

Ville Setälä

HITSAUSROBOTIN KÄYTTÖÖNOTTO SEKÄ
HITSAUSKIINNITTIMEN SUUNNITTELU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2013

HITSAUSROBOTIN KÄYTTÖÖNOTTO SEKÄ HITSAUSKIINNITTIMEN SUUNNITTELU

Setälä, Ville

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Huhtikuu 2013

Ohjaaja: Salonen, Markku

Sivumäärä: 42

Liitteitä: 0

Asiasanat: hitsauskiinnitin, hitsausjigi, hitsausrobotti

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella hitsauskiinnitin hitsattavalle kappaleelle sekä käyttöönottaa hitsausrobotti Bestron Oy nimiselle yritykselle. Tavoitteena oli parantaa hitsattavan tuotteen laatua ja lyhentää hitsausaikaa.

Lähtökohtana oli suunnitella hitsauskiinnitin, jonka jälkeen huoltaa robotti testikäyttöä varten. Testikäytön yhteydessä järjestettiin nopea käyttökoulutus, jonka aikana robotin vikoja tuli esille.

Robotti huollettiin ja viat korjattiin.

Robotin huollon jälkeen ohjelmoitiin yrityksen omalle kotagrillituotteelle hitsausohjelma.

Robotin käyttöönotolla pudotettiin kotagrillin hitsausaikaa merkittävästi sekä tuotantokapasiteettia nostettiin.

INTRODUCTION OF WELDING ROBOT AND DESIGN OF WELDING FIXTURE

Setälä, Ville
Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
April 2013
Supervisor: Salonen, Markku
Number of pages: 42
Appendices: 0

Keywords: welding fixture, welding jig, welding robot

The purpose of this thesis was to design a welding fixture for a sheet metal part and the introduction of a welding robot. The goal was to improve the quality of the part and reduce the welding time.

The starting point was to design the welding fixture and after that maintain the welding robot for a test use. Within the test use there was arranged user training. There were also found several faults.

The robot was serviced and the faults were repaired.

After the maintenance the programming was started for company's own grill product.

Welding time of the grill was reduced and the production capacity was increased.

.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	BESTRON OY	7
3	HITSAUSKIINNITIN	8
3.1	Hitsauskiinnittimen määritelmä	8
3.2	Hitsauskiinnittimen suunnittelu	9
3.2.1	Osien paikoittaminen.....	10
3.2.2	Hitsattavat osat toistensa paikoitustukina.....	10
3.2.3	Kiinnittäminen.....	11
3.2.4	Kiinnittimien mitoitus ja muotoilu	12
3.2.5	Kappaleen maadoitus.....	13
3.2.6	Lämpöjännitysten sekä vetelyjen huomioon ottaminen	13
4	HITSAUSROBOTTI.....	14
4.1	MIG/MAG-hitsaus	14
4.2	Teollisuusrobotin määritelmä	15
4.3	Nivelvarsirobotti	16
4.4	Koordinaatistot.....	16
4.4.1	Maailmankoordinaatisto	16
4.4.2	Peruskoordinaatisto	17
4.4.3	Työkalukoordinaatisto	17
4.5	Hitsausrobotin ohjelmoiminen.....	18
4.5.1	Liikekomennot.....	18
4.5.2	Johdattamalla ohjelmointi	19
4.5.3	Opettamalla ohjelmointi	19
4.5.4	Off-Line ohjelmointi	20
4.5.5	Ohjelmointiesimerkki	21
5	TYÖN VAATIMUKSET JA TAVOITTEET	23
5.1	Vaatimukset	23
5.2	Tavoitteet	23
6	LAITTEISTO	25
6.1	Hitsausasema.....	25
6.2	Hitsausrobotti.....	26
6.2.1	Virtalähde	27
6.2.2	Kääntöpöytä	27
7	TYÖN ETENEMINEN	28
7.1	Yleiset valmistelut	28
7.2	Hitsauskiinnittimen suunnittelu	31

7.2.1 Ideointi	31
7.2.2 Mallintaminen	32
7.2.3 Rakentaminen	35
7.3 Hitsausrobotin ohjelmoiminen.....	36
7.3.1 Pisteiden ja hitsauskäskyjen opettaminen	37
7.3.2 Testaus ja ohjelman muokkaaminen	37
7.3.3 Täysautomaattinen ajo suuremmissa erissä.....	37
7.4 Ongelmat.....	38
8 KUSTANNUSLASKELMA	39
9 TAVOITTEIDEN TÄYTTYMINEN.....	39
9.1 Hitsausaikojen vertailu.....	39
9.2 Laatu	40
10 LOPPUTULOKSET JA PÄÄTELMÄT	41
10.1 Tavoitteiden täytyminen	41
10.2 Loppusanat.....	41
LÄHTEET	42
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Vuonna 2010 yritys hankki ensimmäisen hitsausrobotin kotagrillien hitsauksen laadun parantamisen sekä hitsausnopeuden vuoksi. Kyseisestä robotista saadut kokemukset olivat hyviä ja yritys päätti ostaa Panasonicin TA-1800 hitsausrobotin etenkin suuritöisille ohutlevyhitsaustöille, sekä muille suuren menekin alihankintatöille. Robotti asennettiin työpisteelleen kesällä 2011, ja on siitä lähtien ollut käyttämättömänä. Nyt opinnäytetyön pääpainona on laittaa robotti hitsauskuntoon vuoden 2013 aikana ja laittaa yksi tuote tuotantovalmiiksi.

Opinnäytetyö tehdään, koska yritys haluaa panostaa tulevaisuudessa enemmän robotiikkaan sekä automaatioon. Toisena syynä voidaan pitää, ettei yrityksessä ole tällä hetkellä ihmistä, joka pystyisi ajan puitteissa perehtymään asiaan yhtä syvästi kuin opinnäytetyöntekijä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on käyttöönottaa yritykselle hitsausrobotti, suunnitella hitsauskiinnitin hitsattavalle kappaleelle, sekä ohjelmoida robotti tuotantoa varten. Osien rakentaminen ja muut käytännön työt kuuluvat myös oleellisena osana työhön.

Hitsauskiinnitin suunnitellaan CPS – Color:n maalinsävytyskoneen rungolle, joka on käsin hitsattuna ja ilman hitsauskiinnitintä merkittävän aikaa vievä monien yksittäisten osien ja lyhyiden hitsaussaumojen vuoksi. Runkoja tehdään vuodessa yli 500 kappaletta, mikä tukee robotisoinnin aloittamista.

Työn edetessä tehtävänanto muuttui siten, että hitsausohjelmaa ei tehty maalinsävytyskoneen rungolle vaan Bestron Oy:n omalle kotagrillille. Maalinsävytyskoneen rungon hitsauskiinnitin kuitenkin suunniteltiin ja valmistettiin tulevaisuutta varten.

Opinnäytetyössä käydään maalinsävytyskoneen suunnitteluprosessi kokonaan lävitse. Hitsausrobotin ohjelmointiosuudessa käsitellään grillin hitsausohjelman ohjelmointia.

Haluan kiittää Bestron Oy:n toimitusjohtajaa Petri Ahjolahtea sekä tuotantopäällikköä Pertti Ahjolahtea mahdollisuudesta tehdä tämä opinnäytetyö.

2 BESTRON OY

Bestron Oy on perustettu vuonna 1992 Ulvilan. Yritystoiminta lähti alussa liikkeelle teräsosien mustamisella autotallissa. Myöhemmin mukaan tuli alihankintakokoonpanoa kahden miehen voimin.

Ensimmäinen suurempi investointi tehtiin hankkimalla työkalujyrsinkone ja manuaalisorvi.

Bestron Oy on erityinen alihankintafirma siinä mielessä, että se kykenee valmistamaan laajalti eri metallialan töitä alusta loppuun, eikä ole keskittynyt ainoastaan yhteen metallialan osa-alueeseen. Erityisosaamiseen kuuluu ohutlevytyöt kahdella laserleikkauskoneella, kahdella levytyökeskuksella sekä levyjen särmäys kolmella CNC -särmäyskoneella. CNC -sorvaus ja –jyrsintä tapahtuu kolmella koneistuskeskuksella. Hitsattuja teräsrakenteita varten yrityksessä työskentelee yksi hitsaaja vakituisesti. Hitsausmenetelminä käytetään pääasiassa MIG/MAG- ja TIG - menetelmiä. Nykyään hitsausta on saatu joustavammaksi käyttämällä pienyrittäjiä alihankintahitsaukseen.

Pienimuotoisena palveluna on myös 3D- mekaniikkasuunnittelu asiakkaiden toiveiden mukaan. Suunnitteluprojekteja on toteutettu esimerkiksi Satmatic Oy:lle kahden viime vuoden aikana. Suunnitteluprojektit ovat yleensä olleet teräsrakenteita ja apuvälineitä tuotannon helpottamiseksi. 3D- suunnittelu on lähes kokonaan syrjäyttänyt 2D- suunnittelun paitsi ohutlevyjen leikkauskuvien siistimisessä.

Robottihitsausta on tähän mennessä tehty ainoastaan omille tuotteille, mutta nyt vuonna 2012 aloitetaan alihankintahitsaus tämän opinnäytetyön seurauksena. Vuoden 2013 aikana on tarkoitus laajentaa yritystä ohutlevytöiden saralla tekemällä laajennus ja käyttöönottaa Finnpower:n automaattinen levytyöstökeskus, joka mahdol-

listaa tehokkaan miehittämättömän tuotannon. Tarkoituksena on saada lisää pitkiä sarjatöitä ainevahvuuksille 0,75 – 1,5 mm.

Alihankinnan lisäksi valmistetaan omana tuotteena kotagrilliiä, joka on osoittautunut merkittäväksi tuotteeksi. Grilli valmistetaan kokonaan itse lukuun ottamatta vakio-osia kuten ruuveja sekä ritilöitä. Grillin hitsaus suoritetaan osittain robotisoidusti. Tämän opinnäytetyön jälkeen on tarkoitus siirtää grillin hitsaus kokonaan uudelle robotille. Tavoitteena on tehostaa grillin hitsausta niin, että käsinhitsausta ei tarvita enää ollenkaan.

