

■ TEKNIikka JA LIIKENNE

HITSAUSKIINNITIN VAI JOUSTAVA HITSAUSKIINNITIN

HITSAUKSEN LAADUNHALLINTA JA KIINNITINTEKNIikka (HIKI) PROJEKTIN
LOPPURAPORTTI

TOIMITTANEET: Kari Solehmainen, Aku Tuunainen, Miika Räsänen ja Esa Jääskeläinen

HITSAUSKIINNITIN VAI JOUSTAVA HITSAUSKIINNITIN

Hitsauksen laadunhallinta ja kiinnitintekniikka
(HiKi) projektin loppuraportti

Kari Solehmainen
Aku Tuunainen
Miika Räsänen
Esa Jääskeläinen

Savonia-ammattikorkeakoulu
Julkaisutoiminta
PL 6 (Microkatu 1 B)
70201 KUOPIO
p. 044 785 5023
f. 017 255 5014
julkaisut@savonia.fi
www.savonia.fi/julkaisut

Copyright © 2016 tekijät ja Savonia-ammattikorkeakoulu

1. painos

Tämän teoksen kopioiminen on tekijänoikeuslain (404/61) ja tekijänoikeusasetuksen (574/95) mukaisesti kielletty lukuun ottamatta Suomen valtion ja Kopiosto ry:n tekemässä sopimuksessa tarkemmin määritellyä osittaista kopiointia opetustarkoituksiin. Teoksen muunlainen kopiointi tai tallentaminen digitaaliseen muotoon on ehdottomasti kielletty. Teoksen tai sen osan digitaalinen kopioiminen tai muuntelu on ehdottomasti kielletty.

ISBN: 978-952-203-226-3 (PDF)

ISSN-L: 2242-7015

ISSN: 2242-7015

Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D4/4/2016

Kustantaja: Savonia-ammattikorkeakoulu, HiKi-projekti

Taitto: Tapio Aalto

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	4
2 HIKI-PROJEKTI	5
3 HITSAUKSESSA KÄYTETTÄVÄT KIINNITTIMET	7
3.1 Kiinnittimien suunnittelu	8
4 KIINNITINSUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAA	13
4.1 Lämpö ja muodonmuutokset	13
4.2 Mitoitus, paikoitus ja käsittely	16
4.3 Materiaalivalinta ja kiinnityselementit	20
4.4 Suunnitelmien tarkastus ja kiinnittimien käyttöönotto	22
5 JOUSTAVAT HITSAUSKIINNITTIMET	24
5.1 Modulaariset kiinnittimet	24
5.2 Magneetikiinnittimet	26
5.3 Muita joustavia kiinnitystapoja	28
6 ESIMERKKEJÄ TOTEUTETUISTA KIINNITINPROJEKTEISTA	31
6.1 Soralavan kokoonpano ja hitsauskiinnitin	31
6.1.1 Investointilaskelma lavatuotannon robotisoinnista	36
6.2 Telin osakokoonpanojen ja pääkokoonpanon kiinnitin	37
6.3 Telipankon hitsauskiinnitin	39
6.4 Sylinterin koteloiden hitsauskiinnitin	41
6.5 Rullaston runkojen hitsauksen uudelleen suunnittelu	44
6.6 Ixtur-magneetit hitsauskiinnittiminä	47
6.7 Kiinnittimen mittaussuunnitelman laadinta	51
7 YHTEENVETO	54
8 LÄHTEET	56

1. JOHDANTO

Hitsauksessa käytettävillä kiinnittimillä tarkoitetaan apulaitteita, jotka helpottavat ja vakioivat hitsausta ja siihen liittyviä toimenpiteitä. Piensarjatuotannossa kiinnittimiltä haetaan joustavuutta ja kustannustehokkuutta. Pidemmissä sarjoissa kiinnittimen kestävyys nousee suurempaan rooliin. Kiinnittimien tulee olla helppokäyttöisiä ja tuoda kustannussäästöjä mm. tuotannon laadun ja tehokkuuden parantuessa.

Kiinnittimien suunnitteluun liittyy lukuisia haasteita. Pahimmillaan hitsattu kappale ei irtoa kiinnittimestä ilman kohtuutonta voimankäyttöä tai kiinnittimen rikkomista. Usein tähän ovat syynä hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset, joita ei ole riittävästi huomioitu kiinnityssuuntaa tai -tapoja valittaessa. Huonosti suunniteltu kiinnitin voi jopa estää hitsauksen, jos se jää liitosten eteen. Valittavan usein käytetään myös ns. protokiinnittimiä, jotka on koottu kiireellä ylijäämäpaloista tarkoituksena hitsata vain yksi koesarja. Sarjan toistuessa sama huonosti tehtävään soveltuva tilapäinen kiinnitin on kuitenkin usein edelleen käytössä.

Tähän loppuraporttiin on koottu hitsauksen laadunhallinta ja kiinnitintekniikka (HiKi) hankkeessa kerättyjä kokemuksia, ajatuksia sekä eri lähteissä koostettua tietoa. Aiheen ympärillä tehdyn tutkimus- ja kehitystyön mahdollisti Pohjois-Savon Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskuksen (ELY) myöntämä hankerahoitus. Tavoitteena oli saada hitsaavassa tuotannossa työskenteleville uusia ajatuksia kehittää omaa työtään, sekä antaa kiinnitinsuunnittelijoille ja muille asiasta kiinnostuneille tiivis tietopaketti kiinnitinsuunnitteluun.

2. HIKI-PROJEKTI

Pohjois-Savon teknologiateollisuus pohjautuu vahvasti vientivetoiseen hyötyajoneuvoteollisuuteen ja sen toimitusverkostoihin. Viime aikoina teollisuuden kilpailukykyä on Savonia-ammattikorkeakoulussa tutkittu ja kehitetty useissa projekteissa. Niissä on keskitytty mm. parantamaan toimitusverkostojen tuottavuutta sekä kehittämään tuotteiden valmistettavuutta. Näissä teemoissa on silti vielä paljon tehtävää. Yksi näistä projekteista oli vuoden 2014 alussa päättynyt HitNetWork projekti, jossa keskityttiin hitsaavan verkoston toimintojen tehostamiseen ja laadun parantamiseen. Projektin aikana nousi esiin yhtenä selkeänä kehityskohteena hitsauksen kiinnitintekniikka. Tämä antoi lähtösäyksen HiKi –projektin suunnitteluun.

Kiinnitintekniikka on luonteva osa tuotannon suunnittelua, erityisesti kun tuotanto on siirretty alihankkijaverkostoon. Alihankkijoina toimivilla PK-yrityksillä ei kuitenkaan aina ole tähän tarvittavia resursseja käytettävissään. Kiinnitinsuunnittelu on myös hankala ulkoistaa, sillä hyvän toimivan kiinnittimen suunnittelussa on olennaisen tärkeä ymmärtää tuotannon asettamat mahdollisuudet ja rajoitukset. Lisäksi hitsauskiinnittimiin ja niiden suunnitteluun liittyvää kirjallisuutta on saatavilla erittäin vähän. Osin tästä syystä projektille asetettiin yhdeksi tavoitteeksi kiinnitinsuunnittelua koskevan julkaisun tekeminen.

Projektille haettiin rahoitusta Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselta (ELY). Kyseessä oli Euroopan sosiaalirahaston (ESR) osittain rahoittama projekti ja se oli runsaan vuoden mittainen (1.1.2014 – 31.3.2015). Projektin toiminnassa oli mukana pohjois-savolaisia hitsaavia yrityksiä sekä kaksi alueella toimivaa ammatillista toisen asteen oppilaitosta. Raportin loppupuolella esitettyihin käytännön kokeisiin haettiin tuotteet mukana olleista yrityksistä.

Projektin päätavoite oli kehittää ja parantaa Pohjois-Savolaisen hitsaavan teollisuuden osaamista hitsauskiinnittimistä sekä kehittää kilpailukykyisiä toimintatapoja tehostamalla kiinnitinsuunnittelua ja valmistusta. Yhdeksi tavoitteeksi asetettiin mahdollisimman kustannustehokkaiden kiinnitinratkaisujen kehittäminen, myös pieninä määrinä valmistettaville tuotteille, joissa kiinnittimiin sitoutuva pääoma, on voinut olla este kiinnittimen käytölle.

Projekti koostui alan kirjallisuuteen perehtymisestä, erilaisista simulointi- ja mallinnusohjelmilla tehdyistä suunnitelmista ja virtuaalites-
tauksista sekä tuotanto- että laboratorioympäristöissä tehdyistä tes-
tauksista. Hanke toteutettiin yhteistyössä mukana olleiden yritys- ja
oppilaitoskumppaneiden kanssa.

3. HITSAUKSESSA KÄYTETTÄVÄT KIINNITTIMET

Etenkään pienissä yrityksissä ei kiinnittimiä aina suunnitella, vaan hitsaajat tekevät tuotteen kokoonpanoa helpottavia kiinnitin/tulkkauksratkaisuja oman kokemuksensa ja mieltymystensä pohjalta. Kiinnitinkustannukset saattavat olla toimivia, mutta harvoin loppuun saakka mietittyjä. Kiinnittimen dokumentaation puuttuessa, sitä eivät todennäköisesti osaa tai edes tiedä käyttää muut kuin sen tehnyt hitsari. Hitsauskiinnittimillä on kuitenkin merkittävä rooli hitsauksen laadunhallinnassa. Mikäli yrityksessä on käytössä robotisoitu hitsaus, kiinnittimien käyttö nousee entistä merkittävämpään rooliin, niin tuotannon laadun kuin kustannustehokkuuden mielessä. Kiinnittimien käytön kannattavuutta voidaan arvioida vertaamalla kiinnitinkustannusten suhdetta työ kustannuksissa saavutettavaan säästöön, mutta kokonaisuuden arvioinnissa myös työergonomia ja -turvallisuusasiat tulee ottaa huomioon.

Merkittävä osuus kiinnitinkustannuksista muodostuu sen suunnitteluun ja valmistukseen sitoutuvasta pääomasta. Tämän lisäksi kiinnitinkustannuksia lisää sen varastointi, huolto ja muu ylläpito. Kiinnittimen käytettävyyteen ja toimivuuteen suunnittelulla on ratkaiseva rooli, joten siihen täytyy panostaa. Hyvällä suunnittelulla voidaan myös merkittävästi vaikuttaa muihin kiinnitinkustannuksiin. Pystyäkseen suunnittelemaan laadukkaita kiinnittimiä tulee suunnittelijalla olla kokemusta hitsattujen tuotteiden valmistusprosesseista. Vaikka osaamista olisikin, kiinnitinsuunnittelu on aikaa vievää työtä. Kiinnittimen suunnittelun ja valmistuksen osuus on jopa 7% hitsaavan konepajan kustannuksista [American Welding Society and Edison Welding Institute, 2001].

Käytettävät kiinnitinkokonaisuudet voidaan jakaa toimintansa perusteella karkeasti kahteen eri kategoriaan, silloituskiinnittimiin ja hitsauskiinnittimiin. Silloituskiinnitin on apuväline, jolla voidaan mm. nopeuttaa tuotteen kokoonpanoa, varmistaa mittatarkkuus ja estää tuotteen vääränlainen kokoaminen ennen hitsausta. Silloituskiinnitin on yleensä rakenteeltaan kevyempi kuin hitsauskiinnitin, koska silloituksessa tuotteeseen ei synny niin suuria hitsausmuodonmuutoksia ja jännityksiä kuin hitsauksessa. Tosin silloituskiinnittimellä voidaan myös joutua pakottamaan osia, niiden valmistustoleranssia tarkempaan muotoon, laadukkaam hitsauksen mahdollistamiseksi.

Hitsauskiinnittimen tärkein tehtävä on pitää hitsattavat osat oikeassa asemassa toisiinsa nähden ja parantaa työturvallisuutta koko hitsauksen ajan [Leino K., Meuronen I., 1987]. Hitsauskiinnitin mahdollistaa tuotteen luotettavan kiinnityksen käsittelylaitteeseen tai hitsauspöytään. Luotettava ja vakioidusti toistettava kiinnitys vaikuttaa suoraan hitsauksen ergonomiaan ja työturvallisuuteen sekä mahdollistaa hitsauksen mekanisoinnin ja automatisoinnin.

Hitsattujen tuotteiden valmistustoleranssit ovat usein väljemmät kuin laadukkaan hitsauksen asettamat vaatimukset. Tämä tulee vastaan viimeistään siinä vaiheessa kun hitsaus automatisoidaan. Standardissa SFS-EN ISO 13920 on määritetty hitsattuja rakenteita koskevat yleis-toleranssit. Standardi tuntee neljä tarkkuusluokkaa A, B, C ja D, joista tarkimmassakin A-luokassa pituusvaihtelua sallitaan vähintään ± 1 mm. Hitsauksen kohdistukseen, ei yleensä voida sallia näin suurta mittavaihtelua laadukkaan lopputuloksen kannalta. Joillakin hitsausprosesseilla, kuten laserhitsauksessa, hitsin kohdistuksen poikkeama voi olla vain $\pm 0,1$ mm. Tämä problematiikka tuo lisähaastetta kiinnittimen suunnittelulle.

3.1. Kiinnittimien suunnittelu

Lähtökohtaisesti kiinnitinsuunnittelun osaaminen on riippuvainen suunnittelijan valmistavan tuotannon kokemuksesta, ilman riittävää tuntemusta tuotannosta on hyvin vaikea suunnitella laadukkaita kiinnittimiä. Toisaalta kokeneelle tuotannon asiantuntijalle suunnittelutyö voi osoittautua pitkän päälle ikävystyttäväksi. Ellei suunnittelu ole jatkuvaa, ei myöskään suunnittelutyökalujen käyttöruutiini ja sitä kautta työn tehokkuus yllä suunnitteluun erikoistuneiden henkilöiden tasolle. Tilanne saattaa johtaa vaikeasti ratkaistavaan ongelmaan.

Suunnitteluun on saatavissa hyvin kehittyneitä CAD/CAM -ohjelmistoja, joissa on myös kiinnitinsuunnittelun tarpeisiin tehtyjä ominaisuuksia. Suurin osa sovelluksista on kuitenkin kehitetty työstettävien kappaleiden kiinnitinsuunnitteluun. Tehokkaaseen hitsauskiinnitinsuunnitteluun räätälöityjä ohjelmistoja on huomattavasti vähemmän. Hyvälläkään suunnitteluohjelmalla on hyvin vaikea ohjata suunnittelijan työtä oikeisiin kiinnitinratkaisuihin. Tällä alueella onkin vielä paljon kehityspotentiaalia ja asiaa tutkitaan mm. tapauskohtaisen päättelyn metodiikan (case-based reasoning method, CBR), erilaisten

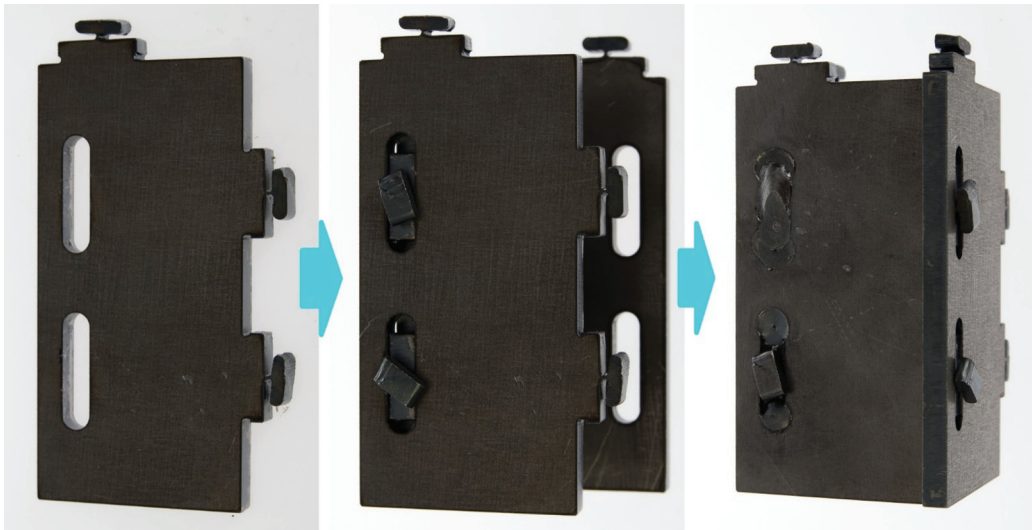
heurististen ja tiedon louhintaan (Big Data) perustuvien menetelmien soveltamiseksi tietokoneavusteiseen kiinnitinsuunnitteluun (Computer aided fixture design, CAFD). [Wang H., Rong Y., 2008; Wang H., Rong Y., 2010; Xiong L., Molfino R., Zoppi M., 2013]

Kuvassa 3.1.1 on esitetty yksi hyväksi todettu tapa edetä kiinnitinsuunnittelussa. Kuvassa on sovellettu hitsauksen kiinnitinsuunnitteluun mm. Hui Wangin [Wang H., Rong Y., 2008; Wang H., Rong Y., 2010] käyttämää kiinnitinsuunnittelun vaiheistuksen mallia. Parhaimmillaan kiinnitinsuunnittelu alkaa siinä vaiheessa kun tuotesuunnittelu on vielä menossa, jolloin takaisinkytkentä myös tuotesuunnitteluun on helpommin toteutettavissa. Tätä takaisinkytkentää tuotekuviin ja sitä kautta tuotesuunnitteluun on kuvattu kaksisuuntaisilla nuolilla.



Kuva 3.1.1. Hitsauskiinnitinsuunnittelun vaiheet.

