitsemiseksi. Ohjelman toistaminen ja hitsausaumojen kohdistuminen -> sattuko oikeaan kohtaan?					
Hitsauksenlaatu						
Huomautukset	Kappaleen kiinnitys ja muodonmuutosten hallinta. Hitsausjärjestyksen toteutus ja onnistuminen.					



KOEHITSAUSRAPORTTI				Päiväys		
Tunnus	Nimi	Piirustus	KPL	Huomautus	Hitsauslisäaine	
TUKI01	Tuki	3843668	3		OK12.51 Ø1	
Hitsausprosessi	Liitosmuoto	Peruaineryhmä	a-mitta (mm)	Perusaineen paksuus	Hitsiaineen paksuus (mm)	Hitsiasento (-asennot)
136	PA/1G ja PA/1F	S355J2G3	12	20/40	12	PA/1G ja PA/1F
Korotettuyölämpötila	Suojakaasu	Aineensiirtymismuoto	Virtalaji	Yksi-/monipalkohitsaus	Lisäaineen koko (mm)	Lisäaineen kauppanimi
	Mison 25		DC+ (136)	Monipalkohitsaus	Ø1	OK AUTROD 12.51
Hitsausaika h/kpl	Hitsauksen jälkeinen lämpökäsittely					
Langan halkaisija Ø/mm	Virta (A)	Jännite (V)	Virtalaji	Langansyöttö (m/min)	Lämmöntuonti kJ/mm	Ajonopeus cm/min
1	80-300	18-32	DC+	1-5,5		
Esivalmistelu	Osat on heftattu toisiinsa korjaamalla.					
Asetukset						
Hitsaus	Hitsauksen vuorottelu, jotta korvakko pysy suorassa. Umpilanka vai täytelanka -> monipalkohitsaus ja kuonan muodostus. Kuonaa muodostamaton hitsauslisäaine.					
Hitsauksenlaatu						
Huomautukset						