Vuonna 2013 Bestron Oy työllistää 12 vakituista henkilöä sekä muutamia määräaikaisia työntekijöitä.

3 HITSAUSKIINNITIN

3.1 Hitsauskiinnittimen määritelmä

Hitsauskiinnitin on robottihitsauksessa yksi oleellinen hitsauslaitteiston osa. Käsinihitsauksessakin hitsauskiinnittimiä käytetään sarjavalmistuksessa hitsaustyön rationalisoimiseksi sekä lopputuotteiden mitta- ja muototarkkuuden parantamiseksi. Käsinhitsauksessa käytettävät hitsauskiinnittimet ovat usein kuitenkin pieniä apulaitteita, joita käytetään hetkellisesti esimerkiksi tietyn osan silloitushitsauksen ajan. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 3).

Robottihitsauksessa hitsauskiinnittimen tehtävänä on pitää kaikki hitsattavat osat oikeassa asemassa toisiinsa nähden koko hitsauksen ajan. Tällöin hitsauskiinnitin muodostaa kiinteän kokonaisuuden, joka on suunniteltava ja valmistettava huolella, jotta se toimisi odotetulla tavalla. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 3).

Hitsaukseen käytettävät jigat ja kiinnittimet voidaan yleisesti jaotella kolmeen päätyyppiin: kiinnittämiseen, hitsaamiseen ja pidättämiseen. (Jig and Fixture Design 2004, 257).

Termit jigi ja kiinnitin, puhuttaessa hitsauksesta, eivät tarkoita samaa asiaa kuin koneistuksessa. Hitsauksessa jigi on yleensä kiinteä työkalu, kun taas kiinnitin pyörittää horisontaalisen tai vertikaalin akselinsa ympäri. (Jig and Fixture Design 2004, 257).

Käsin hitsauksessa hitsauskiinnittimiä käyttämällä säästetään aikaa, koska hitsaajan ei tarvitse asemoida ja mitata hitsattavia osien asemia. Hitsauskiinnittimen käyttöönotto edellyttää lähes aina hitsattavia sarjatuotteita, koska kiinnittimen suunnittelu ja valmistaminen maksavat.

3.2 Hitsauskiinnittimen suunnittelu

Hitsausjigit ja -kiinnittimet suunnitellaan rakennettavaksi kaarihitsatuista standardimuotoisista osista. Käyttämällä standardilevyjä, -kulmarautoja, -profiileja, -putkia tai muita osia säästetään kustannuksissa ja mahdollistetaan suurempi joustavuus suunnittelussa. Muutokset hitsattuihin rakenteisiin on mahdollista tehdä helposti ja nopeasti. Koneistettujen elementtien käyttö tulisi pitää minimissä, koska nämä lisäävät suuresti kiinnittimen hintaa. (Jig and Fixture Design 2004, 257).

Hitsauskiinnitin kannattaa suunnitella mahdollisimman tarkasti ottaen huomioon seuraavat hyvin suunnitellun hitsauskiinnittimen tunnusmerkit:

- kappale sijaitsee kaikilta hitsattavilta osiltaan robotin ulottuvissa
- robotti kykenee hitsaamaan kaikki hitsit
- hitsauksen paluuvirran reitti on varma ja harkittu
- robotin ei tarvitse kiinnittimen vuoksi tehdä turhia liikkeitä
- hitsausasennot edulliset
- hitsattavat osat voidaan ladata ja valmis kappale poistaa esteettä

(Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 12).

3.2.1 Osien paikoittaminen

”Hyvä hitsauskiinnitin paikoittaa täsmällisesti ja osia ei voi asentaa väärin.” (Tervola 2002, 32 - 33). Toisin sanoen hitsattavat osat kiinnittyvät hitsauskiinnittimeen yksiselitteisellä tavalla, jolla vältetään virheelliset kiinnitykset ja hitsauspolttimen törmäykset hitsattavaan kappaleeseen. Kiinnittimessä tulisi hyväksikäyttää erilaisia ja – kokoisia pyörähdyssymmetrisiä tappeja, jotka toimivat paikoittajina sekä oikein sijoitettuina (epäsymmetrisesti) estävät kasaamisen väärin. ”Ohjaustappien välitys rei’issä voi hitsauskiinnittimessä olla varsin suuri, luokkaa 0,2-0,5 mm, jolloin osan asetus ja kappaleen poistaminen on helppoa.” (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 14).

Suurikokoisten tai ohuiden levyjen paikoituksessa voidaan levyn taipumisen vuoksi joutua käyttämään kolmea useampaa tukipistettä yhdessä tasossa tai korvaamaan ne kapeilla tasomaisilla tukipinnoilla. Tasomaisia tukipintoja joudutaan käyttämään myös esimerkiksi päittäisliitoksen juuritukena. Suurten tasopintojen käyttämistä tukipintoina tulee kuitenkin välttää, koska niihin muodostuu helposti roiskeita, ja esimerkiksi hitsauksen paluuvirran kulkureitti muodostuu niissä epämääräiseksi. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 12).

”Ohutlevyjen paikoituksessa voidaan käyttää tukipintoina magneetteja, jotka samalla muodostavat tarvittavan kiinnitysvoiman. Tällä tavalla levykappale saadaan kiinnitetyksi takaapäin ja levyn etupuoli jää vapaaksi esteistä.” (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 12).

Paikoituksessa on mahdollista ja suotavaa käyttää standardikiinnittimiä, jotka ovat suhteellisen halpoja, helppoja asentaa ja käyttää sekä kestäviä. Hitsausta varten on myös suunniteltu omia kiinnittimiä, jotka eivät ole vika-alttiita hitsausroiskeille tai kuumuudelle.

3.2.2 Hitsattavat osat toistensa paikoitustukina

Hitsauskiinnitintä voidaan usein yksinkertaistaa käyttämällä hitsattavia osia toistensa paikoitustukina. Edellytyksenä on, että osilla on jokin sellainen muoto, jonka avulla

niiden keskeinen asema voidaan määrätä riittävän tarkasti. Ellei osissa tällaista muotoa ole valmiina, se voidaan valmistaa erikseen. Valmistusepätkätkkyyksien keräytymisen vuoksi useiden hitsattavien osien käyttämistä peräkkäin toistensa paikointuselementteinä tulee välttää. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 35).

Nykypäivänä, kun laser-leikkurit ovat yleistyneet runsaasti, yleisessä käytössä näkee erilaisten reikien ja niiden vastinosien käyttöä ohutlevytyöissä. Tämä nopeuttaa merkittävästi kokoonpanohitsausta niin käsin - kuin robotisoidussa hitsauksessa, koska osat voidaan asetella toisiinsa kiinni ilman mittavälineiden ja kiinnityselimien käyttöä. Laserleikkureilla voidaan osat valmistaa jopa 0,1mm tarkkuudella, joka on riittävä tarkkuus hitsauskiinnittimien valmistukseen.

3.2.3 Kiinnittäminen

Kun kappaleen osat on asetettu hitsauskiinnittimeen, tarvitaan kiinnitysvoima, joka pitää osat paikallaan hitsauksen ajan. Kiinnitysvoimana riittää joissakin tapauksissa maan vetovoima, mutta useimmissa tapauksissa tarvitaan erillisiä kiinnitinkomponentteja. Mikäli kappale käännetään hitsauksen aikana ylösalaisin, tulee kiinnitysvuimien kyetä pitämään kappale paikoillaan. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 35).



Vertical Handle Hold-Down Clamps



Automotive Power Clamps



Carver Clamps



Horizontal Handle Hold-Down Clamps



Pull Action Latch Clamps



Squeeze Action Clamps



Standard Pneumatic Clamps



Straight Line Action Clamps

Kuva 1. Destaco kiinnittimiä (Destaco:n www-sivut)

Tavallisimmin osien kiinnittäminen suoritetaan käsikäyttöisillä pikakiinnittimillä (Kuva 1). Niiden toiminta perustuu nivelvipumekanismilla aikaansaavaan puristusvoimaan ja itselukittuvuuteen. Mekaanisen nivelvipumekanismin haittana on herkkyys työkappaleen mittamuutoksille. Haluttu puristusvoima saadaan aikaan vain tietyllä kappalemitalla. Mikäli kappaleen mitat poikkeavat nimellisestä, puristusvoimaa joko ei kehity lainkaan tai se muodostuu niin suureksi, että kiinnitintä ei saada lukittuun asentoon. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 35).

3.2.4 Kiinnittimien mitoitus ja muotoilu

Hitsauskiinnittimen mitoitukselle ja muotoilulle luonteenomaisia piirteitä ovat:

- Osien mittaepätarkkuudet (sekä materiaalista että valmistustavasta aiheutuvat)
- Kappaleen muodonmuutokset hitsauksessa
- Irrallisena aseteltavista osista valmistuu jäykkä, suurempi kokonaisuus

Nämä asiat aiheuttavat kiinnittimen muotoilulle ja mitoitukselle esimerkiksi lastuavan työstön kiinnittimistä poikkeavia vaatimuksia. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 61).

Hitsauskiinnittimen suunnittelussa ensisijaisena tavoitteena on saada hitsattavan kappaleen osat sellaiseen asemaan toisiinsa nähden, että hitsauksen jälkeen kappale on oikean mittainen. Kiinnittimen mitoitusperustana ei ole valmis hitsattu kappale, vaan siitä hitsausmuodonmuutosten verran poikkeava aihio. Ero ei välttämättä ole suuri, mutta ainakin isojen kappaleiden kohdalla hyvin merkittävä. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 61).

Railon paikan tarkkuusvaatimus on vain poikkeustapauksissa ankarampi kuin $\pm 0,5$ mm. Poikkeustapauksina voidaan pitää ohutlevyjen päittäisliitoksia, joissa hitsausauman paikoitus on erittäin tarkkaa. Yleensä ± 1 mm:n tarkkuusvaatimusta pidetään riittävänä. Paksuseinämaisten pienaliitosten tarkkuusvaatimus saattaa olla vielä tätäkin vaatimattomampi, mutta useiden millimetrin epätarkkuuksien salliminen johtaa yleensä myös muihin hitsausteknisiin vaikeuksiin, joten niitä on syytä välttää. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 61).