Mikäli tuotekuviin on mahdollisuus päästä vaikuttamaan, valitettavasti tämä ei ole itsestäänselvyys, on suunnittelun pohjatietojen määrittelyvaiheessa syytä pohtia, miten tuotetta kehittämällä, kiinnittimestä saataisiin mahdollisimman yksinkertainen. Yksinkertainen ratkaisu voi löytyä suunnittelemalla tuotteen osia itsestään paikoittaviksi. Tällöin silloitusvaiheen kiinnitintä ei ehkä tarvita ollenkaan. Etenkin laserleikkeisiin on työmenetelmän tarkkuuden ansiosta mahdollista lisätä paikoittavia ja lukittavia muotoja. Näistä esimerkkinä kuvassa 3.1.2 näkyy Twist-tab -tekniikan periaate, jolla voidaan toteuttaa sekä paikoitus- että lukitustehtävä kokoonpanon yhteydessä. Tarkkoja paikoittavia tai muuten hitsausta helpottavia muotoja, esimerkiksi juuritukia, voi olla mahdollista lisätä myös mm. koneistettaviin osiin.

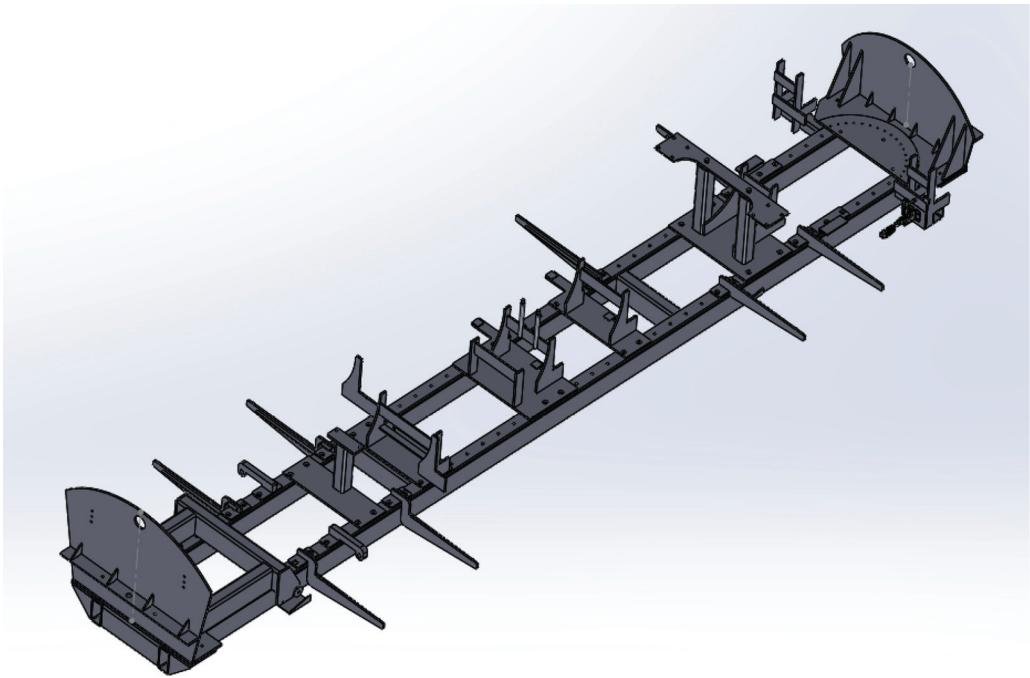


Kuva 3.1.2. Twist-tab paikoitusliitoksen periaate.

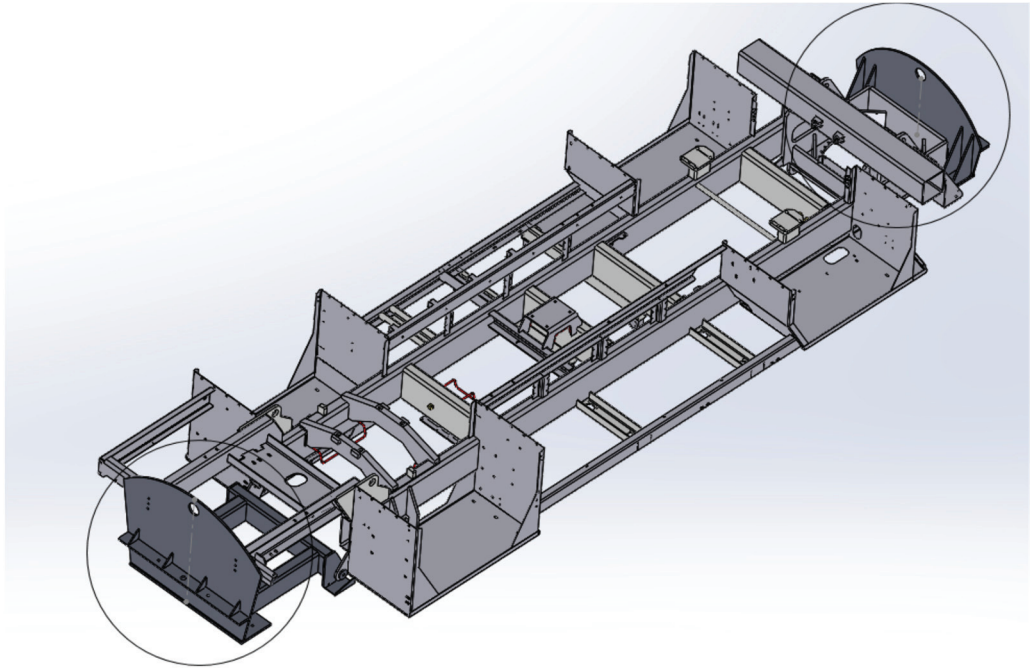
Yksi pohdittavista kysymyksistä on, onko tarpeellista tehdä erikseen silloituskiinnitin ja hitsauskiinnitin, vai pysyykö yksi kiinnitin hoitamaan molemmat tehtävät. Tämä on myös työvaiheistuksen kannalta merkittävä kysymys. Usein paikoitettavien osien määrä ja hitsien sijoittelu antavat vastauksen kysymykseen, sillä kiinnittimen rakenteet eivät saa estää tai liiaksi hankaloittaa hitsausta.

Yksi vaihtoehto on tehdä yhdistelmäkiinnitin, jossa silloituksessa tarvittava osa kiinnittimestä irrotetaan ennen hitsausta. Kuvassa 3.1.3 on pitkien runkopalkkien ympärille rakennettu yhdistelmäkiinnitin, josta silloitusvaiheen jälkeen irrotetaan silloituksessa tarvittava runko-

osuus. Tuote on silloituksen jälkeen itsekantava ja kiinnittimen päätyosilla tuote voidaan kiinnittää käsittelypöytään. Kuvassa 3.1.4 ympäröidyt kiinnitinosat ovat hitsausvaiheessa tuotteessa kiinni. Tällä tavoin tarkasti toistettava ja luotettava kiinnitys hitsausvaiheen käsittelylaitteeseen saadaan toteutettua. Ratkaisun etuja erillisiin kiinnittimiin nähden on mm. helposti vakioitavissa olevat nostopisteet. Yhdet hitsausvaiheen osat voidaan hyödyntää useiden silloitusvaiheen osien kanssa, tällä saavutetaan kustannussäästöä. Lisäksi paikoituksen siirto on sekä nopea että tarkka siirryttäessä silloituksesta hitsaustyövaiheeseen. Kuvien 3.1.3 ja 3.1.4 esimerkkitapauksessa silloitusrungon irrotukseen riittää muutaman pultin aukaisu.



Kuva 3.1.3. Yhdistelmäkiinnitin, josta silloituksessa tarvittava runko-osuus irrotetaan silloitusvaiheen jälkeen [HitNet loppuraportti].



Kuva 3.1.4. Hitsausvaiheen kiinnitinosat ympyröitynä, joilla tuote kiinnitetään käsittelypöytään [HitNet loppuraportti].

4. KIINNITINSUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAA

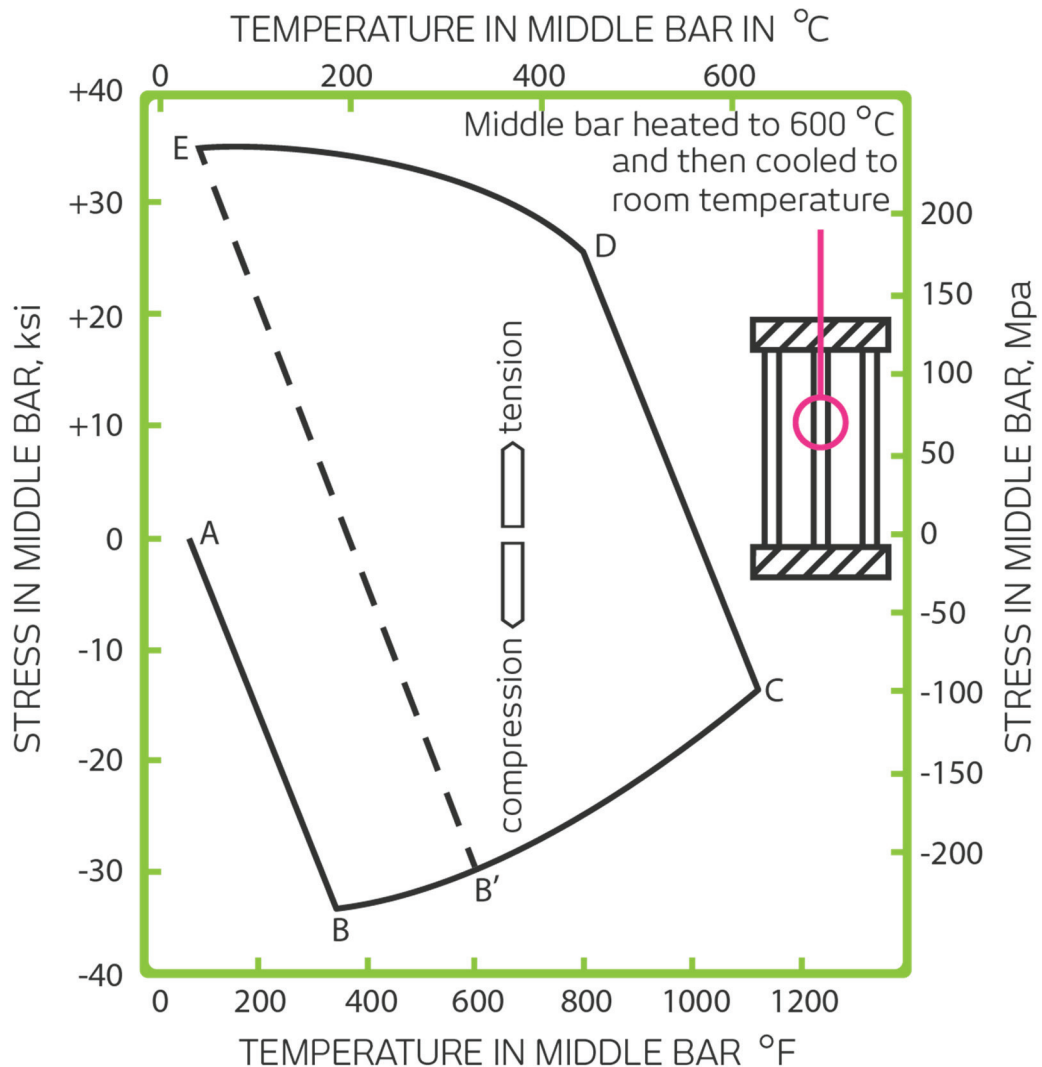
Tässä esitelty, kiinnittimien suunnittelussa huomioitaviin asioihin liittyvä ohjeistus, on koottu eri lähteistä sekä useiden kiinnitinsuunnitteluprojektien kautta syntyneiden kokemusten perusteella. Suunnittelun pohjatietojen määrittely on tehtävä huolella, muutoin suunnittelutyö helposti keskeytyy tai tehdään vääriä olettamuksia. Kiinnittimen toiminnalliseen suunnitteluun kannattaa käyttää aikaa ja tehdä luonnoksia eri vaihtoehtoista. Mikäli mahdollista, luonnosten arviointia on syytä tehdä ryhmässä, johon kuuluisi mukaan myös tuotteen hitsaajia. Kokonaistavoitteena on saada toimivimmat ideat vietyä yksityiskohdian suunnitteluvaiheeseen, sekä löytää paras kompromissi eri intressien ja tuotevaatimusten välille.

4.1. Lämpö ja muodonmuutokset

Kiinnittimeen syntyy voimia hitsattavan tuotteen painon ohella hitsauksen lämpösyklin aiheuttamista muodonmuutoksista. Tuotteen paino on usein tunnettu ja siten sen aiheuttama kuormavaikutus on suhteellisen helposti laskettavissa, mutta muodonmuutosten ennakointi on huomattavasti vaikeampaa. Etenkin hitsattavan tuotteen, mutta myös kiinnitinsuunnittelun kannalta parasta olisi, jos hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset pääsisivät tapahtumaan vapaasti. Tällöin tuotteen jäännösjännitykset ovat paikallisempia ja kiinnittimeen kohdistuva kuormitus pienempää. Hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset on huomioitava silloitusvaiheen ennakoina ja osien mahdollisina koneistusvaroina. Aina näin ei valitettavasti voida toimia. Ennakoita ei ole mahdollista vakioida tai muutoin toteuttaa tai tuotteen osien mitat, valmistustoleransseista johtuen, voivat vaihdella niin paljon, ettei riittävän laadukkaaseen lopputulokseen päästä, ilman muodonmuutoksia rajoittavaa kiinnitinratkaisua.

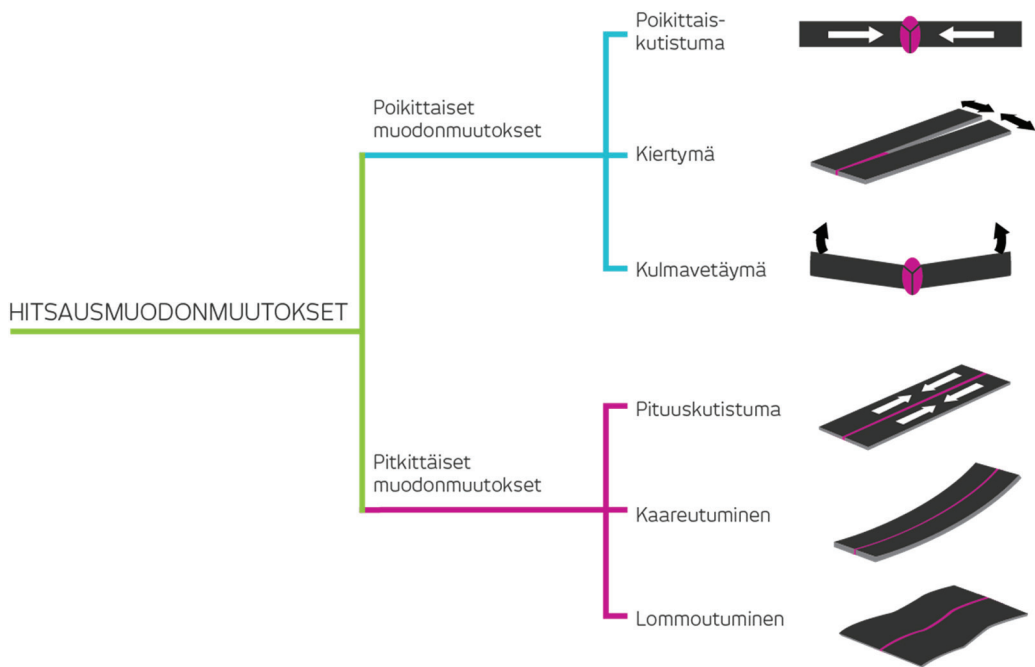
Kuvassa 4.1.1 on esitetty hitsauksen aiheuttaman muodonmuutoksen syntymekanismi. Tarkasteltavana on päistään kiinteästi tuettu tanko jota lämmitetään (hitsataan) keskeltä. Lähtötilanne on kuvattu kohtana A, jolloin tanko on nollajännitystilassa. Hitsaus aiheuttaa lähes pistemäisen lämpökuorman, josta seuraa tarkastelukohdan voimakas paikallinen lämpeneminen ja puristusjännitystila (B). Jännityksen kasvaessa yli materiaalin myötörajan, tapahtuu plastista muodonmuutosta aina siihen saakka kunnes lämpötila saavuttaa huippunsa (C). Jäähty-

misen myötä, puristusjännitys muuttuu materiaalin kutistumisen takia vetojännitykseksi. Jäähdytymisen edelleen jatkuessa saavutetaan materiaalin myötöraja, mutta tällä kertaa vetojännitystilassa (D). Lämpötilan tasaantuessa, jää tarkastelukohtaan materiaalin myötörajaa vastaavan jännityksen suuruinen vetojännitystilassa (E). Tarkastelukohtassa esiintyvä vetojännitystilassa pyrkii vetämään tuotetta kokoon, joka havaitaan ympäröivässä rakenteessa muodonmuutoksena.



Kuva 4.1.1. Hitsauksen aiheuttama lämpö- ja jännityssykli hitsattavalle materiaalille.

Hitsausmuodonmuutokset yleisesti esitetään kuvassa 4.1.2 esitetyllä tavalla komponentteina, joiden yhteisvaikutuksen huomioiminen on hyvin olennainen osa kiinnitinsuunnittelua. Muodonmuutoksia voidaan ja usein joudutaankin estämään kiinnittimen avulla. Muodonmuutosten ehkäisyssä on kuitenkin hyvä muistaa, että jäykimmälläkin kiinnittimellä voidaan estää vain hitsattavan tuotteen plastista muodonmuutosta. Kiinnittimellä voidaan myös pakottaa osia haluttuun muotoon ja asentoon. Tämä voi olla tarpeen esimerkiksi särmätyjen levyosien mitta- ja muotopoikkeamien minimoinnissa. Edellä mainituissa tapauksissa kiinnittimen pitää olla huomattavasti jäykempi kuin hitsattava tuote, jonka kääntöpuolena on kiinnittimeen sitoutuva pääoma. Mitä massiivisempi kiinnitin, sen kalliimpi se todennäköisesti on.



Kuva 4.1.2. Hitsauksen aiheuttamien muodonmuutosten jako eri komponenteiksi.

Hitsien oikealla mitoituksella, oikean hitsausjärjestyksen lisäksi, voidaan vaikuttaa muodonmuutosten määrään. Usein vain todelliset voimaliitokset kannattaa mitoittaa tasalujiksi ympäröivän rakenteen kanssa. Kiinnityслиitoksia ei kannata ylimitoittaa, sillä hitsin mitan määräävä tekijä on hitsiin kohdistuva leikkausvoima. Hitsin tehtävä on estää rakenneosia liukumasta toistensa suhteen. Tähän riittää usein

katkoihitsi tai voimaliitosta huomattavasti pienempi jatkuva hitsi. Sideliihtokseksi kutsutaan liitosta, jonka tehtävänä on sitoa rinnakkaisia osia toisiinsa, niin että osien erillinen nurjahdusilmiö estyy. Tähän ei tarvita tasalujaa liitosta. Vastaavasti varusteluhitseiksi kutsutaan liitoksia, jotka eivät osallistu varsinaisen rakenteen toimintaan, vaan tarve tulee erilaisten varusteluosien kiinnityksestä. Varusteluhitsin mitoituksen perusteena, voi usein olla lämmöntuonnin minimiarvo. Dynaamisesti kuormitetuissa rakenteissa sideliitokset ja etenkin varusteluhitsit vaativat lisätarkastelun, jolla varmennetaan, etteivät hitsit, esimerkiksi väärän sijoittelun takia, tahattomasti heikennetä rakenteen lujuutta. (Kemppi J., 2008)

Hitsauksen tuottamasta lämmöstä osa siirtyy myös kiinnittimeen. Kiinnitin voi lämpenemisen seurauksena muuttaa muotoaan. Tämän tyyppiset ongelmat ilmenevät selvimmin sarjatyössä. Aamuvuoron alkaessa kaikki on hyvin, mutta jossain vaiheessa päivää alkaa tuotteiden mittapoikkeamia esiintyä. Kevytrakenteinen kiinnitin lämpenee nopeammin, joten usein sarjatuotantoon tehtävät kiinnittimet tulee mitoittaa massiivisemmiksi. Massiivisuus usein lisää myös kiinnittimen käsittelynkestävyyttä ja jatkaa näin sen käyttöikä. Tarvittaessa kiinnittimeen voidaan suunnitella myös jäähdytettäviä vastinpintoja. Myös materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa lämmön- ja kulutuksen kestoon. Metalliset paikotusnastat voidaan korvata keraamisella rakenteella. Hitsauksen lämpösäteilyn ohella kuumenemista voi esiintyä myös hitsausvirran kulkuväylissä. Lämpeneminen keskittyy niihin kohtiin, joissa on suurin sähköinen vastus. Maadoituksen huolellisella suunnittelulla, voidaan siis vaikuttaa valokaaren vakauden lisäksi myös kiinnittimen lämpenemiseen.

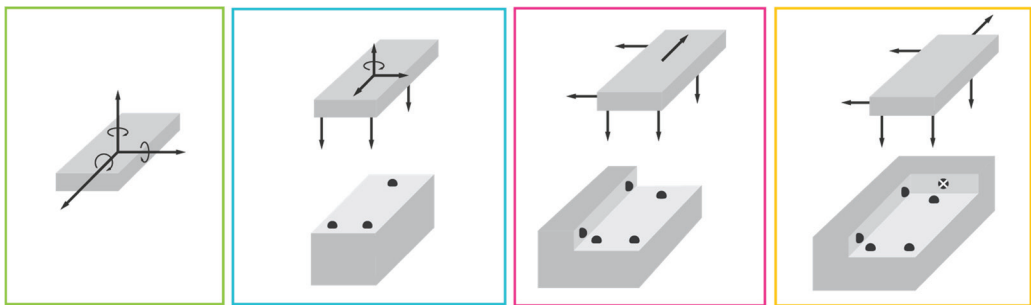
4.2. Mitoitus, paikoitus ja käsittely

Mitoituksen perustana ei kannata käyttää suoraan valmista tuotetta, ainakaan ilman kiinnittimen säätömahdollisuuksia, sillä hitsauksen aiheuttamia muodonmuutoksia voidaan minimoida ennakoiden avulla. Kiinnittimen kantavat ja ohjaavat tukipinnat tulee valita siten, että tuotteen toiminnalliset mitat toteutuvat. Hyvällä kiinnitinsuunnittelulla voidaan myös vähentää liitosten railotilavuuden vaihtelua. Optimaalinen railo vähentää hitsauksen aiheuttamia muodonmuutoksia ja parantaa hitsien laatua sekä hitsauksen automatisoitavuutta. Jos tuote koostuu osakokoonpanoista, pitää kiinnitinsuunnittelussa huomioida

näiden osakokoonpanojen väliset rajapinnat ja pyrkiä minimoimaan niihin kohdistuvaa mittavaihtelua.

Muodonmuutoksia ja muita kuormituksia huomioitaessa, tulee suurimpien voimien kohdistua kiinteitä vasteita päin. Muutoin kiinnityselementit voivat vaurioitua, aueta kesken hitsauksen tai tuote voi lukittua kiinnittimeen. Kaikissa vastinpinnoissa tulisi suosia piste- ja viivamaisia muotoja, niiden helpomman säädettävyyden ja paremman puhtaana pidettävyyden takia. Vastinpintojen mitoituksessa tulee toki huomioida niihin kohdistuva pintapaine. Liian pieni vastinpinta voi vaurioittaa tuotteen pintaa, jonka lisäksi tuote voi jumiutua kiinnittimeen ja kiinnitin kuluu nopeasti.

Paikoittamisessa (asemoinnissa) on olemassa joitakin yksinkertaisia sääntöjä. Kun tuentaa suunnitellaan, sijoitetaan suurin määrä tukipisteitä suurimmalle paikoittavalle pinnalle. Paikoittavan tason määrittämiseen tarvitaan vähintään kolme tukipistettä. Linjauksella sidotaan orientaatio. Tähän tarvitaan vähintään kaksi tuentapistettä. Lopullisen paikan sitomiseen riittää yksikin tuentapiste. Tästä asemointiperiaatteesta käytetään nimitystä 3-2-1 sääntö, jota on havainnollistettu kuvassa 4.2.1.



Kuva 4.2.1. Tuennan suunnittelu hyödyntäen 3-2-1 sääntöä.

Kuvan 4.2.1 tuentaperiaate toimii mainiosti kun tuettava kappale on itsessään jäykkä. Joustaville kappaleille, kuten ohutlevyille, 3-2-1 tuenta ei ole lähtökohtaisesti riittävä muodonmuutosten hallintaan. Ratkaisuksi suunnitellaan usein tuotteen muotoja mukaileva, riittävän jäykkä kiinnitin, mutta kiinnittimestä tulee näin tehtynä huomattavan kallis, etenkin tuotteen ollessa suuri. Ongelmaan voidaan hakea ratkaisua joustavasta kiinnitintekniikasta, kuten kappaleessa 5.3. esitetyn SwarmItFIX kiinnitystekniikan yhdistämistä N-2-1-1 tuentaan. N-2-1-

1 tuennan ideana on käyttää kappaleen normaalin (N) suunnassa olevia, työkierron mukana siirretyviä tuentapisteitä. [Xiong L., Molfino R., Zoppi M., 2013]

Pyöreät reiät voivat olla hyvin käyttökelpoisia paikoituskohtia, sillä kahdella reiällä voidaan korvata kolme ulkopuolista tukipistettä. Tuennassa on kuitenkin huomioitava hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset. Muodonmuutosten ollessa merkittäviä, tuote herkästi lukittuu tuentareistä kiinnittimeen. Paikoittavien komponenttien muotoilulla, kuten sylinterimäisen tapin korvaaminen kuroutumissuuntaan kevennetyllä tappiratkaisulla, voidaan lukkiutumistaipumusta vähentää. Hyvä muistisääntö on, että yksi reikä toimii tuotteen nollapisteen määrittelijänä ja toinen reikä linjaa tuotteen.

Hyvän kiinnittimen tulisi toimia tulkkina. Lähtökohtana tulee olla, että osaa tai osakokonaisuutta, joka ei täytä kriittisiä mittavaatimuksia, ei voida asemoida kiinnittimeen. Vastaavasti kiinnittimen tulee ohjata tuotteen kokoonpanoa, eli osia ei ole mahdollista asentaa kuin yhdellä tavalla kiinnittimeen.

Tuotteen oikean koonnin, silloituksen ja hitsauksen jälkeen kriittinen työvaihe on sen irrottaminen kiinnittimestä. Suunnitteluvaiheessa pitää miettiä tuotteen irrotussuunta tyyliin ”oikealle ja ylös”. Muutoin voi hyvin helposti syntyä pattitilanne, jossa tuote ja kiinnitin ovat sulautuneet kokonaisuudeksi, jotka eivät irtoa toisistaan ilman väkivaltaa. Tilanne korostuu useita paikoituspintoja sisältävissä silloituskiinnitimissä.

Jo melko alkuvaiheessa kiinnitinsuunnittelua on syytä miettiä, missä ovat kiinnittimen nostopisteet. Nostopisteiden sijoitus kannattaa suunnitella siten, että kiinnittimen asentaminen mahdolliseen käsittelylaitteeseen onnistuu helposti, tarkasti ja turvallisesti. Tässä on myös huomioitava nostetaanko kiinnitintä tyhjänä vai onko hitsattava tuote kiinnittimessä nostojen aikana. Sama asia koskettaa itse tuotteen asemointia kiinnittimeen, eli mikä on tuotteen luontainen asento nostossa. Työntekijällä on käytössä vain kaksi kättä ja yleensä toinen on ainakin osittain sidottu nostolaitteen ohjaamista varten. Jos nosto, purku ja kiinnitystyö onnistuvat yhdeltä ihmiseltä ilman ”akrobatiaa”, on toteutus mitä todennäköisimmin onnistunut. Toki suurilla tuotteilla ei tähän välttämättä päästä. Etenkin suurilla tuotteilla tulee myös tiedostaa missä asennossa tuote tai sen osat tulevat edellisestä työvaiheesta,

jolloin voidaan välttää turhia kääntöjä. Nykyaikaisista suunnitteluohjelmista kokoonpanon massakeskipiste saadaan näkyviin helposti, jolloin nostopiste tai pisteet voidaan sijoittaa siten että tuote on vakaasti nostettavissa kuvan 4.2.2 mukaan.



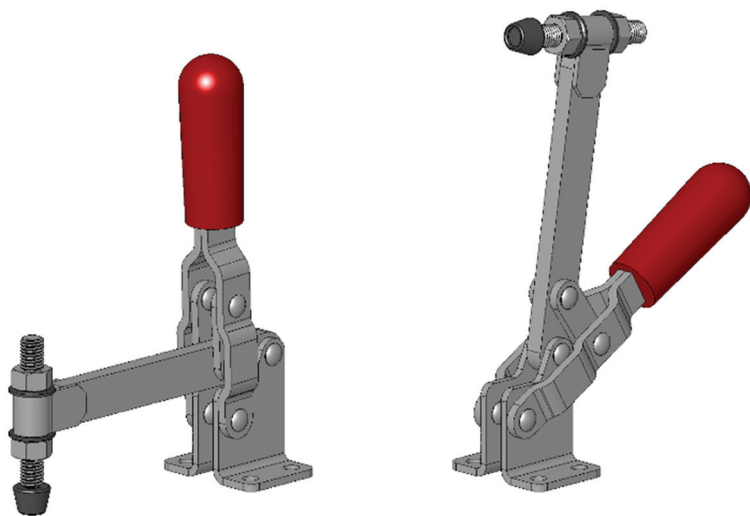
Kuva 4.2.2. Kiinnittimen yksittäinen moduuli, jossa nostolenkki on sijoitettu massakeskipisteen mukaan.

4.3. Materiaalivalinta ja kiinnityselementit

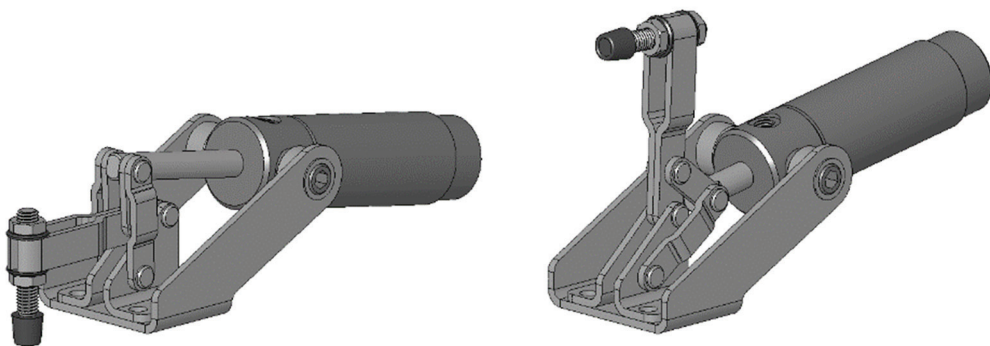
Suunnittelussa on myös huomioitava hitsattavan tuotteen materiaali, ettei kosketuspintojen väärän materiaalivalinnan takia, esimerkiksi runsasseosteisesta (ruostumattomasta ja haponkestävästä) teräksestä valmistettavaa tuotetta pilata tai aiheuteta ylimääräistä puhdistustarvetta. Puhtaanapidon ja viimeistellyn ulkonäön kannalta on kiinnittimet myös syytä maalata tai muutoin pintakäsittää. Paikoittavia vastinpintoja ei yleensä kannata maalata mm. riittävän maadoituksen toteutumisen ja kulumisen kannalta.

Kiinteiden vastinpintojen ohella tarvitaan erilaisia kiinnityselementtejä, kuten pikakiinnikkeitä, ruuveja, muttereita, lukitustappeja ym. osia joiden tehtävänä on hitsattavien osien ja tuotteen kiinnipysymisen varmistaminen, sekä itse kiinnittimen kiinnittäminen hitsauspöytään tai käsittelylaitteeseen. Ruuvien ja muttereiden ohella yleisin pikakiinnike on itse lukittuva puristin eli ”*clamppi*” (kuva 4.3.1). Oikein käytettynä se on nopea ja luotettava kiinnitysväline. Luotettavuutta voi rajoittaa esim. osavalmisteessa oleva mittapoikkeama, jonka seurauksena puristinta ei ehkä saada painettua lukitustilaan tai kiinnitettävä osa jää irrallisena heilumaan, kun puristimen painin ei siihen ylety. Painimessa voidaan käyttää mittavaihtelun eliminoimiseen kumisia joustoelementtejä, tosin niiden haittana on kulumisen ohella huono lämmönkesto.

Itse lukittuvia puristimia on myös paineilma- tai hydraulistoimisina (kuva 4.2.2). Tällöin on kiinnittimen sulku- ja avaustoimintoja mahdollista eri tavoin automatisoida, kuten vaiheistaa tai yhdenaikaistaa. Automaation avulla voidaan mm. lisätä kiinnittimen käyttömu- kavuutta ja lyhentää tuotteen vaihtoaikaa. Jos ei voida olla varmoja, että puristin lukittuu mekaanisesti, on kiinnitinsuunnittelussa huomi- oitava mahdolliset häiriötilanteet, kuten paineen häviäminen. Kaikki mahdolliset häiriötilanteiden aiheuttamat vaaratilanteet on pyrittävä eliminoimaan. Puristimen tilan valvontaan voidaan käyttää myös an- turointia, jolla varmistetaan että puristin on oikeassa tilassa ennen hit- saustyökierron aloittamista. Manuaalisesti käytettävissä puristimissa kannattaa huomioida hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset ja voimat myös avaustilanteen kannalta. Puristin voi avattaessa ”potkais- ta” muodonmuutosvoimien vapautuessa hallitsemattomasti.



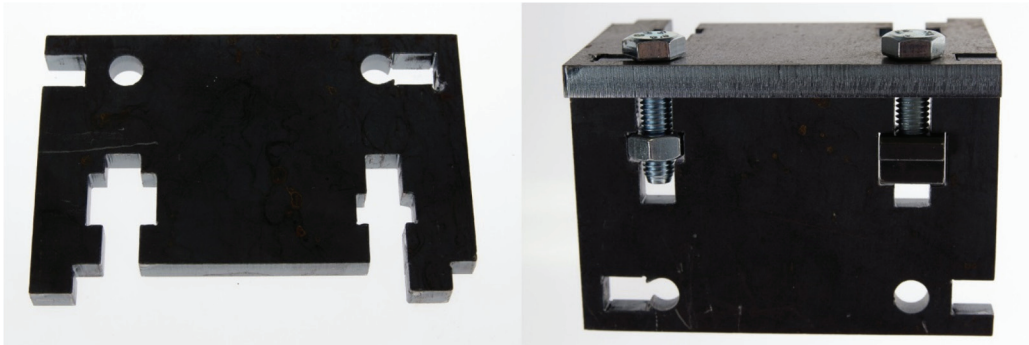
Kuva 4.3.1. Manuaalikäyttöisiä itse lukittuvia puristimia eli ”clamppejä” [Silberwolf, 2007].



Kuva 4.3.2. Pneumatiikkakäyttöisiä itse lukittuvia puristimia eli ”paineilma clamppejä” [Silberwolf, 2007].