Osien asettaminen kiinnittimeen ei yleensä tuota ongelmia. Mikäli näin kuitenkin on, on varsin todennäköistä, että valmiin kappaleen poistaminen kiinnittimestä on vielä vaikeampaa. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 64).

Valmiin kappaleen poistamista kiinnittimestä voidaan helpottaa kiinnittimen avoimella muotoilulla, mahdollisilla päästöpinnoilla tai erilaisilla väistyvillä vasteilla, ohjauspinnoilla ja kiinnittimillä. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 64).

”Hitsien luoksepäästävyys voidaan vaikuttaa tukipisteiden ja kiristimien tyypin, paikan ja muodon valinnalla, kiinnittimen muotoilulla sekä kappaleen osien asennon harkinnalla.” (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 64).

3.2.5 Kappaleen maadoitus

Kappaleen huonosti suunniteltu maadoitus voi aiheuttaa monenlaisia ongelmia kuten esimerkiksi:

- Magneettista puhallusta
- Roiskeita
- Hitsausvirran vaihtelua
- Kappaleen ja/ tai kiinnittimen kuumenemista
- Hitsauslaitteiden virhetoimintoja

Yleisin tapa on johtaa paluuvirta kappaleen tukipintojen kautta hitsauskiinnittimen runkoon, siitä kappaleenkäsittelylaitteen pöytään tai laippaan, josta edelleen liukukontaktien kautta hitsausvirtalähteen paluuvirtakaapeliin. (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 69).

3.2.6 Lämpöjännitysten sekä vetelyjen huomioon ottaminen

Hitsausvetelyistä tyypillisimpiä ovat kulmamuodonmuutokset. Joissakin tapauksissa

kyseeseen tulee myös hitsin poikittais- tai pituussuuntainen kutistuma. Etenkin ruostumattomalla teräksellä muodonmuutokset ovat merkittäviä.

”Kappaleen poistettavuuden kannalta on tärkeää, että hitsausmuodonmuutokset ohjataan kiinteistä vasteista poispäin. Kiinteän vasteen suuntaan vaikuttava hitsausmuodonmuutos voi liikuttaa koko hitsattavan kappaleen pois paikoiltaan.” (Hitsauskiinnittimen suunnittelu 1987, 69).

4 HITSAUSROBOTTI

4.1 MIG/MAG-hitsaus

”MIG/MAG-hitsaus eli metallikaasukaarihitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välillä. Sula metalli siirtyy pisaroina langan kärjestä hitsisulaan. Langan syöttälaite syöttää hitsauslankaa tasaisella nopeudella hitsauspistoolin lävitse valokaareen. Hitsausvirta tulee virtalähteestä monitoimijohdossa kulkevaa virtajohdinta myöten hitsauspistoolin päässä olevaan kosketussuuttimeen, josta se siirtyy hitsauslankaan. Suojakaasu suojaa kaaritilaa ja hitsisulaa ympäröivältä ilmalta.” (Lukkari 1997, 159).

”Valokaari syttyy sillä hetkellä, kun hitsauslanka koskettaa työkappaletta. Kosketushetkellä syntyy oikosulku, jolloin tehokas oikosulkuvirta sulattaa ja höyrystää langan pään, minkä ansiosta valokaari syttyy. Aineensiirtymiseen vaikuttaa erilaisia voimia, joista tärkein on sähkömagneettinen pinch-voima.” (Lukkari 1997, 159).

”Suojakaasu voi olla joko aktiivinen tai inertti kaasu. Aktiivinen suojakaasu reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa, kun taas inertti kaasu ei reagoi. Aktiivinen suojakaasu on yleensä argonin ja hiilidioksidin, argonin ja hapen tai argonin, hapen ja hiilidioksidin kaasuseos tahi puhdas hiilidioksidi. Kun suojakaasu on aktiivinen, niin prosessista käytetään nimitystä MAG-hitsaus (Metal-arc Active Gas Welding) eli Nro 135. Inertti suojakaasu on argon, helium tai näiden kaasuseos, jolloin siitä käy-

tään nimitystä MIG-hitsaus (Metal-arc Inert Gas Welding) eli Nro 131.” (Lukkari 1997, 159).

4.2 Teollisuusrobotin määritelmä

”Määritelmän (ISO 8373) mukaan teollisuusrobotti on uudelleenohjelmoitavissa oleva monipuolinen, vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. Uudelleen ohjelmoitavuus on siis olennainen piirre.” (Lehtinen, 2).

Teollisuudessa robotteja käytetään paljon metalli-, muovi-, ja elintarviketeollisuudessa. Yleisimmät käyttökohteet ovat, hitsaus-, kokoonpano-, lajittelu- ja pakkaustyöt. (Keinänen ym. 2007, 259).

”Robottien käyttö on yleistä myös sellaisissa tehtävissä, jotka ovat ihmiselle liian raskaita tai vaarallisia.” (Keinänen ym. 2007, 259).

Teollisuusrobotit ovat myös yleistymässä jätteidenkäsittelylaitoksissa (Kuva 2). ”Yksi esimerkki kokonaan uudesta lajittelukohteesta on ydinvoimaloiden matalaaktiivinen jäte. Jätteen joukossa on paljon vaaratonta materiaalia, joka nyt tarpeettomasti loppusijoitetaan kallioluoliin varsinaisen jätteen kanssa – äärimmäisen korkein kustannuksin. ZenRobotics Recyclerille tuon materiaalin lajittelu ei ole ongelma.” (ZenRobotics:n www-sivut 2013).

Teollisuusrobotit voidaan jakaa nivelvarsirobotteihin ja lineaarisesti liikkuviin eli portaalirobotteihin. Nivelvarsiroboteilla on yleensä viisi tai enemmän ohjelmoitavaa akselia. Akselit mahdollistavat työkalun liikuttamisen robotin liikealueella kaikkiin mahdollisiin asentoihin. (Keinänen ym. 2007, 259).

4.3 Nivelvarsirobotti

5- ja 6- akseliset nivelvarsirobottien joustavuus ja monikäyttöisyys on tehnyt niistä teollisuuden yleisimmin käytetyn robottimallin. Niiden sovellusalueita ovat mm. erilaiset kokoonpanotehtävät, työstökoneiden palvelu, pakkaus, hitsaus ja maalaustehtävät. Nivelvarsirobotin työskentelyalue on pallomainen ja 6-akselisen robotin tarttuma voidaan asemoida mihin tahansa asentoon työskentelyalueellaan. Nivelvarsirobotin mekaaninen rakenne mahdollistaa hyvin laajan kokovalikoiman (1 kg... 500 kg) jolloin lähes kaikkiin käyttötarkoituksiin löytyy sopivan kokoinen robottimalli. (Keinänen ym. 2007, 260).

4.4 Koordinaatistot

Teollisuusrobottien yleisimmät koordinaatistot ovat:

- Maailmankoordinaatisto
 - Peruskoordinaatisto
 - Työkalukoordinaatisto
- (Keinänen ym. 2007, 260)

Robotteihin on myös mahdollista ohjelmoida käyttäjäkohtaisia koordinaatistoja, jotka helpottavat ohjelmointityötä.

4.4.1 Maailmankoordinaatisto

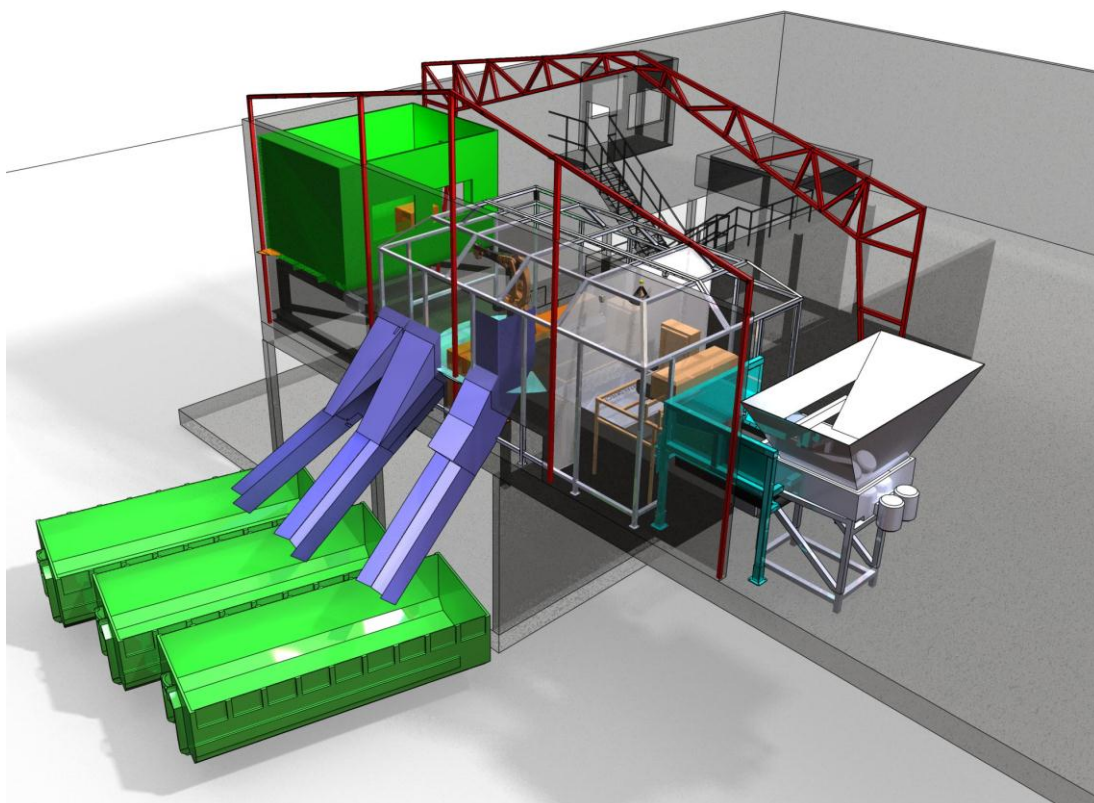
”Maailmankoordinaatisto on robotin toimintaympäristöön sidottu koordinaatisto. Esimerkiksi työstökoneita palvelevan robotin maailmankoordinaatisto voi olla sidottu työstökoneen akseleiden suuntaiseksi.” (Keinänen ym. 2007, 260) Maailmankoordinaatiston käyttäminen täten helpottaa robotin ohjelmoimista.