Ruuvit ja mutterit ovat hyvin perinteisiä kiinnityselementtejä, edullisia ja usein myös varmatoimisia. Heikkouksina voidaan mainita erillisen työkalun tarve, avauksen ja sulkemisen hitaus sekä likaherkkyys ja kierteiden kulumisen aiheuttamat ongelmat. Ruuvien ja mutterien käyttö on myös vastoin yhtä kiinnitinsuunnittelun perussääntöä eli *”Pyri käyttämään mahdollisimman vähän irtonaisia osia, sillä hävitessään ne estävät kiinnittimen käytön”*. Jos irto-osien käyttöä ei kuitenkaan voida välttää, ne on merkittävä värikoodeilla tai muutoin yksiselitteisesti. Kaikille irto-osille on myös mietittävä säilytyspaikka kiinnittimen yhteyteen. Lisää kiinnityselementtejä on esitelty kappaleessa 5.

Usein oletuksena on, että hitsauskiinnittimen valmistuksessa on käytettävä hitsausta. Tämä ei kuitenkaan ole aina välttämättömyys. Laserleikkauksen mahdollisuuksia hyödyntäen voidaan kuvan 4.3.3. mukaisesti pienahitsi korvata ruuviliitoksella. Liitosten avaus myös mahdollistaa kiinnittimen purkamisen käytön jälkeen, esim. jos varas-
totilaa on niukasti käytettävissä tai joitakin osia halutaan hyödyntää toisessa kiinnittimessä.



Kuva 4.3.3. Levyjen liittäminen pulteilla, hyödyntäen laserleikkauksen mahdollisuuksia.

4.4. Suunnitelmien tarkastus ja kiinnittimien käyttöönotto

Kiinnittimen suunnittelulle on asetettu paljon vaatimuksia, mutta kiinnittimen käytettävyyden kannalta yksi merkittävimmistä on, ettei kiinnitin saa tulla hitsauksen eteen. Tätä varten suunnittelun ja mallinnuksen yhteydessä voidaan käyttää esim. hitsauspolttimen 3D-mallia. Mallin avulla voidaan nähdä, miten paljon tilaa hitsauksen luontevaan suorittamiseen tarvitaan. Tätäkin kehittyneempi vaihtoehto on käyttää erillistä simulointiohjelmistoa, johon on mallinnettu tuotteen ja kiinnittimen lisäksi tuotantovälineet ja -ympäristö. Tällöin voidaan esim. virtuaalisella robotilla, vähintäänkin mallintaa hitsausta, tai hankittaessa tarkoitukseen soveltuva ohjelmisto, myös tehdä varsinainen hitsausohjelma ennen tuotteen siirtymistä tuotantoon. Virtuaalimaailmassa tehtävä etäohjelmointi ja tuotannon mallintaminen, mahdollistavat varsinaisen tuotannon nopeamman käynnistämisen, pahimpien ongelmakohtien löytäessä ennen valmistuksen aloittamista.

Virtuaalimallinnuksella voidaan myös vähentää prototyypikiinnittimien ja prototuotteiden tekotarvetta. Valitettavan harvoin kiinnitin silti onnistuu täydellisesti ensimmäisellä yrittämällä, sillä usein vasta

tuotantovaiheessa huomataan joitakin parannuskohteita. Tuotteilla on myös rajallinen elinikä, joten kiinnittimen suunnitteluvaiheessa olisi hyvä miettiä, miten kiinnitintä voidaan päivittää tuotteen mukana.

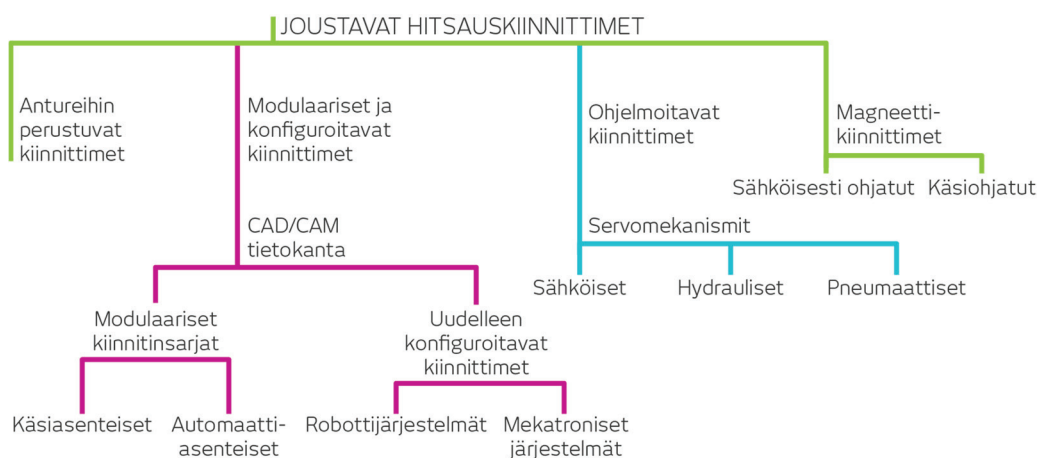
Ennen käyttöönottoa on kiinnitin nimettävä, merkittävä ja sille on määritettävä selkeä varastointipaikka. Käyttöönoton yhteydessä varmistetaan kiinnittimen mittatarkkuus ja toiminta sekä tehdään käytön kannalta tärkeät dokumentoinnit (mm. käyttöohjeet) ja merkinnät. Koe-käytön avulla voidaan löytää mahdolliset puutteet, korjaus- ja säätötarpeet. Ongelmia voi ilmetä mm. hitsattavien osien mitta- ja muotovaihteluista, jotka voivat olla toleranssirajojen sisällä, mutta aiheuttavat silti ongelmia kiinnittimen käytölle. Joskus voi esiintyä laatuvahtelua silloituskoonnissa tapahtuvan henkilövaihdoksen myötä. Tämä voi olla merkki siitä, ettei osien paikoitus kiinnittimessä ole riittävän yksiselitteistä. Tähän kiinnittimen sisäänajovaiheeseen on syytä varata aikaa, sekä kirjata kokemuksia ylös, sillä tällöin seuraavien kiinnittimen käyttöönotto todennäköisesti nopeutuu.

Kun kiinnitin on todettu toimivaksi, viimeistellään mm. suunnittelun dokumentaatio. Dokumentaatioon olisi hyvä kuulua myös mitauspöytäkirja, josta selviää tuotteen olennaisten laatuvaatimusten määräytymiseen vaikuttavat kiinnittimen mittojen ohjearvot. Lisäksi voidaan tarvita huollon, asennuksen ja etenkin käytön ohjeistusta. Kiinnittimen merkinnöistä tulee selvittää mille tuotteelle tai tuotteille se on tarkoitettu ja jos käytetään robottihitsausta, niin tieto ohjelmasta tai ohjelmista sekä käsittelylaitteesta on hyvä olla mukana tai vähintäänkin jäljitettävissä [Leino K., Meuronen I., 1987].

Kriittisille kiinnittimen komponenteille tulee olla nopeasti saatavilla varaosia. Tyypillisesti ne ovat kiinnityselementtejä. Varaosien suhteen pitää arvioida kannattaako itse varastoida vai onko toimitusajat niin lyhyet, ettei omaa varastointia tarvita. Asiaa on mahdollista arvioida mm. osan hankinta/varastointiarvon, toimitusajan, vaurioitumistodennäköisyyden ja mahdollisen tuotannonmenetyksen kautta.

5. JOUSTAVAT HITSAUSKIINNITTIMET

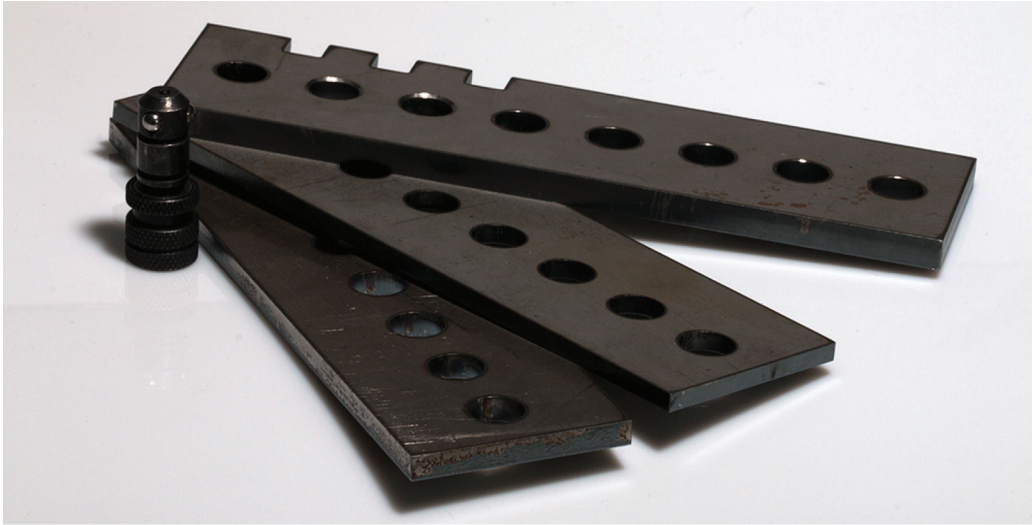
Joustavilla hitsauskiinnittimillä tarkoitetaan hitsaukseen tehtyjä kiinnitinratkaisuja, joita voidaan soveltaa joustavasti eri tuotteille ja tuotepereille. Joustavat kiinnitinratkaisut mahdollistavat mm. kiinnittimen elämisen tuotekehityksen mukana. Tyypillisiä käyttökohteita ovat pienten ja keskisuurien sarjojen tuotteet, joiden elinikä on suhteellisen lyhyt. Kiinnitin on tällöin nopeasti ja pienillä kustannuksilla pystytävä sovittamaan muuttuneeseen tuotantoon [Shirinzadeh B, 2002]. Joustavat hitsauskiinnittimet voidaan rakenteensa puolesta luokitella kuvan 5.1 osoittamalla tavalla.



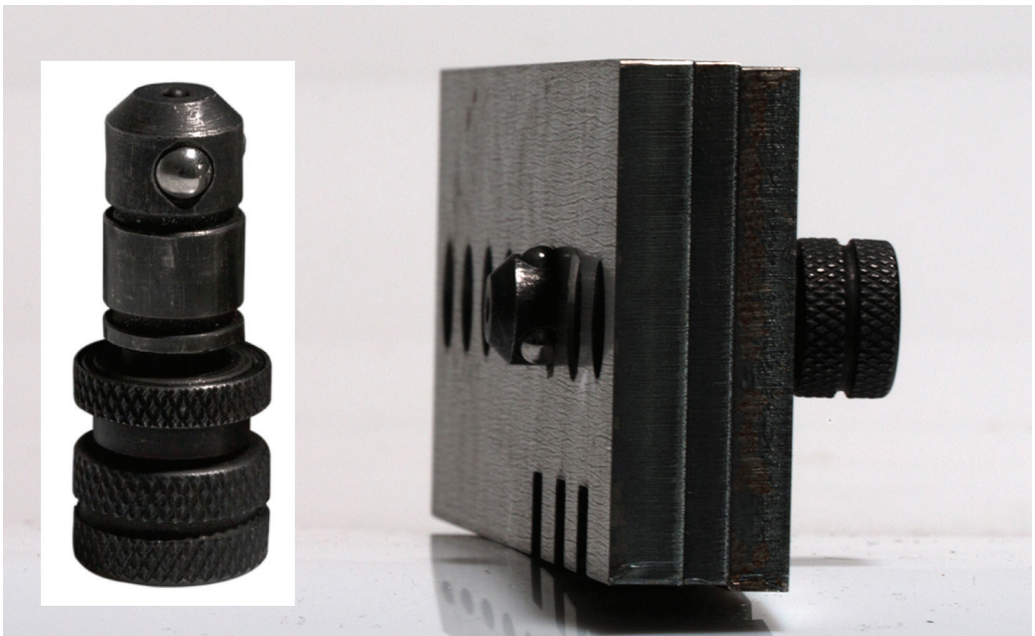
Kuva 5.1. Joustavien kiinnittimien luokittelu [Shirinzadeh B., 1996].

5.1. Modulaariset kiinnittimet

Modulaariset kiinnitinsarjat koostuvat erilaisista kiinnitinosista kuten V-uralohkoista, suorakaiteen ym. muotoisista paikoitus osista, tapeista ja kiinnityspuristimista. Tyypillisesti kiinnitinelementit asemoidaan T-ura pöytään tai perusalustaan, jossa on kierrereikiä. On myös käytössä kierteettömiä kiinnitysmenetelmiä, kuten kuvien 5.1.1 ja 5.1.2 kuulalukitteiset kiinnitystapit. Kiinnitystapin tehtävänä on lukita itsensä sekä kiinnitinosat luotettavasti, jopa ilman työkaluja.



Kuva 5.1.1. Ruuvi-mutteri yhdistelmän korvaava pikakiinnitystappi ja laserleikkeitä.



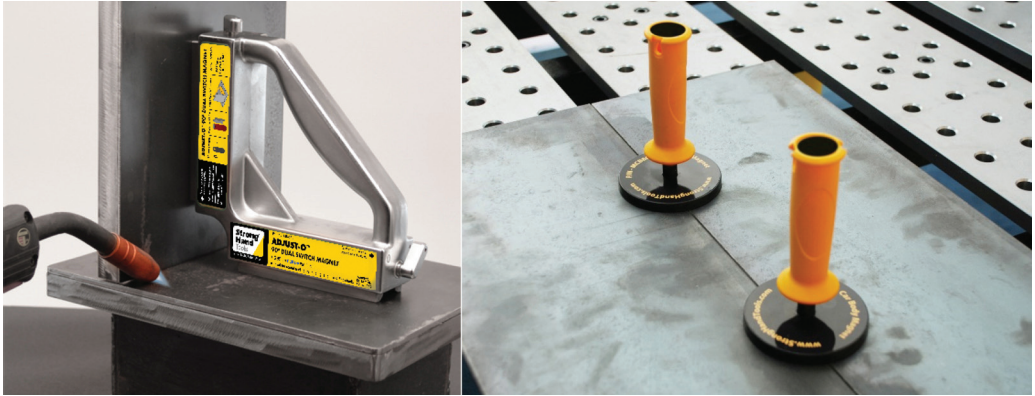
Kuva 5.1.2. Pikakiinnitystappi, jossa kuulalukitus.

Modulaariset kiinnittimet soveltuvat parhaiten suhteellisen pientä kiinnitysvoimaa tarvitseviin kohteisiin, vaikkakin samaa tekniikkaa käytetään yleisesti suurta kiinnipitovoimaa tarvitsevissa koneistuksen kiinnityksissä. Vahvuuksina voidaan pitää joustavuutta, kiinnitin voidaan koota vakiokomponenteista. Tämä mahdollistaa suunnittelun merkittävän nopeutumisen, kun voidaan käyttää valmiita komponenttikirjastoja. Etenkin pienen volyymin tuotteissa voidaan säästää sekä varastointi- että pääomakustannuksissa, sillä kiinnittimet voidaan käytön jälkeen purkaa ja osia voidaan käyttää lähes loputtomasti uudelleen. Haittoina voidaan mainita, että menetelmän soveltuvuus heikkenee tuotteen monimutkaistuessa. Kiinnityksen laadukkuus ei välttämättä yllä perinteisten kiinnitinratkaisujen tasolle. Kiinnittimen rakenteellisen jäykkyys jää heikommaksi, etenkin jos moduuleita joudutaan kiinnittämään peräkkäin. Usein hitsattavien tuotteiden asemoinnin ja irrottamisen suhteen joudutaan tekemään enemmän kompromisseja. Tämän tyyppiset kiinnittimet eivät usein sovellu monimutkaisten levyrakenteiden kiinnitykseen tai massatuotantoon. [Shirinzadeh B, 2002; Wang H., Rong Y. 2010]

Menetelmän käytettävyyttä voidaan laajentaa tekemällä hybridiratkaisuja eli standardoitujen vakiokomponenttien lisäksi suunnitellaan itse erikoisemmat moduulit, esimerkiksi laserleikkeistä. Ainakin pienillä tuotantomäärillä tämä on todennäköisesti perinteistä kiinnitintä kustannustehokkaampi ratkaisu, koska mm. tuotekohtaista kiinnitinrunkoa ei tarvita.

5.2. Magneettikiinnittimet

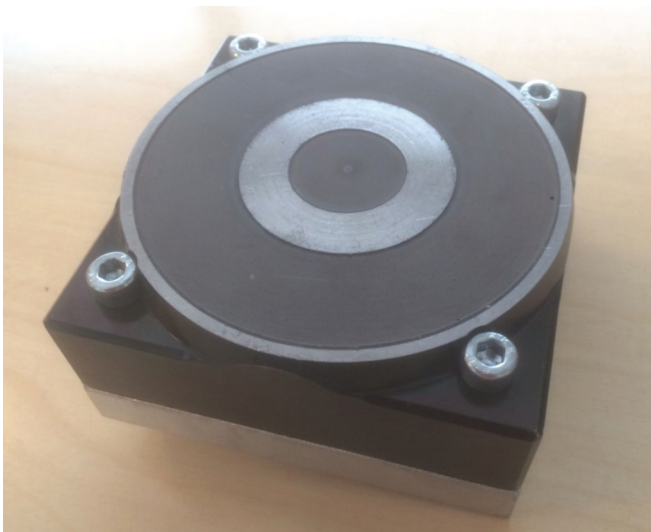
Magneettikiinnittimet ovat kiinnityselementtejä, joiden kiinnipitovoima saadaan normaalisti kestopagneetista. Tyypillisiä käyttökohteita ovat osien asemointi, linjaustehtävät ja silloitusvaiheen kiinnipito-tehtävät, kuten kuvissa 5.2.1 ja 5.2.2. Magneettikiinnittimen käyttö on suhteellisen yksinkertaista ja niitä voidaan käyttää myös osana muita kiinnitinratkaisuja korvaamassa mekaanisen kiinnityksen tarve. Yksinkertaisimmat kestopagneetit keräävät tuotanto-olosuhteissa helposti likaa, joka taas voi aiheuttaa epätarkkuutta paikoitukseen. Magneettien kytkentä eli ohjaus tapahtuu usein manuaalisesti vipukytkimistä, mutta magneetteja on saatavilla myös sähköisesti ja pneumaattisesti ohjattuina (kuva 5.2.3).



Kuva 5.2.1. Magneettikiinnittimiä levyjen asemoinnissa (BuildPro, 2014).



Kuva 5.2.2. Esimerkkejä magneettikiinnittimien käyttömahdollisuuksista (BuildPro, 2014).



Kuva 5.2.3. Ixtur MA-300, sähköisesti ohjattu bi-stabiili kestmagneetti.

Sähköisesti ja paineilmalla ohjattavia magneetteja voidaan käyttää myös esim. robottitarraimissa tai ohjelmoitavissa kiinnittimissä joustavina kiinnityselementteinä. HiKi –projektissa tutkittiin kuvan 5.2.3 magneetin soveltuvuutta mm. päittäisliitoksen sovitusrvirheen ja ilma- raon vaihtelun minimointiin, sekä robottihitsattavan tuotteen kiinnitykseen. Näiden testien tuloksista on kerrottu kappaleessa 6. Magneettien käyttöä rajoittaa mm. tuotteen materiaali eli magneetin tarttuvuus, mahdollinen jälkimagnetismi sekä mahdolliset magneettikentän aiheuttamat haittavaikutukset hitsausprosessiin.

5.3. Muita joustavia kiinnitystapoja

Mekaanisen paikoituksen rinnalla ja osin korvaavana menetelmänä voidaan käyttää paikka- ja/tai orientaatiotietoa mittaavaa anturointia. Usein tähän käytetään konenäkötekniikkaa. Kun kuvannettua paikka- ja orientaatiotietoa verrataan tunnettuun tietoon, voidaan erotuksena laskea korjaustieto [Shirinzadeh B., 2002]. Tätä korjaustietoa voidaan hyödyntää mm. työkappaleita liikuttelevan robotin ohjauksessa. Esimerkki tekniikan soveltamisesta on auton tuulilasin automatisoitu asennus, jossa tarvittava tarkka paikka ja orientaatiotieto saada kuvantamalla tuulilasi sen ollessa robotin tarraimessa. Robotin ohjelmointivaiheessa tuulilasille on määritetty paikka ja orientaatiotieto, johon verrataan kuvannustietoa. Erotuksesta lasketaan laitteen ohjauksen tarvitsema korjaustieto.

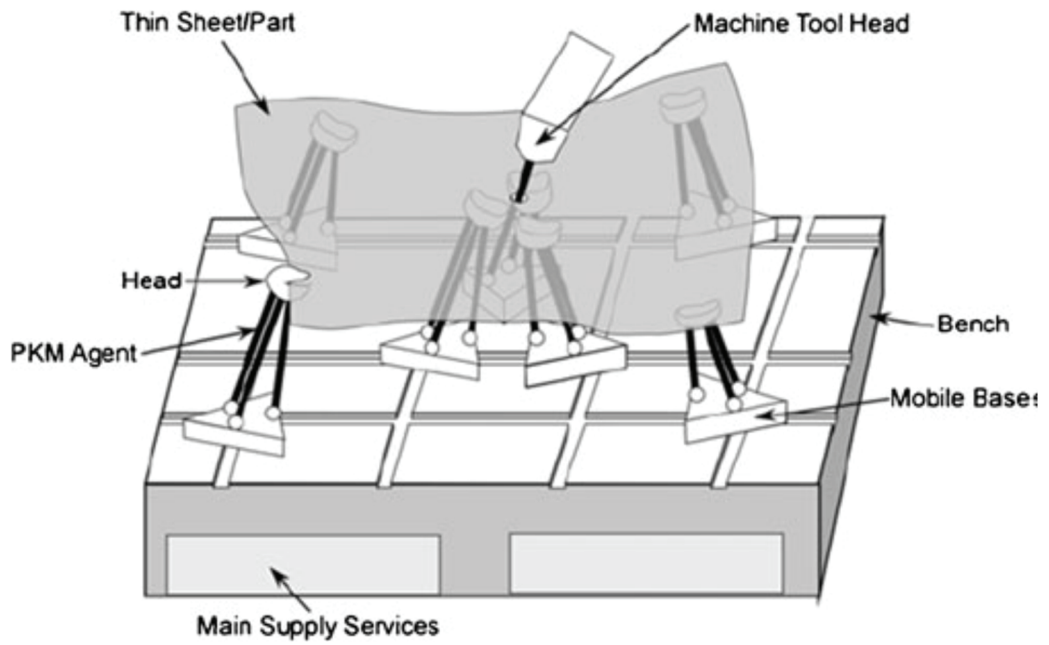
Hitsauksessa vastaavaa tekniikkaa voidaan käyttää tuotteen tai sen osan asemoinnin tarkastamiseen, ellei sitä ei voida muutoin varmentaa, esimerkiksi tehtäessä robotisoitua hitsauskokoonpanoa. Konenäkötekniikkaa voidaan käyttää myös tuotteen yksilöivien piirteiden tunnistukseen, jolloin oikean työkierron (robottiohjelman) valinta voidaan automatisoida.

Uudelleen konfiguroitavilla kiinnittimillä pyritään helppoon muunnettavuuteen tuoteperheen eri tuotteille. Usein konfigurointi toteutetaan joko robotilla tai mekatronisella manipulaattorilla. Kiinnittimen konfiguroituvat osat ovat joko makasiinissa tai esimerkiksi paletilla, josta ne kootaan kiinnitinrunkoon. Runkona voi toimia vastaavanlainen vakioitu pöytäratkaisu kuin kappaleessa 5.1. esitellyissä modulaarisissa kiinnittimissä. [Shirinzadeh B., 1996; Shirinzadeh B., 2002]

Kiinnittimien ohjelmoitavuus voidaan käsittää eri tavoin. Ohjelmoitava kiinnitin voi olla robotin tarrain tai kiinnityselementti, jota voidaan käyttää ohjelmallisesti. Ohjelmoitavalla kiinnittimellä voidaan tarkoittaa myös perinteisempää kiinnitintä, jossa kiinnityselementtien aukaisu ja sulkeutuminen hoidetaan ohjelmallisesti. Ohjelmoitavuutta voidaan ajatella myös tekniikkana, jossa perinteisen kiinnittimen tehtäviä hoidetaan robotilla. Termillä *”robotic fixtureless assembly”* eli *”RFA!”* tarkoitetaan kiinnittimen korvaamista robotilla tai roboteilla, joilla on joustavasti käytettävät tarraimet ja riittävästi anturointia antamassa ”älykkyyttä” kokoonpanon suoritukseen [Bonea M., Capson D., 2003]. Tekniikkaa on esitelty mm. HitSavonia II –hankkeen loppuraportissa [Jääskeläinen E., Solehmainen K., Tuunainen A., 2010].

SwarmItFIX on itse mukautuva kiinnitinkonsepti, joka on yksi vastaus massaräätälöinnin, kestävän kehityksen ja tuotteiden alati lyhenevien elinikäodotusten tuomiin valmistuksen uusiin haasteisiin. SwarmItFIX tulee sanoista *Self-reconfigurable Intelligent Swarm Fixture System*. Se on kehitetty EU:n seitsemännän puiteohjelman rahoittamassa projektissa ja suunnattu ensisijaisesti isojen ja ohuiden metallilevytuotteiden koneistuksen tarpeisiin.

Kuvassa 5.3.1 on esitetty kiinnityksen toimintaperiaate. Työpöydällä on itsenäisesti liikkumaan kykeneviä kiinnityselementtejä, joita voitaisiin kutsua kiinnitysroboteiksi (*PKM Agent + Head*). Ne liikkuvat työpöydällä työstön mukana, jolloin ne voivat tukea työstettävää kappaletta hyvin läheltä työstökohtaa. Näiden lisäksi käytetään tarpeen mukaan kiinteitä tuki- ja kiinnityspisteitä. Kiinnitysrobottien ohjelma pohjautuu tuotteen CAD-geometriaan ja työstökoneen CAM-työstörata-dataan. [Xiong L., Molfino R., Zoppi M., 2013; Zieliński C., & al, 2013].



Kuva 5.3.1. SwarmItFIX kiinnityksen periaate [Xiong L., Molfini R., Zoppi M., 2013].

6. ESIMERKKEJÄ TOTEUTETUISTA KIINNITINPROJEKTEISTA

HiKi -projektin aikana toteutettiin kuusi erilaista kiinnitinprojektiä, jonka lisäksi yhdelle kiinnittimelle laadittiin mittaussuunnitelma. Jokaisessa tapauksessa jouduttiin tekemään kompromisseja haluttujen ominaisuuksien ja käytettävissä olevien resurssien välillä. Nämä tapaukset eivät siis anna vastausta kysymykseen ”mikä on ideallinen kiinnitin”, mutta esittelee tehtyjä ratkaisuja perusteluineen. Toivottavasti esimerkit auttavat tämän raportin lukijaa, tekemään omissa kiinnitinprojekteissaan parempia kompromisseja ja pääsemään lähemmäksi ideaalista kiinnitintä.

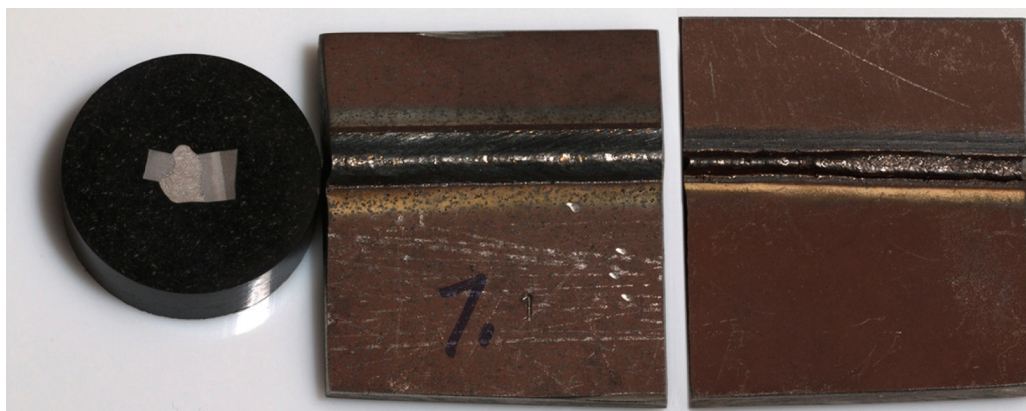
6.1. Soralavan kokoonpano ja hitsauskiinnitin

Kyseisen tuotteen hitsauksessa ei ole aiemmin käytetty koko tuotteen kattavaa kiinnitintä, sillä lähes kaikki tuotteet ovat asiakaskohtaisesti räätälöityjä. Räätälöinti ei kuitenkaan muuta koko lavan rakennetta, sillä mm. lavojen poikkiprofiilit ja leveydet on vakioitu. Tyypillisimpiä räätälöintikohtia ovat kippaussylinterien kiinnityskohdat, lavan laitakorkeus ja jäykistyspalkkien mitoitus. Myös varusteluosien määrä vaihtelee asiakaskohtaisesti. Oman haasteensa valmistukseen tuo joidenkin asiakastoiveiden saapuminen valmistuksen käynnistymisen jälkeen. Tuotteen toiminnallisen laadun ohella myös visuaalinen laatu on kilpailutekijä. Tämän toteutukseen asettaa haasteensa tuotteen kokoon nähden suhteellisen ohuet materiaalit yhdistettynä suuriin hitsauspituuksiin ja niistä aiheutuviin muodonmuutoksiin.

Työ aloitettiin tutustumalla käytössä oleviin tuotantomenetelmiin ja työjärjestykseen. Samalla havainnointiin ongelmakohtia, ideoitiin parannusehdotuksia sekä tehtiin muita työn toteutuksen kannalta hyödyllisiä muistiinpanoja. Tässä yhteydessä myös jututettiin tuotannon työntekijöitä, hitsareita. Pääosa hitseistä tehdään käsivaraisesti, mutta osassa pituushitsejä käytetään kevytmekanisointia. Hitsausjärjestys on kokemuseräisesti haettu lopputuotteen kannalta optimaaliseksi. Joissakin kohdin tuotetta käytetään ennakoita kun taas toisin paikoin käytetään hitsauksen jälkeistä oikaisua. Yksi tuotteen kriittisimmistä hitseistä on lavan pohjan ja laidan välinen pituushitsi. Se on erittäin näkyvällä paikalla, pituudeltaan useita metrejä. Hitsattavan materiaalin ainevahvuus on tyypillisesti alle 10 mm, pohjan ollessa hieman

laitaa paksumpi. Tämä hitsi otettiin kiinnitinsuunnittelussa erityishuomioon.

Pohjan ja laidan välinen hitsi on hitsattu molemmilta puolilta. Osien sovitusvaiheessa liitos silloitetaan ulkopuolelta noin 100 mm välein, jonka jälkeen tehdään sisäpuolinen hitsaus. Sisäpuolisen hitsauksen jälkeen siltahitsit poistetaan ja suoritetaan ulkopuolen hitsaus. Näin voidaan varmistaa vaadittu lujuus ja siisti ulkonäkö. Kahdelta puolen hitsaukseen sitoutuu kuitenkin paljon työtä, joten tutkimuksessa päätettiin kokeilla yhdeltä puolen hitsausta sekä juuritukea vasten että ilman juuritukea. Kuvissa 6.1.1 – 6.1.3 on esitetty hitsauskokeiden tuloksia kolmena projektiona eli vasemmalta oikealle hitsin poikkileike, pinta ja hitsin juuripuoli. Kaikki hitsit on hitsattu PC eli vaaka-asennossa, paksumpi levy ylempänä, mikä vastaa tuotanto-olosuhteissa tehtävää hitsausta. Testeissä käytettiin yhtä tyypillisintä paria eli 8 mm pohjalevy ja 5 mm laital levy.



Kuva 6.1.1. Hitsauksessa käytetty juuritukea kuparilaattaa.



Kuva 6.1.2. Juuritukea kupariputki.



Kuva 6.1.3. Hitsattu ilman juuritukea.

Ilman juuritukea hitsattaessa on railonsovituksen suhteen vaatimukset kaikkein tiukimmat ja vaikka kokeissa se saatiin onnistumaan hyvin, niin tuotanto-olosuhteissa se voi osoittautua hyvin haastavaksi toteuttaa.

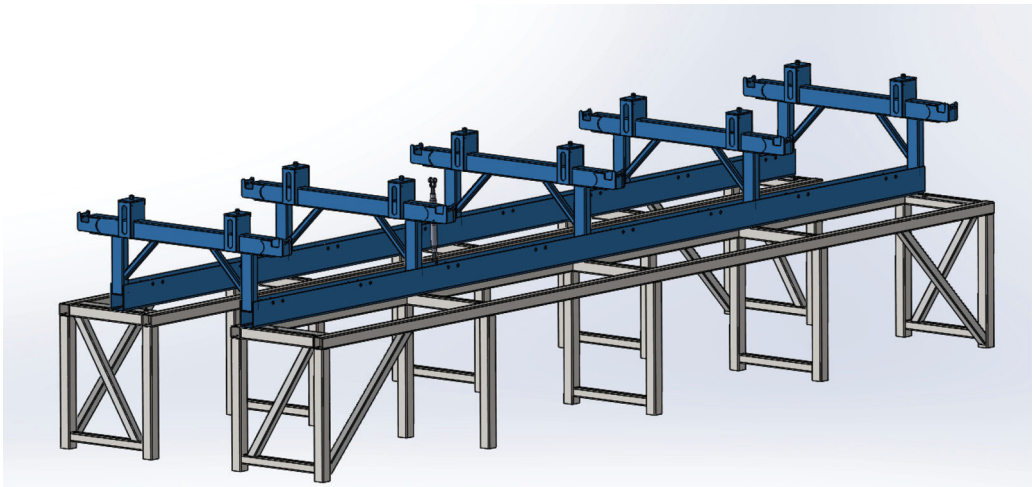
Itse kiinnittimen suunnittelu alkoi ideoinnilla, joista muodostui alustavasti kolme erilaista toteutusvaihtoehtoa. Näiden työstöä jatkettiin yhdessä yrityksen edustajien ja hitsareiden kanssa. Kiinnittimen suunnittelua ohjasi yrityksen nostokalusto ja muu tuotannon työvälineistö. Kiinnittimen piti olla toteutettavissa ja otettavissa käyttöön ilman suuria muutostöitä tai investointeja muuhun tuotantovälineistöön. Toinen suunnittelua ohjaava vaikutin oli kiinnittimen yleiskäyttöisyys mahdollisimman suurelle lavatyypimäärälle. Tämän seurauksena siihen tuli suunnitella helposti säädettäviä vastinpintoja. Kolmas määräävä tekijä oli kiinnittimen soveltuvuus niin osien sovitukseen eli silloitusvaiheeseen kuin itse hitsauksen toteuttamiseen. Lisäksi kiinnittimeen suunniteltiin hitsauksen ennakoiden toteuttamista varten erilaisia säätöelementtejä.