4.4.2 Peruskoordinaatisto

”Peruskoordinaatisto on robotin jalkaan sidottu koordinaatisto, jonka X ja Y akselit muodostavat vaakasuoran tason robotin jalustan alapinnan tasolle. Z akseli on pysty-akseli, joka kulkee ensimmäisen liikeakselin pyörähdyskeskipisteen kautta.” (Keinänen ym. 2007, 261).

4.4.3 Työkalukoordinaatisto

”Työkalukoordinaatisto on suorakulmainen koordinaatisto, jonka origo on sidottu työkalun tai käsiteltävän kappaleen koordinaatistiksi. Tällöin koordinaatiston akselien suunta muuttuu kappaleen asennon mukana, eli X, Y ja Z suuntaiset liikkeet ovat aina samansuuntaiset työkappaleeseen nähden. Tämä helpottaa liikeratojen ohjelmointia esimerkiksi hitsaus- ja kokoonpanotehtävissä.” (Keinänen ym. 2007, 261).



Kuva 2. Jätteidenkäsittelylinjasto (ZenRobotics:n www-sivut 2013)

4.5 Hitsausrobotin ohjelmoiminen

Hitsausrobotin ohjelmoiminen tapahtuu ohjaamalla robotti tiettyyn pisteeseen, jossa halutaan hitsaustapahtuman alkavan. Piste tallennetaan robotin muistiin ja siihen lisätään hitsauskomento. Hitsauskomennolla määrätään vähintään hitsausvirta (A), hitsausjännite (V) sekä polttimen kuljetusnopeus.

4.5.1 Liikekomennot

Tallennettaessa opetuspistettä robotin orientaatiotieto ja liiketapa (interpolaatio, kuljetusnopeus jne.) tallennetaan samaan aikaan. Interpolaatio ja liiketapa opetuspisteeseen tallennettaessa ovat komentoja edeltävästä pisteestä nykyiseen pisteeseen. (Teach pendant For Standard Arc welding Industrial Robots 2007, 32).


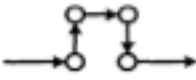

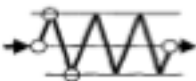

Hitsausroboteille on viisi erilaista liikekomentoa (Kuva 3). MOVEP käskyllä robotti kulkee helpointa mahdollista reittiä pitkin seuraavaan pisteeseen. Tämä rasittaa vähiten akseleita ja vaatii vähemmän laskentakapasiteettia tietokoneelta. Käskyä käytetään yleensä robotin väliliikkeisiin. Kuitenkin käytettäessä kyseistä komentoa ohjelmoijan tulee olla tarkkana ettei robotin tiellä ole mahdollisia esteitä.

MOVEL on lineaarinen käsky, jolla robotti kulkee suoraviivaista liikettä pitkin seuraavaan pisteeseen. Käskyä käytetään esimerkiksi hitsaussaumoissa ja lähestymisliikkeissä.

MOVEC on kaariliikkeen käsky. Robotille tulee opettaa vähintään kolme kaarella olevaa pistettä, jotta kaariliike voidaan toteuttaa. Soveltuu hyvin putkien hitsaukseen poltinta pyörittämällä.

MOVELW on lineaarinen levityskäsky. Käskyllä poltin saadaan kulkemaan siksak-kimaista liikettä suoralla reitillä. Käskyä käytetään hitsaussaumojen levitykseen. Hyödyllinen käsky esimerkiksi ohutlevyjen päittäisliitosten hitsaamiseen.

MOVECW on kaarimainen levityskäsky.

Interpolation	
PTP (MOVEP) Joint movement	
Linear (MOVEL) The robot follows a straight path from a point to the next.	
Circular (MOVEC) The robot follows a circular path determined by 3 teaching points	
Linear weaving (MOVELW) The robot follows a zigzag course on a straight path.	
Circular weaving (MOVECW) The robot follows a zigzag course on a circular path.	

Kuva 3. Hitsausrobotin liikekomennot (Teach Pendant for Standard Arc Welding Industrial Robots 2007, 32)

4.5.2 Johdattamalla ohjelmointi

”Johdattamalla ohjelmoitaessa robotin liikeakselit vapautetaan ja ihminen liikuttaa robotin työkalua lihasvoimin haluttua liikerataa pitkin. Robottiohjain lukee liikeradan muistiinsa ja ohjelmoinnin päätyttyä se pystyy toistamaan tämän opetetun liikeradan. Yleisimpiä johdattamalla ohjelmoitavia robotteja ovat maalausrobotit, joiden liikera-tojen tarkkuuden ei tarvitse olla kovin suuri. Johdattamalla ohjelmoinnin heikkoutena on työläs muunneltavuus ja hieman epätarkat liikeradat.” (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007, 262).

4.5.3 Opettamalla ohjelmointi

”Opettamalla ohjelmoinnissa työkalu viedään haluttuun paikkaan käyttämällä käsi-ohjainta ja sen jälkeen paikka tallennetaan ohjailmen muistiin. Jokaiselle tallennetulle pisteelle annetaan liikekomento sen mukaan, millä tavalla ja millä nopeudella robotin on siirryttävä ko. pisteeseen suoraviivaisesti tai ympyräkaarta pitkin. Käsiohjaimella tapahtuva ohjelmointi soveltuu parhaiten yksinkertaisiin sovelluksiin, missä liikekäs-kyt ovat pisteestä pisteeseen komentoja. Tämä ohjelmointitapa on ollut yleisesti käy-tössä erilaisissa paletointi ja pakkaussovelluksissa.” (Keinänen ym. 2007, 262).

Käsiohjain eli opetusyksikkö on kädessä pidettävä ohjain, jolla voidaan ohjata manipulaattorin kaikkia akseleita niiden jokaisessa vapausasteessa. Ohjaimet mahdollistavat ohjelman testiajon ja yksinkertaisten loogisten operaattorien käyttämisen. (Craig 1989, 391).

4.5.4 Off-Line ohjelmointi

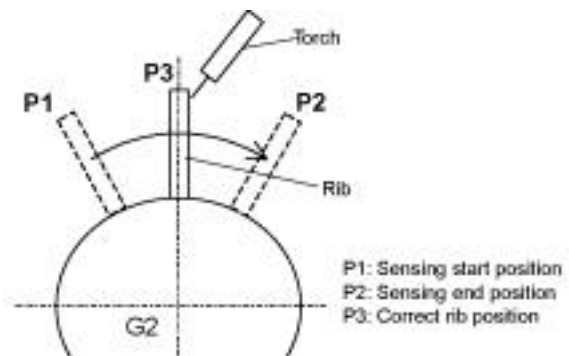
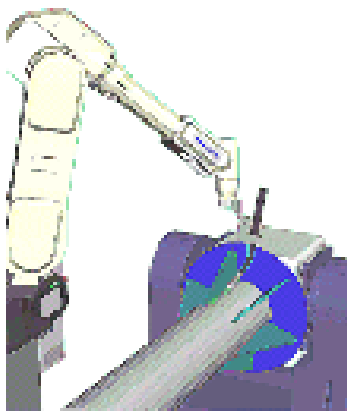
”Off-Line ohjelmointi tarkoittaa robotin ohjelmointia ilman robottia tietokoneessa suoritettavan ohjelmiston avulla. Usein näissä ohjelmistoissa on simuloidut 3D-mallit roboteista, jotka toimivat vastaavasti kuin oikeat robotit. Jokaisella robottivalmistajalla on oma ohjelmointikieli ja ohjelmointiohjelmistot robotin ohjelmointia varten, mutta nykyisin monet robottimallit voidaan ohjelmoida myös standardisoidulla IRL (International Robot Language) –kielellä, joka on kaikille yhteinen. Off-Line ohjelmointi on nykyisin yleisin ohjelmointitapa ja sen etuja ovat monipuoliset liikekäskyt ja havainnollinen käyttöliittymä sekä se, että robottia ei tarvitse pysäyttää ohjelmoinnin ajaksi.” (Keinänen ym. 2007, 262).

Off-line ohjelmointi on käyttökelpoinen ja hyödyllinen, kun hitsattavat kappaleet ja hitsauskiinnittimet ovat 3D-muodossa. Tämä tarkoittaa, että voidaan jäljitellä todellisuutta, eli simuloida koko hitsausoperaatio säästäten hitsausrobotin käyttäjän ohjelmointiaikaa robotilla. Kuitenkin yleensä hitsausrobotin käyttäjä joutuu testiajamaan kaikki hitsauspisteet lävitse ja tekemään mahdollisesti korjauksia. Simulointimalli ja todelliset kappaleet eivät ole ikinä 100 % samanlaisia ja inhimillisiä virheitä voi sattuakin simulointimallia ohjelmoitaessa.

4.5.5 Ohjelmointiesimerkki

Esimerkissä (Taulukko 1) hitsausrobotti hitsaa putken ympärille jäykistelevyjä.

Jäykistelevyn poikkeama mitataan käyttämällä kosketussensoria, jonka jälkeen paikoittajan kulmaa säädetään (Kuvat 3 ja 4). Esimerkissä paikoittaja on robotin ulkoinen akseli eli pyörityspöytä.