Lavan laidan ja pohjan välisen kriittisen liitoksen sovituksen ja silloituksen apuna päätettiin kokeilla IXTUR magneetteja. Näiden avulla pyritään saamaan levyt helposti paikoitettua toisiinsa nähden. IXTURE magneetti on bi-stabiili, sähköisesti ohjattu kestmagneetti. Tutkimuskäytössä olleen mallin MA-300 päämitat olivat 125x125mm ja paksuus 60 mm. Painoa magneetilla oli 3,9 kg, jota voi pitää melko pienenä suhteessa pitokykyyn, joka on suurimmillaan 360 kg (S235 S?12mm). Magneetit osoittautuivat silti pitokyvyltään liian heikoiksi ja painon vuoksi niiden käyttäminen käsin oli hankalaa. Käytännössä magneettien käyttämiseen tarvittiin kaksi miestä – toinen asemoimaan magneetit ja toinen ohjaamaan päälle/pois kytkintä. Magneettien ohjaus olisi mahdollista muokata sellaiseksi, että niiden kytkeminen voidaan tehdä samalla kun magneettia pidellään kädessä.

Kiinnittimen suunnittelun lähtökohdiksi muotoutuivat seuraavat vaatimukset:

- sen tuli sopia kahdelle eri lavatyypille, joiden pohjan taivutussäde oli erilainen.
- siinä piti pystyä kokoamaan enintään seitsemän metrin pituisia lavoja, joiden laidan korkeus voi olla enimmillään 1800 mm.
- sen paino ei saanut olla yli 900 kg.

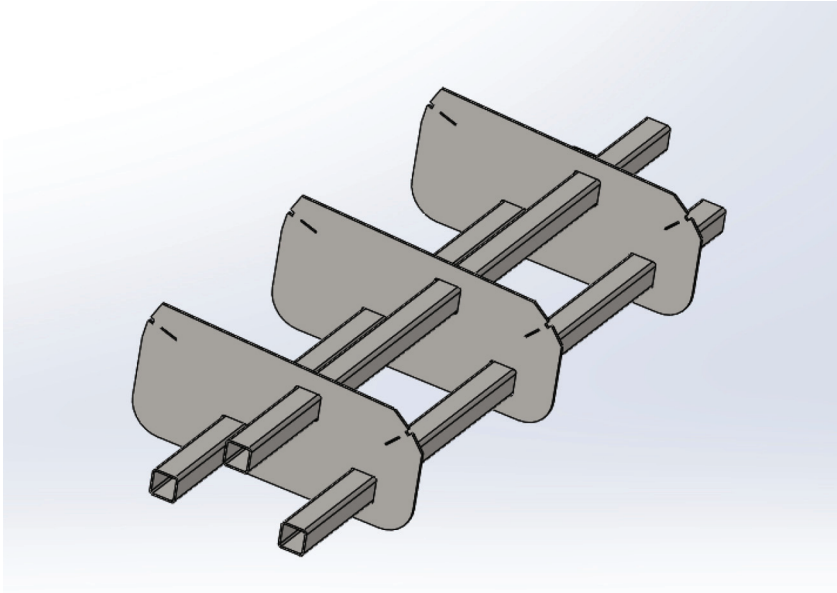
Useamman versiohahmotelman jälkeen päädyttiin kehittämään mallia, jossa oli erillinen ylä- ja alaosa. Tällä tavoin kiinnittimen paino ei noussut liian suureksi.



Kuva 6.1.4. Kaksiosainen kiinnitin, jossa sininen yläosa ja kaksi alaosan jalustaa ovat erillisiä komponentteja.

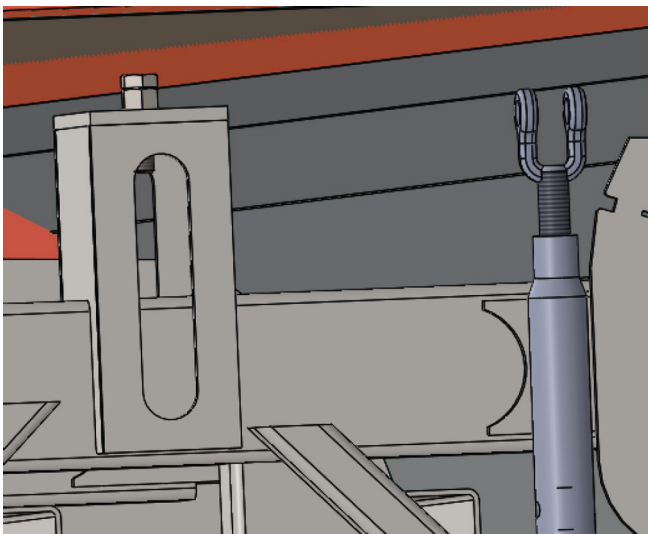
Myös yläosa tehtiin modulaariseksi siten että kahdelle eri taivutussäteellä oleville lavoille oli oma käännettävä paikoitusosa (kuva 6.1.5). Tällä tavoin kiinnitinosien määrä pystyttiin minimoimaan.

Lavan ja laidan päittäisliitoksen ilmarakon säätämiseksi ideoitiin erilaisia ratkaisuja, mutta millään niistä ei päästy tyydyttävään lopputulokseen. Ongelmana oli säätöosan jumiutuminen railoon, niin ettei sen irrotus onnistunut ennen hitsausta. Ratkaisuksi jäi että hitsaaja käyttää tulkkia silloitusvaiheessa ja tällä tavoin varmistaa että ilmarako pysyy vakiona.



Kuva 6.1.5. Yläosan käännettävä paikoitinmoduuli.

Lavaosa suunniteltiin kiinnitettäväksi kiinnittimeen vanttiruuveilla (kuva 6.1.6.). Niiden kiinnitystä varten lavan pohjaan hitsataan korvakot, joita voidaan hyödyntää myös hitsatun lavan nostoon varusteluvaiheessa. Lisäksi lavaa vasten asennetaan säädettävät vasteet, joiden avulla pystytään säätämään tarvittava ennakko, hitsausvetelyjen kompensoimiseksi. Laitaosat asemoidaan kiinnittimeen ruuvipuristimien ja säädettävien alavasteiden avulla.

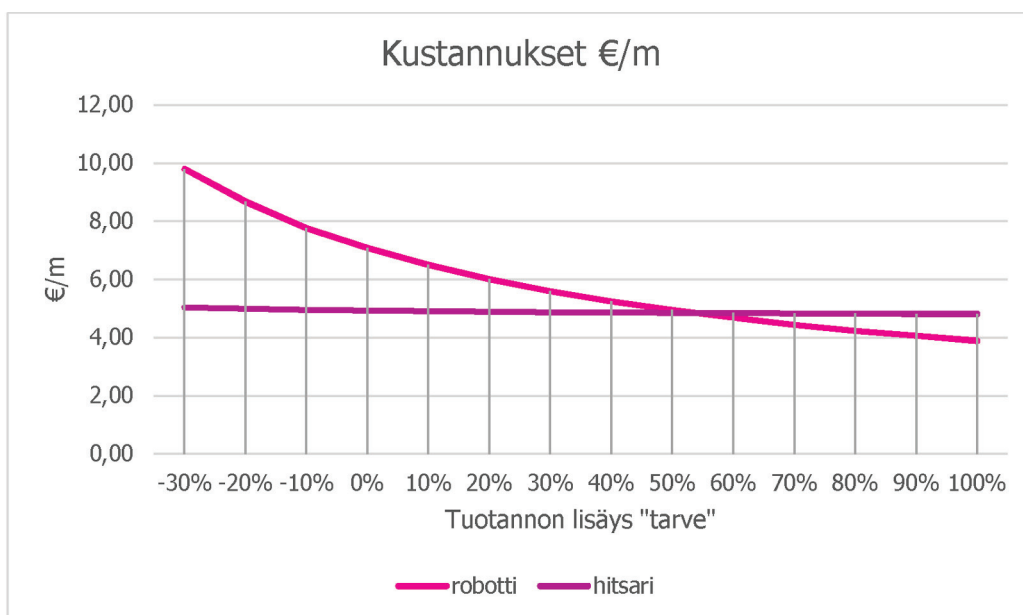


Kuva 6.1.6. Vastin ja vanttiruuvi.

6.1.1. Investointilaskelma lavatuotannon robotisoinnista

Lavakiinnittimen rinnalla tehtiin myös alustava investointilaskelma tuotannon robotisoinnin kannattavuudesta. Tämä osio otettiin mukaan siitä syystä, että hyvä toimiva kiinnitin on askel kohti tuotannon automaatioasteen nostoa. Tuotteena lava soveltuu hyvin hitsattavaksi robotilla.

Laskemien lähtötietoina käytettiin lavojen tuotannosta aikaisemmin kerättyä tietoa mm. kokoonpano- ja hitsausajoista, sekä edellisen vuoden tuotantomäärästä. Tuotteen koon perusteella pyydettiin budjettitarjous tarkoitukseen soveltuvasta robottijärjestelmästä. Tuotteen pitkien hitsien perusteella tarkasteluun otettiin kustannukset hitsattua metriä kohti. Tarkasteltaessa nykyisiä tuotantomääriä, robotti-investoinnin takaisinmaksuaika venyisi useisiin vuosiin. Havainnollistamisen takia laskettiin minkä verran tuotannon tulisi lisääntyä, jotta robotti-investointi olisi kannattava.



Kuva 6.1.1.1. Käsivaraisen ja robotisoidun hitsauksen kustannukset hitsattua metriä kohti.

Kuvan 6.1.1.1. mukaisesti jos tuotanto kasvaisi 50 prosenttia, maksaisi käsin ja robotilla hitsattu hitsi metri saman verran. Laskelmissa tarkasteltiin vain lavojen hitsausta, vaikka yrityksellä on myös muita hitsattavia tuotteita. Näiden tuotteiden analysointi ja mukaan ottaminen laskelmiin vaikuttaisi oleellisesti tuloksiin.

6.2. Telin osakokoonpanojen ja pääkoonpanon kiinnitin

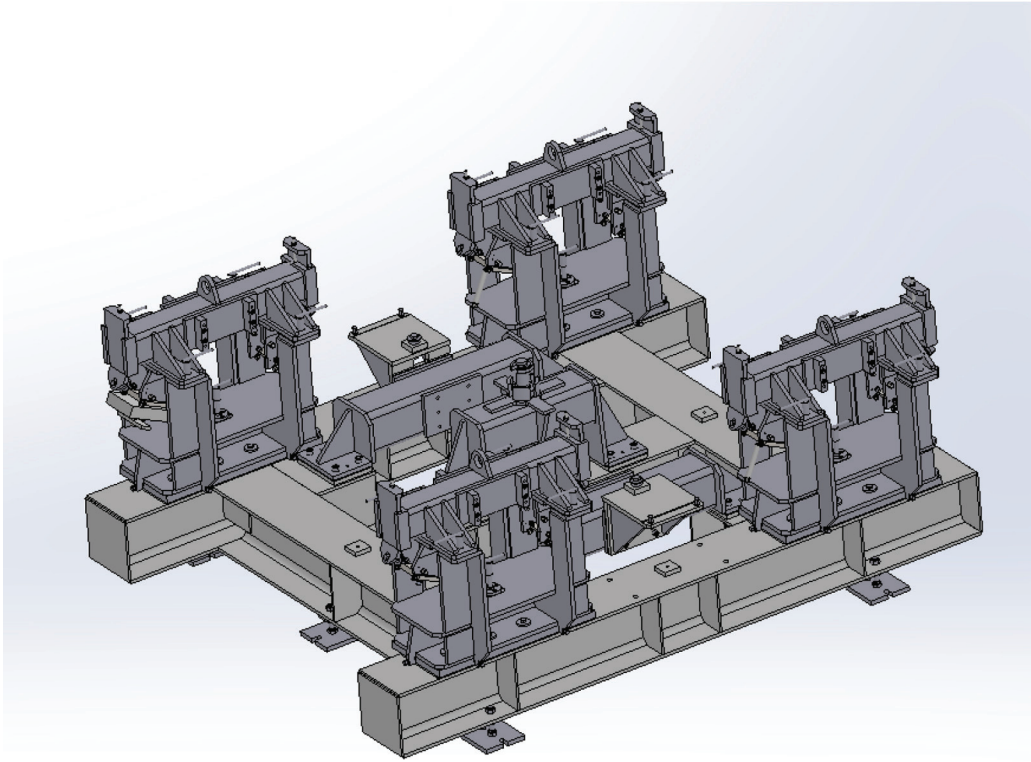
Kyseinen tuote on vasta tulossa yrityksen tuotantoon, joten kiinnittinsuunnittelun onnistumista ei voida peilata nykyiseen tuotantoon. Kyseistä tuotteesta on kuitenkin tehty protosarja, josta kertyneiden kokemusten perusteella on nykyinen tuotantoon tuleva malli kehitetty. Teli oli jaettu seitsemään alikokoonpanoon, joista muodostui pääkokoonpano. Tuotteen kokoamiseen oli jo protovaiheessa todettu tarvittavan neljä silloituskiinnitintä. Silloitusvaiheessa myös hitsataan tietyt lopputuotteentuotteen liitokset, joiden hitsaus ei enää pääkokoonpanossa onnistu. Nykyiselle tuoteversiolle protosarjalle tehdyt kiinnittimet eivät sellaisenaan soveltuneet, mutta niiden muuttaminen todettiin kustannustehokkaammaksi ratkaisuksi kuin kokonaan uusien suunnittelu ja valmistus. Pääkokoonpano on tarkoitus jatkossa hitsata robotisoidusti ja siihen tarvitaan vielä oma kiinnitin, mutta sen suunnittelu jätettiin tämän projektin ulkopuolelle.

Työ alkoi tuotteeseen tutustumisella sekä protosarjasta saatujen kokemusten keräämisellä. Näiden lisäksi kartoitettiin tuotteen toiminnallisuuden kannalta kaikki kriittiset mitat ja muodot. Tämän jälkeen tutustuttiin olemassa oleviin kiinnittimiin ja protovaiheen jälkeen tuotteeseen tullessiin muutoksiin. Näiden pohjatietojen kerääminen on hyvin arvokas vaihe ennen kiinnittimen ideointia, sillä muutoin helposti sidotaan energiaa tuotteen ja tuotannon kannalta väärin kohtien pohdintaan.

Vaikka päädyttiin hyödyntämään prototuotteille tehtyjä kiinnittimiä, siltä osin kuin se oli järkevää, niin rinnalla pohdittiin myös vaihtoehtoisia ratkaisumalleja. Vaihtoehtoratkaisuilla pyrittiin hakemaan uusia näkemyksiä kiinnittinsuunnitteluun. Yksi selkeästi suunnittelua ohjaava ajatus oli miettiä kiinnittimien rakenne tuotteen toimintaan vaikuttavien kriittisten mittojen ja muotojen toteutumisen kannalta. Tähän liittyen myös pyrittiin minimoimaan osakokoonpanojen välisen rajapintojen mitta- ja muotovaihtelu, jolloin loppukokoonpano on helpompaa ja tarkempaa sekä robottihitsaus helpottuu. Ideointityötä ja suunnitelmien arviointia tehtiin ryhmässä johon kuului alkuperäisen kiinnittimen suunnittelija, prototuotteen hitsanneet hitsarit ja tuotantoa ohjaavat henkilöt.

Kaikkiaan muutosta vaativia kiinnittimiä oli viisi kappaletta. Alikokoonpanoja varten keskipalkin kiinnitin, keskipalkin päädyn kiin-

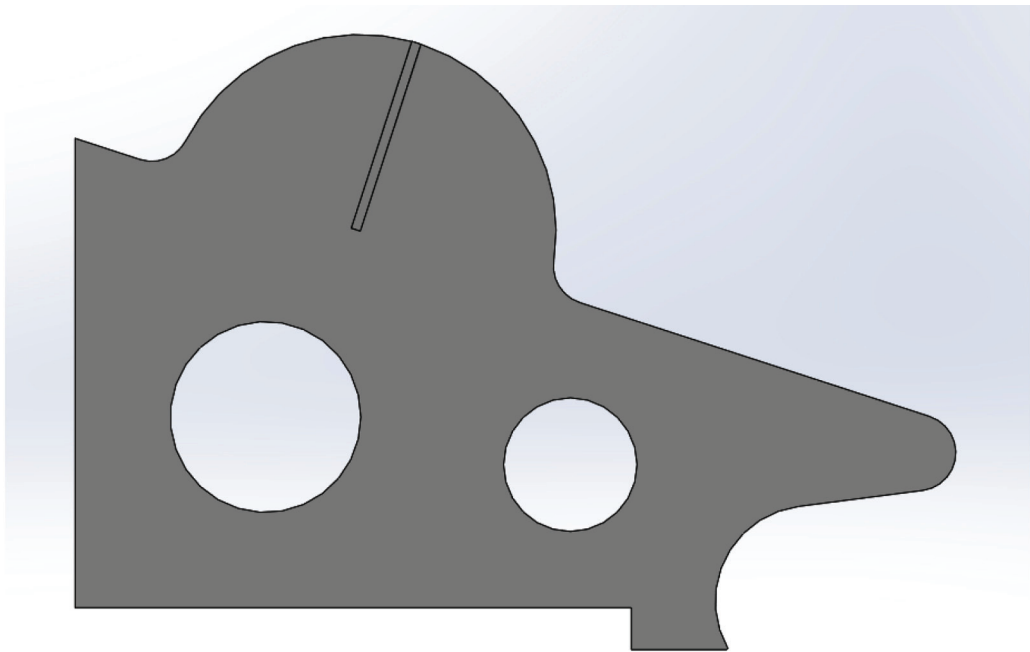
nitin, reunapalkin kiinnitin ja reunapalkin päädyn kiinnitin. Lisäksi myös loppukokoonpanokiinnittimeen tehtiin pieniä muutoksia. Loppukokoonpanokiinnitin koostui useammasta eri moduulista, joista muutoksia tehtiin reunapalkin päädyn kiinnittimeen (kuva 6.2.1.).



Kuva 6.2.1. Loppukokoonpanokiinnitin.

Muutokset suunniteltiin siten että alkuperäisiin kiinnittimiin ei juurikaan tarvinnut tehdä koneistuksia vaan muutokset tehtiin lisäosilla. Alkuperäinen kiinnitin oli suunniteltu referenssipisteperiaatteella, siten ettei varsinainen paikoitus tapahtunut toiminnallisten mittojen perusteella. Kiinnitintä muutettiin siten että kiinnityspisteet olivat niitä pisteitä, joiden mittatarkkuus oli kriittinen valmiissa tuotteessa. Näitä olivat vinot liukupinnat, reunapalkin päädyn reikä ja keskiökuppi.

Lisäksi kiinnittimeen lisättiin kuvan 6.2.2. keskipalkin päädyn ja reunapalkin päädyn liitospinnan tulkkilevy, jotta niiden sovitus voitaisiin tarkistaa jo ennen loppukokoonpanoa.



Kuva 6.2.2. Tulkkilevy jossa nokkaosa vastaa tulkattavaa muotoa.

Kiinnittimien mallintaminen ja ideointi tehtiin hankkeen puitteissa ja varsinaisten valmistuspiirustusten suunnittelu jäi yritykselle. Suunniteltujen lisäpaikoitusosien valmistuspiirustuksiin yritys oli tehnyt pieniä muutoksia, mutta kiinnittimen periaate säilyi suunniteltuna.

Jälkeenpäin haastateltiin kiinnittimiä kokoonpanoon käyttäneitä hitsaajia ja he olivat muutettuihin kiinnittimiin varsin tyytyväisiä. Hankkeessa oli tarkoitus tehdä myös mittaukset kiinnittimissä valmistetuista alikokoonpanoista silloituksen jälkeen, sekä loppukokoonpanosta hitsauksen jälkeen. Aikatauluongelmien vuoksi mittauksista luovuttiin, mutta niitä varten laadittiin kattavat toimintaohjeet.

6.3. Telipankon hitsauskiinnitin

Kyseinen tuoteperhe on jo pitkään ollut yrityksen tuotannossa. Tuoteperheelle on vuonna 2008 tehty tarkastelu robottihitsattavuuden näkökulmasta ja samalla listattu erilaisia muutosehdotuksia tuotteen osiin ja rakenteeseen. Yritys oli ulkoistamassa kyseisen tuotteen valmistusta, joten oli otollinen aika tarkastella tuotteen valmistettavuutta myös hitsauskiinnittimen näkökohdista.

Tuotteiden uusi valmistaja oli tiedossa ja myös mukana HiKi-projektissa. Tämä helpotti paljon kiinnittimen suunnittelua, koska oli tiedossa millaiseen tuotantoympäristöön kiinnitin tulee käyttöön.

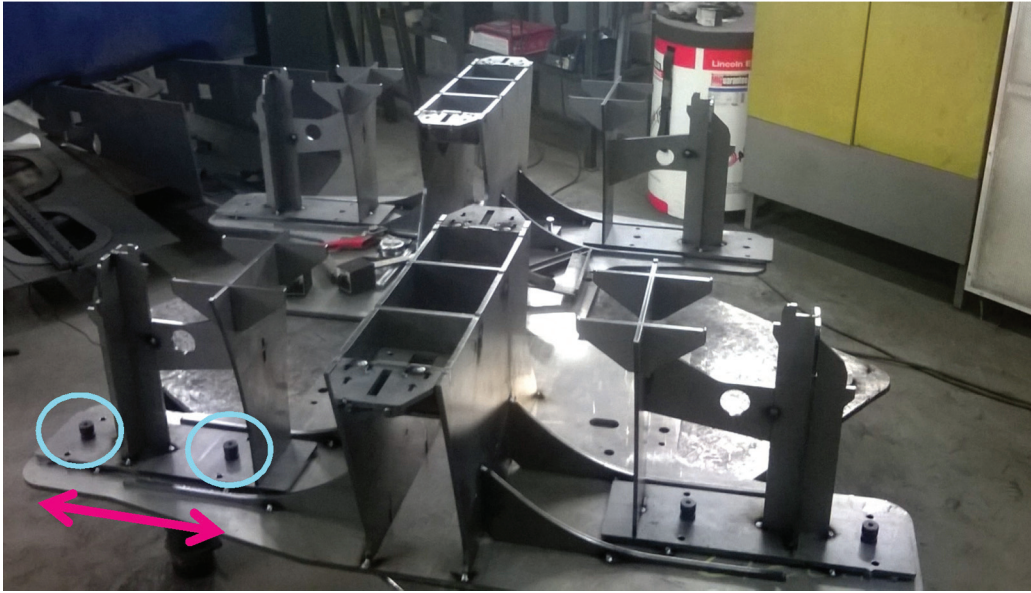
Itse tuotteeseen tutustuttiin kokoonpanovaiheessa, jolloin saatiin selville millaisia toiminnallisia vaatimuksia tuotteella on. Tutustumisen aikana tehtiin havaintoja ja kirjattiin muutos ehdotuksia sekä tuotteen kokoonpantavuutta että robottihitsausta huomioiden.

Kiinnitinsuunnittelun yhteydessä laadittiin myös muutosehdotuksia robottihitsauksen asettamien vaatimusten mukaan. Tuotteita oli tarkoitus lähitulevaisuudessa kehittää, huomioiden myös robotisoinnin vaatimukset, mutta kiinnitin piti saada tuotantokäyttöön jo ennen näitä muutoksia. Vaihtoehdoksi jäi, että kiinnitin toteutetaan sellaisia paikoituspintoja hyödyntäen, että tuotteeseen tulevat muutokset eivät aiheuta muutoksia kiinnittimeen.

Kiinnittimen toteutusvaihtoehtojen pohdinnan jälkeen päädyttiin yhdistettyyn silloitus- ja hitsauskiinnittimeen. Kiinnitin suunniteltiin siten, että tuotteen kiinnittäminen tehdään mekaanisesti pulteilla. Hankkeen kokeellisuuden takia kiinnittimeen toteutettiin myös paikat magneeteille. Kustannustehokkuutta yhdistelmäkiinnittimeen haettiin suunnittelemalla kaikille tuoteperheen tuotteille sopiva perusrunko, johon voidaan kiinnittää tuotekohtaisia paikoitusosia. Lisäksi tuotteen kokoonpanoasento käännettiin aikaisemmasta poikkeavaksi. Uudessa asennossa tuotteen osat voidaan laskea kokoonpanoon ylhäältä alas ja tuotteen kääntöjä silloitettaessa tulee vähemmän. Tuoteperheen kahden isoimman tuotteen mitat erosivat vain vähän, joten päädyttiin toteuttamaan kuvassa 5.1.2. esitetyn kaltaisilla pikakiristystapeilla lukittavat, siirrettävissä olevat paikotusmoduulit (Kuva 6.3.1).

Kiinnittimen osiin suunniteltiin paikoitushahloja, joiden avulla kahden kiinnittimen kokoonpano toteutettiin yhden työpäivän aikana. Hahloja hyödyntämällä mittaustarve oli vähäistä, pääasiassa tarvittiin suorakulmaa, jolla voitiin todeta osien olevan oikeassa asennossa.

Tämän raportin kirjoitushetkellä ei ollut vielä käytettävissä valmistettujen kiinnittimien käyttökokemustietoja, joten mahdollisista muutos- ja säätötarpeista, joita usein ilmenee kiinnittimen käyttöönottovaiheessa, ei valitettavasti ole tietoa.



Kuva 6.3.1. Tuotteen silloitukseen ja robotisoituun hitsaukseen tarkoitettu kiinnitin ja säädettävät paikoitusmoduulit.

6.4. Sylinterin koteloiden hitsauskiinnitin

Kyseessä on tuoteperhe, joiden kaikille tuotteille oli tavoite saada yksi yhteinen robottihitsaukseen soveltuva hitsauskiinnitin. Tuotteiden teoreettiset robottihitsausajat laskettiin hitsauskuvien pohjalta. Tuotteiden hitsausajat todettiin melko lyhyiksi, joten asetusten tekoon ja kappaleen vaihtoon menevän ajan pitää myös olla lyhyt. Lyhyt vaihtoaika otettiin yhdeksi kiinnitinsuunnittelun tavoitteeksi. Yhden hitsauskiinnittimen tavoitteeseen pääsemiseksi, haettiin kaikille tuotteille yhteistä kiinnitykseen hyödynnettävissä olevaa piirrettä. Mekaanisen kiinnityksen rinnalla pohdittiin samoja IXTUR:n magneetteja, joiden käytettävyyttä hankkeen muissakin case-tapauksissa tutkittiin.

Lähtökohtana magneettien hyödyntämiselle oli niiden yksinkertaisuus ja kiinnityksen nopeus. Yhdellä magneetilla ja yksinkertaisella kiinnittimen muodolla, voitaisiin hoitaa kaikkien tuoteperheen tuotteiden hitsaus. Magneetin kiinnipitovoimaa testattiin tuotteella, jonka paino oli noin 40 kg ja kiinnityskohdan ainevahvuus 6 mm. Kiinnityskohdasta oli kuvassa 6.4.1 näkyvän tuotteen takana keskellä, melko lähellä tuotteen painopistettä. Kun ainevahvuus on 6 mm, luvataan magneetille noin puolet suurimmasta kiinnipitovoimasta eli 180 kg. Testeillä haluttiin kokeilla tuotteen pysymistä kiinnittimessä, jos robottijärjes-

telmä pysähtyy nopeasti. Testeissä todettiin että yhdellä magneetilla, käytettäessä maltillisia robotin nopeuksia, tuote pysyy hyvin kiinni kiinnittimessä, mutta hätäseis-pysäytys saa tuotteen irtoamaan. Kiinnipysyminen olisi voitu varmentaa mekaanisella lisäkiinnityksellä, mutta silloin magneetin antama hyöty kiinnityksen yksikertaisuudesta ja nopeudesta olisi menetetty.



Kuva 6.4.1. Sylinterikotelon kiinnityksen testaamista laboratoriossa.

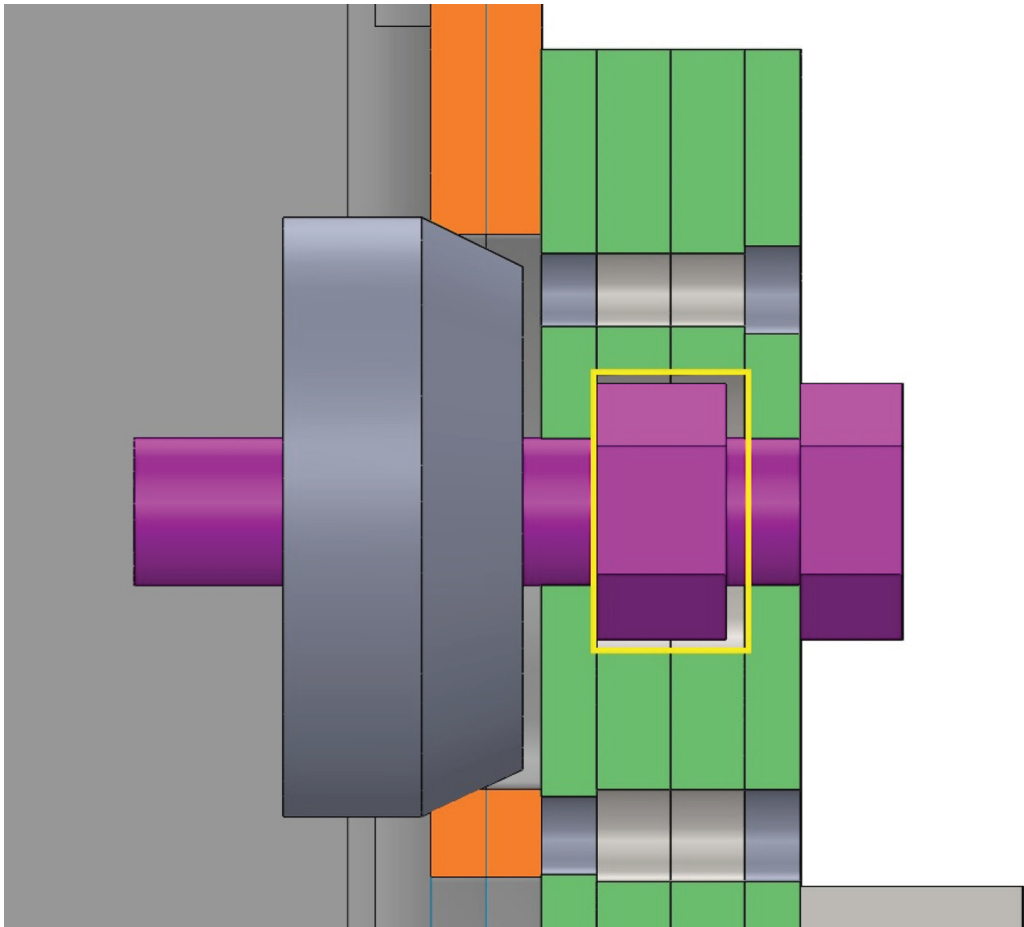
Lisäämällä toinen magneetti olisi tuotteen pysyvyys todennäköisesti varmistettu myös hätäpysäytyksen aikana, mutta magneettien määrä itse tuotantokiinnittimeen olisi jouduttu tuplaamaan, joka taas olisi nostanut hintaa merkittävästi.

Tuotteen kiinnitys kiinnittimeen päätettiin toteuttaa mekaanisesti, pultein ja kartioin. Kaikissa tuoteperheen tuotteissa oli lähes saman kokoisia reikiä vastaavissa kohdissa. Tuotteen suunnittelijalta tiedusteltiin onko reikien kokoja ja sijaintia mahdollista yhtenäistää. Muutokseen saatiin hyväksyntä, jolloin tuotteiden kiinnitys voitiin yhtenäistää.

Etäohjelmointiohjelmistolla tehdyn ulottuvuus tarkastelun perusteella tuotteiden asemointi kiinnittimeen varmistettiin toimivaksi. Tämä sa-

neli tuotteen latausasennon kiinnittimeen, jonka pohjalta lopullinen kiinnitysratkaisu suunniteltiin.

Robottisolun operaattorilla on käytettävissä nosturi ja mutteriväännin. Jotta operaattorilla olisi mahdollisimman vähän irto-osia, suunniteltiin kiinnitykseen käytettävä ruuvi-kartio rakenne sellaiseksi, ettei ruuvi irtoa kiinnittimestä. Vain paikoittava kartio on irtonainen. Lisäksi kiinnittimeen toteutettiin ripustinkoukku, jonka varaan operaattori voi nosturilla tuotteen laskea lepäämään ja vasta sen jälkeen käyttää käsiään kartion asettamiseen ja mutterivääntimen käyttöön. Kuvassa 6.4.2. näkyy vihreällä värillä levyleikkeistä koottu kiinnitin, johon on toteutettu tasku mutterille, jolloin kiinnitysruuvi ei irtoa kiinnittimestä. Rakenne on koottu ruuvein ja se on purettavissa huoltoa varten.



Kuva 6.4.2. Kiinnittimen levyleikkeistä toteutettu rakenne ja kiinnitykseen käytettävä kartio.

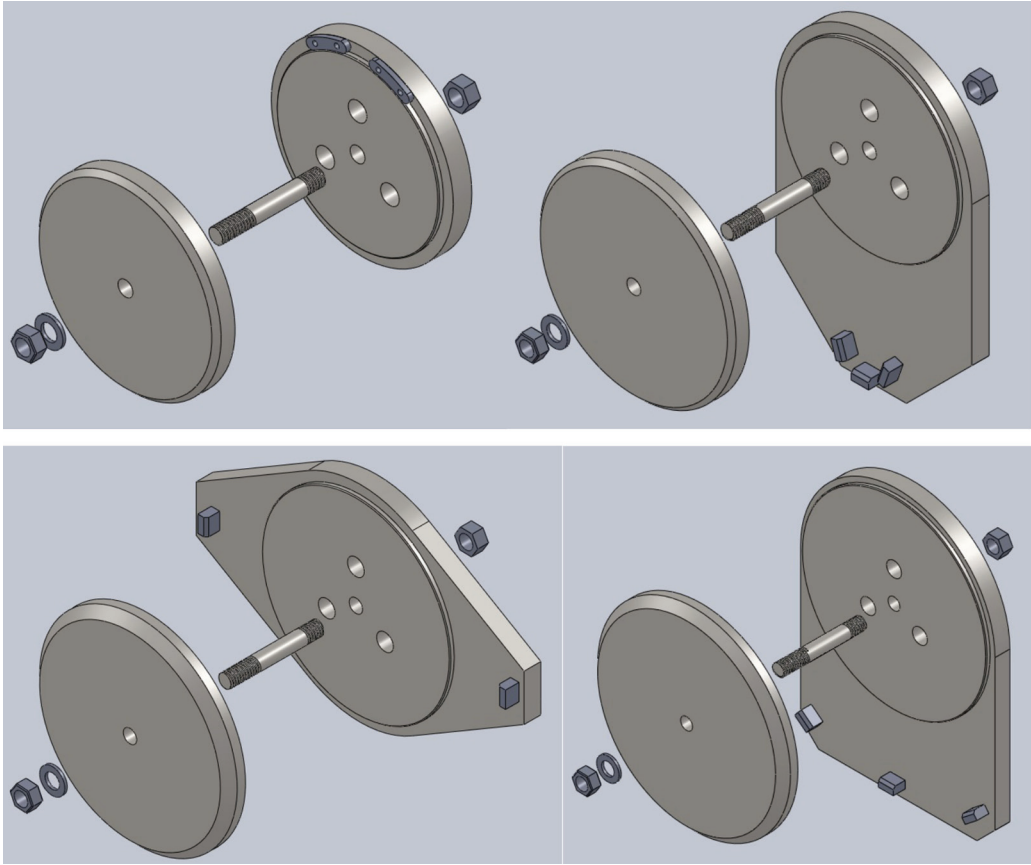
Kiinnittimen rungon koko jouduttiin minimoimaan, jotta robotilla olisi mahdollisimman hyvä ulottuvuus kaikkiin hitseihin. Käyttäjiltä saadun palautteen mukaan, kiinnitinrunko ei ollut siirrettäessä riittävän jäykkä, joten sitä on myöhemmin jäykistetty. Jäykistämistarpeeseen vaurauduttiin jo suunnitteluvaiheessa, jättämällä kiinnittimeen sitä varten tilaa.