Kuvat 3. ja 4. Jäykistelevyjen hitsaus käyttäen kosketussensoria apuna. (Teach pendant For Standard Arc welding Industrial Robots 2007, 298)

Taulukko 1. Jäykistelevyjen hitsausohjelman esimerkki. (Teach pendant For Standard Arc welding Industrial Robots 2007, 298)

Ohjelma	Kuvaus
TOOL = 1:TOOL01	Työkalun valinta
MOVEP P1 3.00m/min	Liikutaan kosketuksen aloituspisteeseen (P1)
TCHSNS SPD=1.00	Kytetään kosketussensori päälle
MOVEP P2 2.00m/min	Kosketuksen lopetuspiste (P2)
GETPOS GP001	Asetetaan TOUCH paikkatieto paikkaan GP001
JUMP LABL0001	Hypätään määritettyyn osoitteeseen liikkumatta pisteestä P3
MOVEP P3 2.00m/min	Jäykistelevyn oikea paikka on paikka TOUCH
:LABL0001	
CNVSET LR001 = GP.G2#(GP001)	Haetaan paikoittajan paikkatieto paikasta TOUCH
CNVSET LR002 = P.G2#(P3)	Haetaan paikoittajan paikkatieto pisteestä P3
SUB LR001 LR002	Määritetään poikkeama pisteiden LR001 ja LR002 välillä
EAXS_SFT-ON G2 = LR001	Siirretään ulkoista akselia
CALL EAXSSFT-WORK01.prg	Suoritetaan hitsausohjelma
EAXS_SFT-OFF G2	Lopetetaan ulkoisen akselin siirto

5 TYÖN VAATIMUKSET JA TAVOITTEET

5.1 Vaatimukset

Hitsauskiinnikkeen tulee olla:

- yksinkertainen ja toimiva
- kaikki hitsausseamat tehdään yhdessä ja ainoassa kiinnikkeessä
- valmistettavissa yrityksen omalla konekannalla
- halpa
- osat tulee olla vaihdettavissa korjausten yhteydessä
- suunniteltava niin, ettei työkappaleita voi kiinnittää väärään asentoon
- helppo ja nopea kiinnitys hitsausrobottiin

Hitsauskiinnittimen tulee olla jäykkä ja sekä mahdollisimman kevyt. Syystä, että pyörityspöydän maksimikantavuuden (500 kg) raja-arvo ei tule vastaan missään vaiheessa. Jäykkyys estää mahdolliset muodonmuutokset, jos pöytää joudutaan pyörittämään nopeasti eri suuntiin.

Tulevaisuutta ajatellen, pyörityspöytiin tulee suunnitella sellainen kiinnityslaippa ja ohjaintapit, joita voi käyttää myös tulevien jigien kiinnittämiseen. Kiinnittämisen tulee olla nopeaa ja yksiselitteistä.

5.2 Tavoitteet

Työn tavoitteena on suunnitella ja rakentaa toimiva sekä tarkoituksen mukainen hitsauskiinnike CPS-Color:n maalinsävytyskoneen rungolle. Tavoitteena on käyttää mahdollisimman paljon standardiosia sekä valmistaa tarvittavat osat oman tuotannon ohella. Aikataulu hitsauskiinnittimen suunnittelulle sekä rakentamiselle oli kesä 2012.

Toisena tavoitteena on käyttöönottaa hitsausasema (Kuva 5) tuotantoon. Käyttöönotto edellyttää hitsausaseman perusteellisen puhdistamisen sekä toiminnallisuuden testaamisen. Robottiin täytyy myös rakentaa suojaseiniä, suojaverhojen kiskoja jne. Robotin käyttöönoton aikataulu on vuoden 2013 ensimmäinen kvartaali.



Kuva 5. Hitsausrobottisolu.

Kolmantena tavoitteena on ohjelmoida robotti niin, että hitsaus on nopeaa ja virheetöntä. Toisin sanoen hitsausseammat eivät saa palaa perusaineesta läpi eikä hitsausroiskeita saa syntyä. Ideaalista olisi, ettei käsityötä synny hitsauksen jälkeen ollenkaan.

6 LAITTEISTO

6.1 Hitsausasema

Juha Lukkarin määritelmän mukaan hitsausasema on: ”Hitsaukseen tarvittava hitsauslaitteiden kokonaisuus, johon saattaa kuulua lisäksi ohjaimet ja kiinnittimet, robotti, syöttölaitteet ja muita lisähitsausvarusteita. Työkappaleen asettamiseen ja poistamiseen kuuluvat laitteet eivät kuulu hitsausasemaan.” (Lukkari 1997, 27).

Hitsausasemasta voidaan myös käyttää nimeä hitsausrobotisolu.

Bestron Oy:llä on käytössä hitsausasema, jonka valmistaja on Panasonic. Soluun kuuluvat nivelvarsirobotti, kaksi kappaletta kääntöpöytiä, hitsausvirtalähde sekä turvalaitteet ja sermit. Robottiasema toimitettiin yritykselle keskeneräisenä, joten opinäytetyön edetessä siihen on ostettu ja rakennettu uusia osia.

6.2 Hitsausrobotti

Taulukko 2. Technical Data of TA-1800 Industrial Robots (Panasonic, www-sivut 2013)

Max. payload (kg)	8
Voltage (V)	200
Frequency (Hz)	50/60
Degree of freedom (axis)	6
Max. Reach (mm)	1796
Max. speed (linear) (m/sec)	3
Repeatability (mm)	± 0.1
Weight (kg)	185

Robotti kuuluu YA-1QAR61 sarjaan ja on malliltaan TA-1800 (Kuva 6). Robotti on erityisesti suunniteltu kaarihitsaukseen, kokoonpanotöihin, leikkaamiseen sekä tiivisteiden pursotukseen. Robotin maksikuorma on 8 kg käsivarren päässä. Robotin ohjelmoiminen tapahtuu opettamalla käyttäen opetusyksikköä (Kuva 7). Off-Line ohjelmointiin on mahdollista hankkia Panasonic:n oma ohjelmisto, mutta sitä ei olla vielä nähty tarpeelliseksi.



Kuva 6. TA- 1800 hitsausrobotti (Panasonic:n www-sivut 2012)



Kuva 7. Opetusyksikkö (Panasonic Arc Welding Robot Controller 2007, 41)

6.2.1 Virtalähde

”Kaarihitsausvirtalähde on laite, joka syöttää sähkötehoa hitsausvalokaareen. Hitsausvirtalähde on yleensä käytetty termi huolimatta siitä, että hitsaustehon lähde voi olla joko virta- tai jännitelähde.” (Lukkari 1997, 78).

Hitsausvirtalähde on Panasonicin itsensä valmistama. Tällä saavutetaan etu kilpailijoihin nähden, koska järjestelmässä on vain yksi PC ohjaamassa robottia sekä virtalähdettä. Menetelmällä saadaan reaaliaikainen tieto mitä hitsaustapahtumassa tapahtuu, ja robotti voi reagoida siihen. (CNC Finland Oy Ltd. www-sivut 2013).

Hitsausvirtalähde on tarkoitettu MIG/MAG-hitsaukseen. Virtalähteellä voidaan hitsata rakenneteräksiä sekä ruostumattomia teräksiä.

6.2.2 Kääntöpöytä

Kääntöpöytä on kaksiosainen siten, että hitsausrobotti sijaitsee pöytien keskellä. Tämä mahdollistaa hitsattavien tuotteiden tehokkaan hitsauksen, koska toinen puoli on aina käytössä ja toiseen voidaan asettaa hitsauksen aikana uudet osat. Molemmissa pöydissä on kaksi kappaletta akseleita. Ensimmäinen on niin sanottu keinuakseli ja toinen on pyöritysakseli. Kääntöpöydän maksimikuorma on 500 kg.

7 TYÖN ETENEMINEN

7.1 Yleiset valmistelut

Yleisiin valmisteluihin kului suhteellisen paljon aikaa, koska robotti oli ollut käyttämättömänä yli vuoden ja robotin ympärille oli lastattu ylimääräistä tavaraa hankaloittaen robotin käyttöönottoa. Muutaman päivän siivousurakan jälkeen päästiin vasta puhdistamaan itse robottiasemaa. Robottiasemasta puhdistettiin kaikki maalipinnat ja osa koneistetuista pinnoista teollisuuspuhdistusaineella pyyhkien. Kun robotti oli saatu puhdistettua kokonaisuudessaan, asennettiin paineilmatuloletku, hitsauslankatynnyri (Hyundai 1,0 mm 250 kg) sekä hitsauskaasuletku. Aluksi hitsauskaasu otetaan yksittäisestä pullosta, joka myöhemmin vaihdetaan käytännöllisempään 12 pulлон kaasupatteristoon.

Ongelmat jatkuivat hitsausrobotin testiajossa. Suurimmat ongelmat olivat automaattiajon vikaantuminen ja hitsauksen aloittaminen. Hitsauksen aloittamisessa oli ongelmana, että hitsauslangan palaminen suuttimeen kiinni. Viaksi paikannettiin hitsausvirran paluukaapelin rikkoutuminen. Kaapeli vaihdettiin, minkä jälkeen aloitettiin robotin käyttökoulutus. Käyttökoulutus kesti yhden päivän, jonka aikana harjoiteltiin ohjelmoimista opettamalla. Hitsausohjelmat päätettiin tehdä pihagrilleille, koska grillien hitsaamisesta oli aikaisempaa kokemusta vanhalla robotilla. Toinen syy oli, että pihagrilleille oli valmistettu uudentyyppinen hitsauskiinnike, joka mahdollisti kaikkien hitsattavien osien asentamisen paikoilleen yhdellä kertaa. Koulutuksesta saatiin paljon arvokasta tietoa hitsauskiinnittimen suunnittelusta sekä robotin ohjelmoimista. Koulutus olisi silti voinut olla hieman pidempi.

Grillin ohjelmoimisessa tuli uusi ongelma esille, kun yritettiin hitsata halkaisijaltaan 30 mm olevaa putkea grilliin kiinni. Ongelma oli, että hitsauspolttimen työkalupiste oli määritetty väärin. Tästä seurasi, että putkea hitsattaessa syntyi aina niin sanottu ”flip-over”. Käytännössä tämä tarkoitti, että robotti liikutti väriä akseleita ja aiheutti vääränlaisen kaariliikkeen hitsauspolttimen päässä. Liike oli myös liian nopea ja tämä pilasi hitsausauman. (Kuva 8). Ongelmasta selvittiin määrittämällä uusi työkalupiste sekä vaihtamalla uusi poltin ja polttimen pidin. Polttimen valmistaja on Binzel

ja malli on ROBO VTS 500TS. Polttimen pitimeksi valittiin saman valmistajan kiinteämallinen ABIROB A360 / A500 pidin 45° kulmalla.



Kuva 8. Putken epäonnistunut hitsausauma.

Hitsausrobotin edut (Kuvat 9 ja 10) verrattuna vanhaan robottiin tulivat selvästi esille grillin hitsauksessa. Vaikka käytössä ei ollut pulssihitsausta tai railonseurantaa, hitsausaumat olivat tasaisia eikä hitsausroiskeita esiintynyt paljoakaan. Myös 60° kul-

maan hitsatut liitokset hitsaantuivat ilman reikien syntymistä ilmaraon ollessa enimmillään ainevahvuuden verran ($s = 2 \text{ mm}$).



Kuvat 9. ja 10. Uuden ja vanhan robotin hitsaussaumojen vertailua.

7.2 Hitsauskiinnittimen suunnittelu

Suunnittelu aloitettiin ensiksi tarkastelemalla purkkipöydän rungon 3D-mallia Solidworks suunnitteluohjelmassa. Samalla myös määritettiin hitsauskiinnikkeen vaatimukset, sekä päätettiin, että hitsattavalle kappaleelle tehdään ainoastaan yksi hitsauskiinnike, jossa suoritetaan kaikki hitsaukset silloituksesta varsinaisiin hitsaus-
saumoihin.

Ennen 3D-mallinnuksen aloittamista mietittiin erilaisia vaihtoehtoja, joiden pohjalta lähdettiin ideoimaan kiinnikkeen rakennetta. Ideointi suoritettiin hahmottelemalla kynällä paperille ja kysellen ideoita myös tuotannon suunnalta. Lopuksi päädyttiin ratkaisuun, joka on vahvasti ohutlevypainotteinen seuraavista syistä:

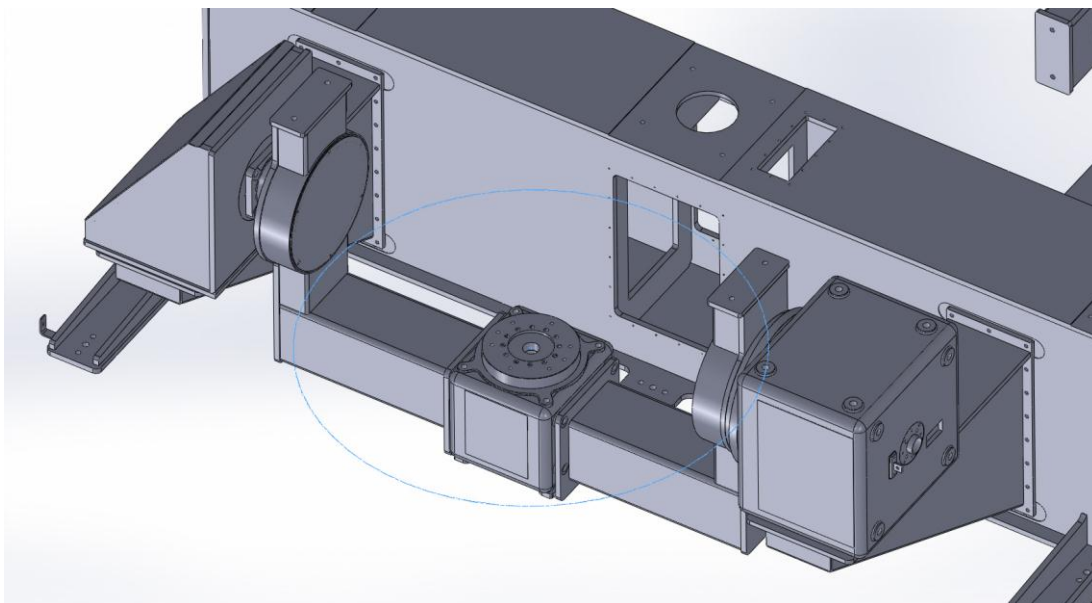
- helppo ja vaivaton valmistaa omalla konekannalla
- koneistaminen ja hitsaaminen saatu minimiin
- materiaalit halpoja
- osat voidaan valmistaa muun tuotannon ohella
- ei tilausosia
- osat kyetään valmistamaan riittävän tarkoiksi

7.2.1 Ideointi

Ideointivaiheessa päätettiin muuttaa osaa pienistä hitsattavista kappaleista, jotta ne olisi helpompi kiinnittää ja hitsata. Muuttaminen helpotti myös kiinnittimien suunnittelua.

Ideoinnissa oli tärkeätä keskittyä suunnittelemaan sellainen kiinnitin, johon hitsattavat kappaleet on helppo asettaa paikoilleen ja niitä ei saa asennettua väärinpäin tai väärään paikkaan. Tärkeimmät paikoitus- ja tukikohdat määriteltiin myös soveltaen hyvän hitsauskiinnikkeen tunnusmerkkejä sekä omaa ammattitaitoa ja käytännönkokemusta.

7.2.2 Mallintaminen

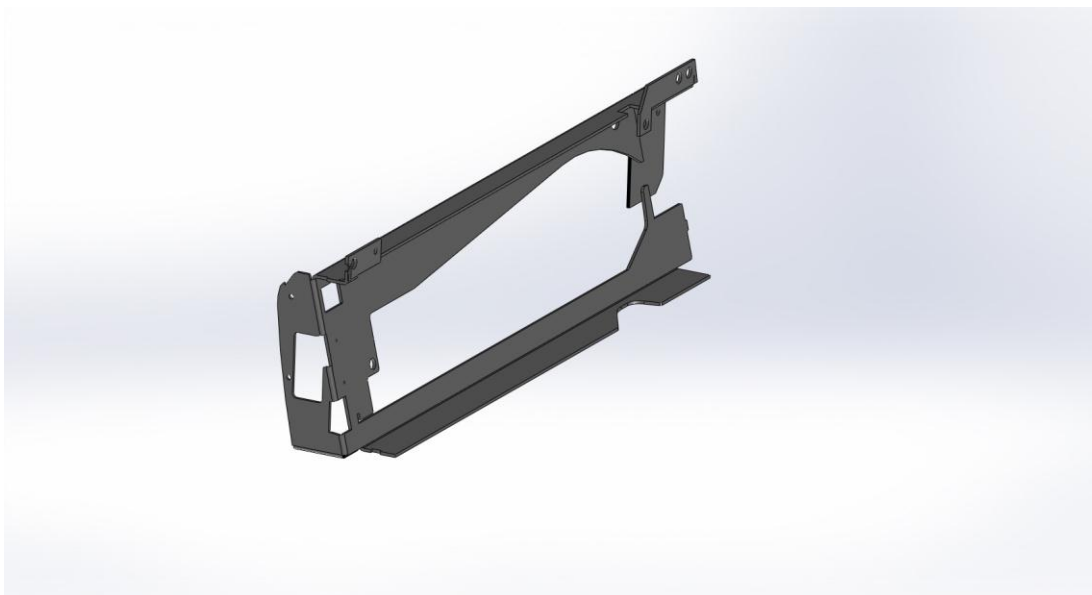


Kuva 12. Hitsausalueen maksimikoko.

Hahmotelmien jälkeen aloitettiin 3D-mallintaminen Solidworks – suunnitteluohjelmalla. Aivan ensiksi mallinnettiin pohjalevy, jonka maksimikoon määräsi robotin hitsausalue (Kuva 12). Hitsausalueen maksimikoko on halkaisijaltaan 1500 mm ympyrä. Turvallisuuden vuoksi maksimipituudeksi määrättiin 1000 mm ja leveydeksi 460 mm. Pituuden rajoittaminen 1000 mm:iin mahdollistaa hitsauskiinnittimen turvallisen pyörittämisen ilman törmäyksiä pyörityspöydän reunoihin. Robotin ohjelmointivaiheessa tämä estää mahdolliset inhimilliset virheet sekä osien rikkoutumisen.

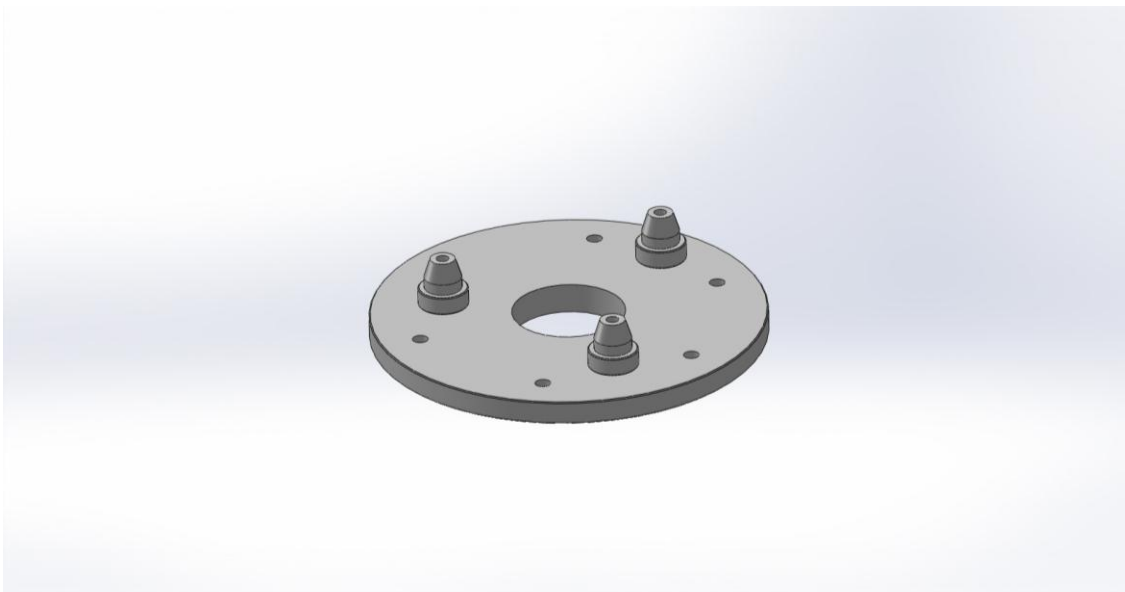
Ensiksi pohjalevy suunniteltiin tehtäväksi vahvasta n. 10 mm levyistä, jotta jäykkyys voitaisiin saavuttaa. Tämä taas toi painoa kohtuuttoman paljon. Pelkkä 10 mm levy olisi painanut 26 kg. Ohuempi 5 mm levy painaa jäykisterunkon kanssa 21 kg. Jäykisterunko tehtiin, ettei pohjalevy pääse taipumaan oman sekä muiden osien painosta. Jäykisterunkoon oli myös helppo kiinnittää kiinnityslaipan vastinosa, jolla hitsauskiinnitin asennetaan pyörityspöytään. Tulevaisuudessa runkoon on mahdollista kiinnittää esimerkiksi pneumaattisia sylintereitä, venttiileitä, antureita sekä muita toimilaitteita.

Osien paikoittamisessa lähdettiin liikkeelle valitsemalla ohjaavaksi osaksi kokoonpanon suurin osa (Kuva 13). Osassa on eniten pinta-alaa, jota vasten saadaan asetettua tukikappaleita kolmelta eri suunnalta. Osan muoto on myös sellainen, että tukikappaleet voidaan suunnitella niin, että kokoonpanohitsauksen jälkeen valmis kappale saadaan irti hitsauskiinnitimestä. Paikoittamisessa käytettiin kaltevalle pinnalle tukilevyjä rivissä. Hitsattava osa saadaan liu'utettua näitä pitkin kiinnikkeen pohjalle. Pohjalevyssä on kiinnitettyä sorvattuja tappeja, jotka estävät hitsattavan kappaleen sivuttaisliikkeen. Pituussuuntainen liike estetään yhdellä sorvatulla tapilla, joka menee osan valmiiseen reikään.



Kuva 13. Paikoituksen lähtökohdaksi valittu osa.

Kiinnityslaippa (Kuva 14) suunniteltiin siten, että sitä voi jatkossa hyödyntää muihinkin hitsauskiinnittimiin. Tarkoituksena oli, ettei laippaa irroteta pyörityspöydästä ollenkaan vaan se on pultattu kiinteästi kiinni. Laippaan on hitsattu kolme kappaletta ohjaintappeja epäsymmetrisesti, jotka paikoittavat hitsauskiinnittimen vain ja ainoastaan yhteen asentoon. Tapeissa on M12 kierrereivät, joihin hitsauskiinnitin ruuvataan kiinni hitsauksen ajaksi.

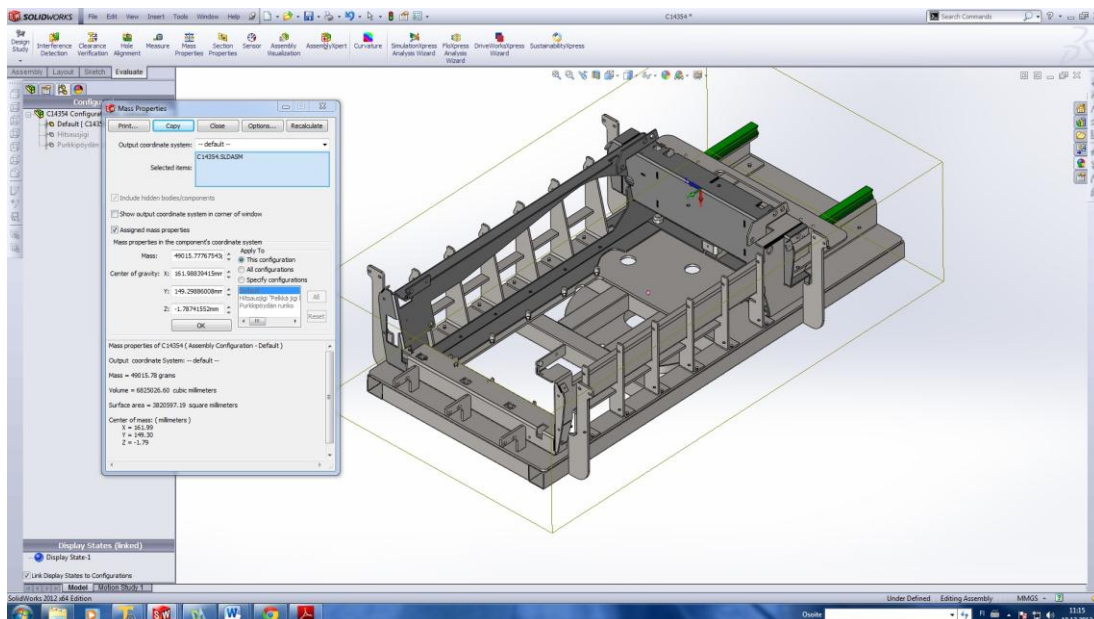


Kuva 14. Kiinnityslaippa ja -tapit.

Kiinnityslaipan vastinlevyn (Kuva 15) sijoituspaikka määritettiin hitsauskiinnittimen massakeskipisteen perusteella (Kuva 16). Toisin sanoen kiinnityslaipan keskipisteen akseli yhtyy hitsauskiinnittimen massakeskipisteen kanssa. Tämä ratkaisu rasittaa vähiten pyörityspöytää, koska vääntömomenttia ei juuri synny.



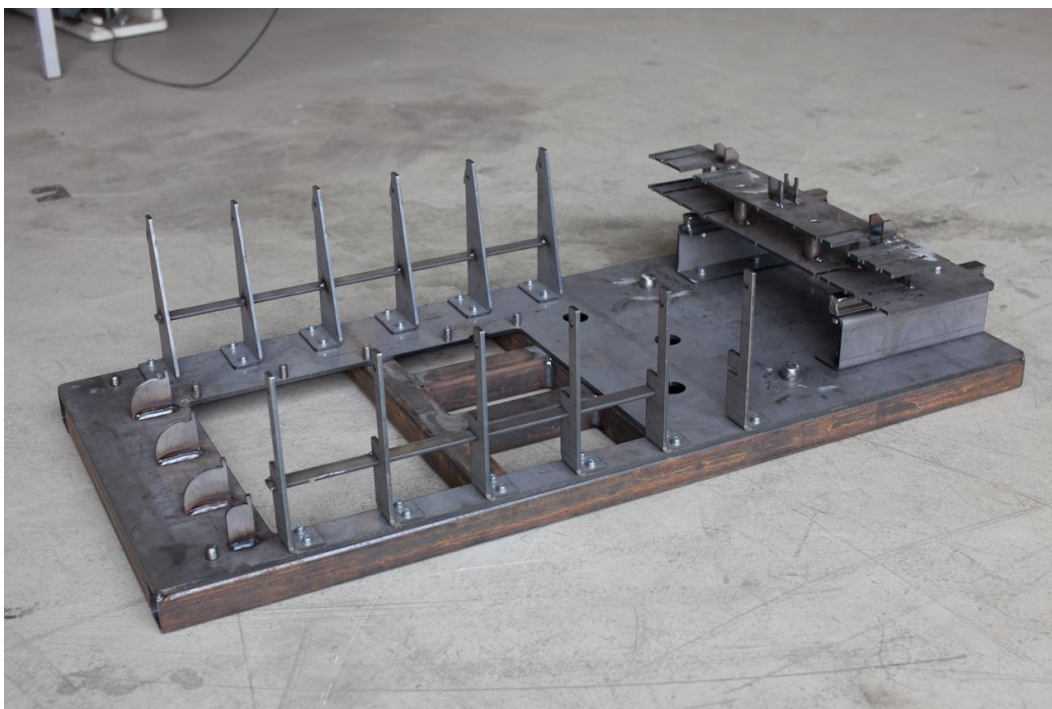
Kuva 15. Kiinnittimen pohjaan hitsattava vastinlevy.



Kuva 16. Hitsauskiinnittimen massakeskipiste.

7.2.3 Rakentaminen

Purkkipöydän hitsauskiinnitin (Kuva17) rakennettiin kesällä 2012, kun Bestron Oy:ssä oli kahden viikon tuotantoseisakki. Seisakin aikana oli helppoa valmistaa kaikki tarvittavat osat kerralla valmiiksi.



Kuva 17. Hitsauskiinnitin kokoonpantuna.

7.3 Hitsausrobotin ohjelmoiminen

Tässä vaiheessa Bestron Oy:ssä päätettiin, että purkkipöydän rungon hitsaamista robotilla siirretään eteenpäin ja keskitytään grillin hitsausohjelman viimeistelemiseen. Syynä tähän oli, että grillien menekki oli kasvanut ja grillejä tarvittiin nopeasti asiakkaille. Tässä luvussa keskitytään siis pelkästään grillin hitsausohjelman ohjelmoimiseen.

Grillien hitsausjigi (Kuva 18) on kaksipesäinen ja siihen asetetaan grillin yläosan kaikki tarvittavat osat kerralla paikoilleen. Tämä tarkoittaa, ettei käsin hitsausta ole ollenkaan.



Kuva 18. Grillien hitsausjigi.

Ohjelmointi voidaan jakaa kolmeen eri osaan:

- Pisteiden ja hitsauskäskyjen opettaminen
- Testaus ja ohjelman muokkaaminen
- Täysautomaattinen ajo suuremmissa erissä

7.3.1 Pisteiden ja hitsauskäskyjen opettaminen

Kaikki pisteet opetettiin ohjaamalla robotti väli-, lähestymis- ja hitsauksen aloituspisteisiin. Välipisteillä tarkoitetaan robotin ohjaamista turvallisiin paikkoihin törmäämättä mihinkään osiin. Nämä pisteet ohjelmoitiin käyttämällä MOVEP-liikekäskyä.

Lähestymispisteet ohjelmoitiin yleensä noin 50 mm ennen hitsauksen aloituspistettä MOVEL-liikekomennolla sekä laskemalla robotin liikenopeutta.

Hitsaussaumamat ohjelmoitiin käyttämällä lineaarista MOVEL-liikekomentoa sekä kaarimaista MOVEC-liikekomentoa. Lähtökohtaisesti MOVEL-liikekomentoa käytettiin grillin tulipesän pitkiin saumoihin, koska niissä ei ollut ongelmia sauman puhkipalamisen kanssa. MOVEC-komentoa käytettiin ainoastaan grillin kahden putken hitsaamiseen.

7.3.2 Testaus ja ohjelman muokkaaminen

Testausvaiheessa esiin tuli ohjelmointivirheitä, joissa esimerkiksi robotilta tuli virhekoodeja akselien liikenopeuksien ylittyessä. Yleensä liikenopeudet ylittyivät uloimassa akselissa, mikä pyörittää poltinta. Muuttamalla liikeratoja, -nopeuksia sekä -komentoja virhekoodit saatiin poistettua. Tässä vaiheessa jouduttiin myös muuttamaan muutamia grillin osia. Esimerkiksi tulipesän alapellin tulppahitseille tarkoitettuja reikiä muutettiin suuremmiksi, jotta hitsaussaumamat saatiin uppoamaan tulipellin pinnan tasolle.

Hitsauksen aloitus- ja lopetuspisteiden paikkoja piti myös muuttaa tarkemmiksi. Paikoituksen tarkkuus korostui hitsattaessa 2 mm vahvuista ohutlevyä päittäisliitoksella.

7.3.3 Täysautomaattinen ajo suuremmissa erissä

Tässä vaiheessa pyrittiin etsimään systemaattisia virheitä joita syntyy hitsattaessa grillejä suurempia määriä. Yleensä toistuvana virheenä esiintyä sauman puhkipalaminen grillin yhdyskohdan liitossaumassa, joka oli 50 mm pituinen päittäisliitos. Hit-

saussauman hitsauskomennossa hitsausarvoja laskettiin pienemmäksi kuin muissa saumoissa sekä sauman levitystä kasvatettiin 1 mm kumpaakin suuntaan.

Hitsausvirheiden ennaltaehkäisyssä korostui myös hitsattavien osien huolellinen asettaminen hitsauskiinnittimeen. Tämä tarkoitti, että hitsauskiinnitin ei vielä ollut niin yksiselitteinen, että osat olisivat paikoittuneet aina oikein.

7.4 Ongelmat

Eniten ongelmia tuottivat osien paikoittaminen täsmällisesti samaan paikkaan jokaisella hitsauskerralla. Yhtenä ongelmana todettiin, että grillin yläosan särmätyt kulmat muuttuvat jokaisessa kappaleessa jonkin verran. Ongelmasta selvittiin jättämällä särmäyskulmia muutaman asteen verran avonaisiksi, jotta hitsauskiinnittimellä voidaan osat pakottaa painamalla samalle tasolle. Hitsauskiinnittimeen lisättiin myös muutamia Destaco-kiinnittimiä lisäämään kiinnitysvoimaa ja -pisteitä.

Päittäisliitosten puhkipalaminen oli myös suuri ongelma. Ongelmaa lähestyttiin aluksi muuttamalla hitsausarvoja alaspäin ja polttimen kulmaa muuttamalla, mutta ongelmaksi osoittautui saumojen kohdistus hitsauskiinnittimessä. Tämä tarkoitti, että saumojen paikat vaihtelivat välillä 1-2 mm robotin ohjelmoituun liikerataan nähden. Tästä syystä sauma joko paloi läpi tai hitsaantui ainoastaan railon toiselle puolelle. Ongelma ratkaistiin käyttämällä robotin liikekomentoa MOVEW, jolla saumaa levitettiin haluttu määrä sauman sivuttaissuunnassa. Tässä tapauksessa levityksen suuruudeksi (amplitudi) valittiin 3 mm.

Aikaisemmin luvussa 7.1 mainittiin, että putkien hitsaamisessa syntyi ongelmia, koska polttimen työkalupiste oli määritetty väärin. Poltin vaihdettiin uuteen ja työkalupiste määritettiin oikeaksi. Putkien paikoittamisessa esiintyi myös pientä vaihtelua joka näkyi toisinaan hitsaussaumojen laadussa. Tästä syystä saumojen liikekomento muutettiin levittäväksi ympyräliikkeeksi (MOVECW).

8 KUSTANNUSLASKELMA

Kustannuslaskelma on tehty opinnäytetyössä suunnitellulle CPS-color:n purkkipöydän rungolle.

Suunnitteluun kului ylivoimaisesti eniten aikaa ja siksi hitsauskiinnittimen kuluista noin 80 % muodostui suunnittelutyöstä. Toisaalta, kun suunnittelu ja valmistelu tehdään riittävän hyvin ja huolellisesti, säästetään aikaa esimerkiksi laser-leikattujen osien ohjelmointityössä sekä kiinnittimen kokoonpanovaiheessa.

Materiaalien osuus oli noin 7 %. Lähes kaikki materiaalit olivat ohutlevyjä. Pieni osa oli putkiprofiileja sekä pyörötankoja.

Osien valmistaminen sisältäen laser-leikkauksen, levyjen särmäämisen, koneistuksen sekä hitsaamisen osuus kokonaissummasta oli noin 13 %.

Johtopäätöksenä voidaan vetää, että yksittäiskappaleena hitsauskiinnitin ja muut niin sanotut prototyypituotteet maksavat aina paljon johtuen suunnittelutyöstä. Jos jatkossa hitsausrobotille tehdään toinen hitsauskiinnitin, voidaan kustannuksissa ottaa huomioon ainoastaan materiaalit ja valmistaminen.

9 TAVOITTEIDEN TÄYTTYMINEN

9.1 Hitsausaikojen vertailu

Vertailussa vertaillaan grillin hitsauksen kokonaisaikaa vanhassa Motoman:n hitsausasemassa sekä uudessa Panasonic:n hitsausasemassa. Vanhassa hitsausasemassa grillien hitsausta ei kuitenkaan suoritettu kokonaan robotisoidusti vaan viimeinen vaihe jouduttiin aina hitsaamaan käsin. Panasonic:ssa koko grilli valmistuu kerralla ilman käsin hitsausta.

Taulukko 3. Hitsausaikojen vertailua

Hitsausaikojen vertailu				
	Grillien lkm [kpl]	Robotin hitsausaika [min]	Käsinhitsausaika, 1 grilli [min]	Kokonaisaika, 1 grilli [min]
Motoman ERC (t1)	3	15	4	9
Panasonic TA-1800 (t2)	2	7	-	3,5
Ajansäästö [%]				61,1

Ajansäästö vuositasolla			
Grillit [kpl]	t1 [h]	t2 [h]	t1-t2 [h]
100	15,0	5,8	9,2
500	75,0	29,2	45,8
1000	150,0	58,3	91,7

Taulukosta 3 nähdään kuinka paljon tehokkaammin uudella robotilla valmistuu grillejä. Ajansäästö 1000 kpl sarjalla on hieman yli kaksi viikkoa työviikon pituuden ollessa 40 h/vk. Pitää kuitenkin muistaa, että grillien valmistamiseen menee robottiasemalla vielä enemmän aikaa, kun huomioidaan osien asetusajat hitsauskiinnittimiin.

9.2 Laatu

Laatu parani merkittävästi koko grillin hitsauksessa. Laatu merkitsi sitä, että hitsausaumat olivat ulkonäöllisesti tasaisempia, roiskeettomampia eikä reikiä palanut enää läpi. Tämä merkitsee sitä, että grillit ovat robottihitsauksen jälkeen valmiita eikä niitä tarvitse manuaalisesti enää korjata.

10 LOPPUTULOKSET JA PÄÄTELMÄT

10.1 Tavoitteiden täytyminen

Purkkipöydän hitsauskiinnittimen suunnittelussa saavutettiin kaikki tavoitteet. Tällä hetkellä hitsauskiinnitin on varastoon sijoitettuna tulevaisuutta varten.

Hitsausaseman käyttöönotto onnistui vaikkakin ongelmia oli paljon. Kuitenkin opin-
näytetyönä tehtävä oli mielenkiintoinen, haastava ja opettava. Opinnäytetyön aikana
robotille koulutettiin työntekijä käyttämään robottia. Tällä hetkellä robotilla hitsataan
kokopäiväisesti grillejä ja menekki on kasvamassa.

Robotin ohjelmoinnilla kokonaishitsausaika saatiin suhteellisen lyhyeksi ja hitsaus-
laatu hyväksi.

10.2 Loppusanat

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli laaja ja mielenkiintoinen. Työssä pääsi sovel-
tamaan monia Konetekniikan koulutusohjelman oppeja. Käytännönosuus oli myös
erittäin opettavainen. Jatkossa on helpompi suunnitella hitsauskiinnittimiä, koska
opinnäytetyön hitsauskiinnitin oli haastava ja työssä kohtasi myös ongelmakohtia.
Robotin ohjelmoimisessa on myös helpompaa siirtyä eteenpäin.

LÄHTEET

Arc welding robot controller operating instructions (2007).

Craig, J. (1989). Introduction to robotics mechanics and control (2nd ed.). United States of America: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Hoffman, G. E. (Ed.). (2004). Jig and fixture design (5.th ed.). Clifton Park, NY 12065 USA: Delmar.

Kalervo Leino, I. M. (1987). Hitsauskiinnittimen suunnittelu. (Tekninen tiedotus No. 15). Eteläranta 10, 00130 Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M., & Sumujärvi, M. (2007). Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat (1.th ed.). Helsinki: WSOY.

Lehtinen, H. (2010). Robotit Suomen Automaatioseura ry.

Lukkari, J. (1997). Hitsaustekniikka perusteet ja kaarihitsaus (3.th ed.). Helsinki: Opetushallitus.

Panasonic älykkäät hitsausrobottijärjestelmät. (2012). Retrieved Maaliskuu 1, 2013, from <http://www.cncfinland.fi/>

SFS-EN ISO 8373: 1994 teollisuusrobotit. sanasto [Manipulating Industrial Robots. Vocabulary (ISO 8373:1994)]

Teach pendant for standard arc welding industrial Robots Operating instructions (2007).

Tervola, J. (2002). Malli on jigin perusta. 55, 9(MetalliTekniikka), 32-33.

Uniikki tuote. (2013). Retrieved, 2013, from <http://www.zenrobotics.com/fi/product/>