6.5. Rullaston runkojen hitsauksen uudelleen suunnittelu

Kahdestatoista osasta koostuvan tuoteperheen hitsaus haluttiin robotisoida. Käsivaraeisessa hitsauksessa on ollut käytössä tuotekohtaiset hitsauskiinnittimet, joita on käytetty sekä silloitukseen että itse hitsaukseen. Hitsauksen jälkeen tuotteet siirtyvät jälkikoneistukseen ja pintakäsittelyyn ennen loppukokoonpanoa.

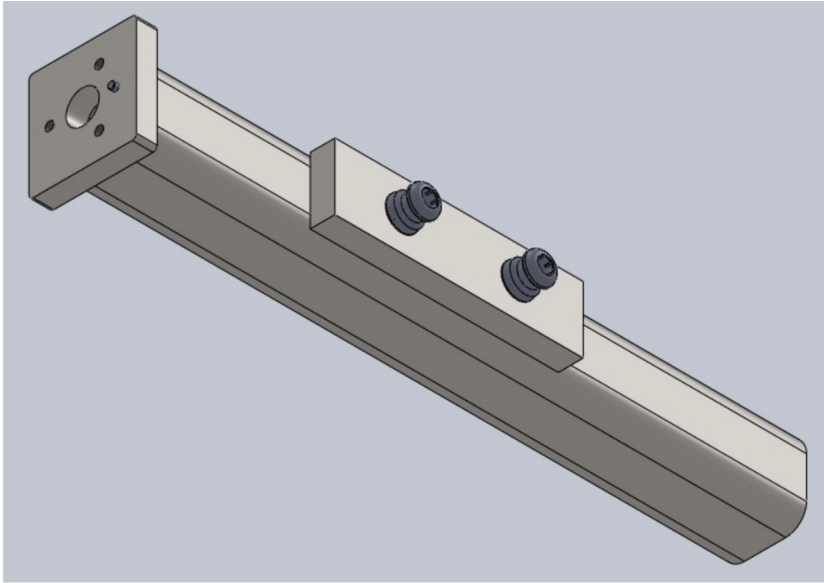
Työn tavoitteena oli analysoida työvaiheet ja niiden vaatimukset silloituksesta robottihitsatuksi tuotteeksi. Kokonaisuutta tarkasteltiin työvaiheiden sujuvuutta ja laatua arvioimalla. Lopuksi oli tarkoitus mitata robottihitsauksella saavutettavia etuja. Tavoitteena oli myös minimoida kiinnitintarve. Jos mahdollista, kaikki tuotteet hitsattaisiin samanlaisella kiinnittimellä. Valmistuksen eräkojen pohjalta arvioitiin, kuinka monta tuotetta yhdellä asetuksella tulisi voida hitsata, eli kuinka monipaikkainen kiinnitin tai kuinka monta kiinnitintä tarvittaisiin.

Työ aloitettiin tutustumalla valmistuksen nykytilaan. Samaan aikaan myös aloitettiin tuotteiden yhteneväisten piirteiden arviointi. Tuotannon nykytilaa seuraamalla huomattiin, että käsihitsauksen tarpeisiin tehtyjä hitsauskiinnittimiä voidaan hyödyntää jatkossa silloituskiinnittiminä, joten työn painopiste siirrettiin robottihitsauksen kehittämiseen. Kaikkia tuotteita yhdistävää selvää piirrettä ei tuotteista löytynyt, joten tuotteet päätettiin ryhmitellä kiinnityksessä käytettävien piirteiden mukaisesti. Seuraavaksi pohdittiin erilaisia kiinnitystapoja, joista valituksi tuli vakioitu perusrunko, johon voidaan kiinnittää helposti neljä erilaista kiinnityslevyä (kuva 6.5.1).

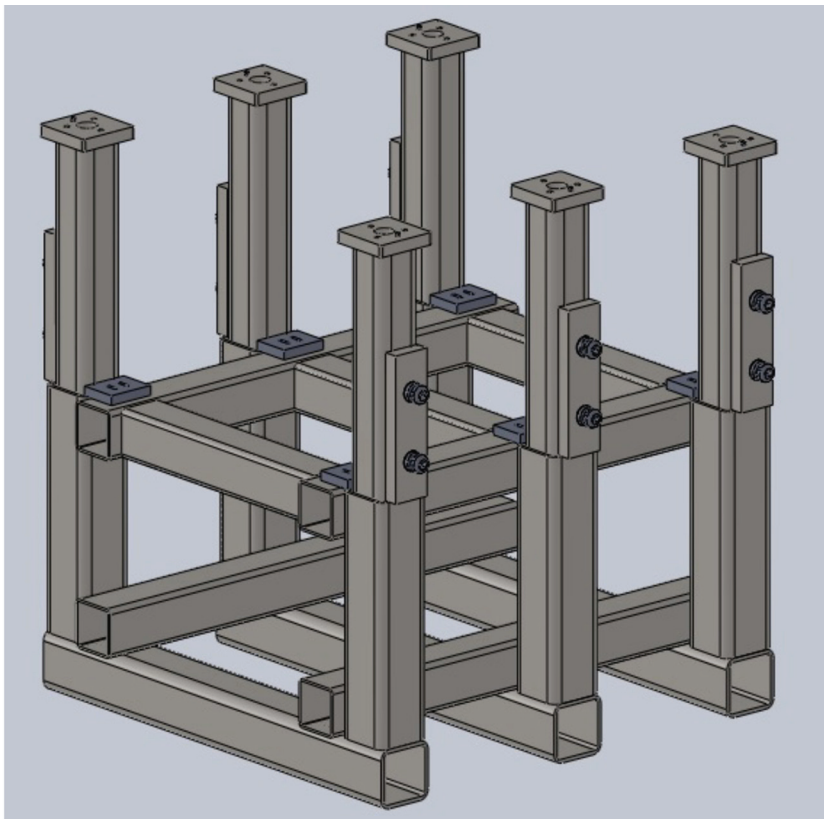


Kuva 6.5.1. Hitsauskiinnittimen varioituva osuus eli neljä erilaista kiinnityslevyä [Hirvonen N., 2015].

Robottisolussa, jossa tuote on tarkoitus hitsata, myös tuotteen käsittely hoituu robotisoidusti. Käsittelyrobottia varten hitsauskiinnittimen perusrunkoon asemoitiin nollapiste-tartuntaelementit (kuva 6.5.2). Lisäksi suunniteltiin kuusi paikkainen, helposti liikuteltavissa oleva palettirunko (kuva 6.5.3). Tuotteiden valmistuksen eräkoot, toimivat perusteena kuuden paikan valinnalle. Työkierto alkaa käsittelyrobotin noudettua paletilta ensimmäisen hitsattavan tuotteen ja loppuu kun viimeinen tuote palautetaan hitsattuna takaisin paletille.



Kuva 6.5.2. Hitsauskiinnittimen perusrunko, jossa nollapistekiinnityselementit [Hirvonen N., 2015].



Kuva 6.5.3. Palettirunko, jossa hitsauskiinnittimet ilman kiinnityslävyjä [Hirvonen N., 2015].

6.6 Ixtur-magneetit hitsauskiinnittiminä

Savonialla oli HiKi-hankkeen aina testikäytössä 4 kpl Ixtur:n MA-300 magneetteja sekä niiden käyttöön tarvittava ohjausyksikkö. Kokemuksemme mukaan magneetteja usein vierastetaan hitsauksessa, niiden aiheuttamien ongelmien takia. Magneetti voi aiheuttaa häiriöitä hitsausprosessiin (valokaareen), työkappaleissa voi esiintyä jäännösmagnetismia ja magneetteihin ja magnetoituneisiin pintoihin voi kertyä metalliperäistä roskaa. Myös magneettien lämmönkesto tulee huomioida niiden käyttöä suunniteltaessa. Ixtur:n magneetteja markkinoidaan myös hitsaussovelluksiin sopivina ja käytännön testeillä haluttiin tämä soveltuvuus varmentaa. Testeissä jäljiteltiin osittain Ixtur:n aiemmin toteuttamia hitsaustestejä.

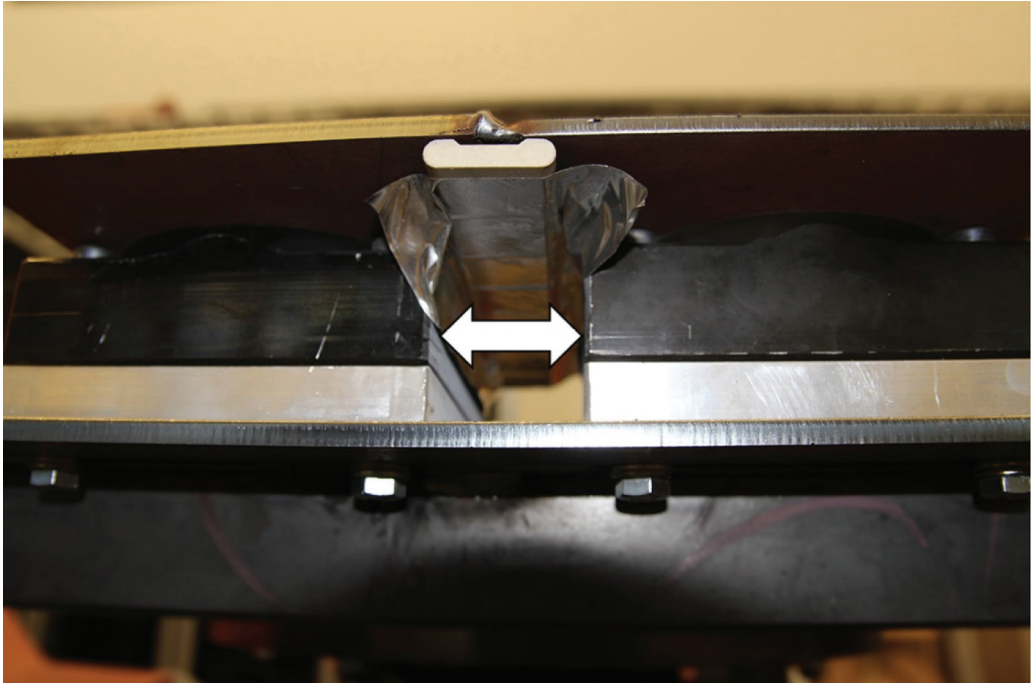
Tässä raportissa käsitellään magneettien vaikutusta, valokaaren käyttäytymisen ja hitsin visuaalisen laadun kannalta. Tämä raportti ei ota kantaa tunkeumaan, eikä mahdollisiin sisäisiin hitsausvirheisiin, joita magneettien vaikutuksesta voi syntyä.

- Perusaine: Hardox 400 -kulutusteräs. S 4-8 mm.
- Lisäaine: Esab Autorod OK 12.51, Ø 1,2 mm
- Suojakaasu: Mison 18%

Hitsausprosessina käytettiin MAG-pulssihitsausta, jota voidaan yleisesti pitää häiriöherkempänä kuin MAG-hitsausta tasavirralla.

Testi 1

Ensimmäinen testi toteutettiin 4 ja 6 mm paksujen levyjen päittäisliitoksena. Tavoitteena oli todentaa, vaikuttaako kahden vierekkäisen magneetin käyttö niiden väliin tehtävän hitsin toteuttamiseen. Magneettien väleinä käytettiin 40, 30, 20 ja 10 mm:n etäisyyksiä (kuva 6.6.1). Juuren puolella käytettiin keraamista juuritukea.



Kuva 6.6.1. Magneettien välimatka testien aikana 40, 30, 20 ja 10 mm.

Tulokset

Magneettien välisellä etäisyydellä ei havaittu olevan vaikutusta valokaaren käyttäytymiseen tai hitsin visuaaliseen laatuun. Hitsi sijoittui magneettien puoliväliin.

Lisäksi toteutettiin myös testi, jossa toinen magneetti poistettiin kokonaan. Tällä haluttiin varmistaa, etteivät vierekkäiset magneetit kumoa toistensa vaikutusta. Hitsi sijoittui tällöin 5 mm:n etäisyydelle magneetista. Magneetilla ei ollut vaikutusta valokaaren käyttäytymiseen, eikä hitsin visuaaliseen laatuun.

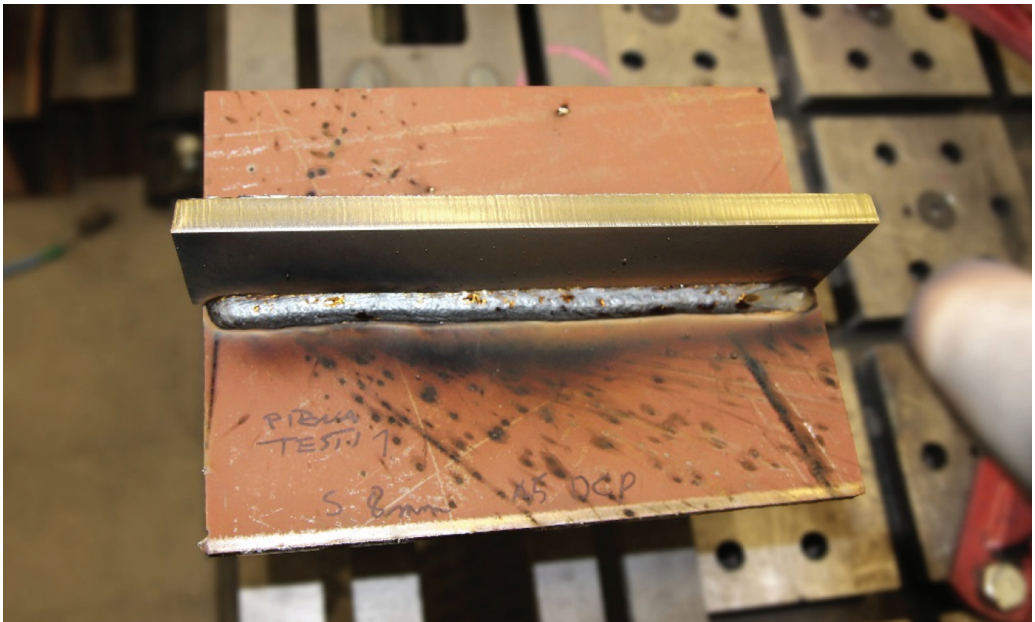
Testi 2

Toinen testi toteutettiin vastaavalla tavalla kuin Ixtur:n aiemmin toteuttamat testit 8 mm:n levyllä. Mielenkiinnon ja vertailun vuoksi testit tehtiin myös 6 mm levyllä. Testit toteutettiin pienahitsinä hitsausasunnoissa PA (jalkohitsi) ja PB (alapiena), siten että hitsaus tapahtui magneetin sydämen yli (6.6.2).



Kuva 6.6.2. Pienen pohjalevy kiinni magneetissa.

8 mm:n levyllä asennossa PB valokaaren palamisessa oli pientä poikkeamaan riippuen missä kohtaa magneetti vastapuolella sijaitsti. Valokaaren roiskeisuus vaihteli myös riippuen magneetin sydämen sijainnista. Hitsin vaakalevyn puoleinen rajaviiva muotoutui vaihtelevasti (kuva 6.6.3). Magneettivuon on selvästi vaikuttanut hitsiin, koska muotoikkeamat toistuivat symmetrisinä.



Kuva 6.6.3. Hitsin rajaviivan muotoutuminen magneetin navan sijainnista johtuen.

Asennossa PB magneettivuon vaikutus hitsin muotoutumiseen oli vähäisempi (kuva 6.6.4). Roiskeita oli hieman vähemmän kuin asennossa PA. Molemmissa asennoissa vapaalanka ja poltin kulmat olivat samat. Asennossa PA, magneettivuon vaikutus on ollut vähäisempi ja hitsi muotoutui visuaalisesti selvästi paremmin, kuin asennossa PB (kuva 6.6.4).



Kuva 6.6.4. Asento PA, magneettivuosta ei näkyviä vaikutuksia hitsiin.

Testit toteutettiin myös 6 mm paksulle levyllä PB asennossa. Valokaaren käyttäytyminen oli erittäin epävakaata ja roiskeita syntyi runsaasti. Hitsin muoto oli vaihteleva (kuva 6.6.5). Levyn ohentuessa, lämpö pääsee vaikuttamaan enemmän magneettiin. Lämpökuormalla on vaikutusta sekä magneettien kestoikään että sen pitokykyyn.

Testien pohjalta yhteenvetona voidaan sanoa että Ixtur:n MA-300 magneetit soveltuvat hitsauksen aikaiseen käyttöön melko joustavasti. Jos materiaali paksuudet ovat kahdeksasta millimetristä ylöspäin tai hitsausta ei tarvitse tehdä juuri magneetin alueella, ovat magneettivuon vaikutukset valokaareen vähäiset.



Kuva 6.6.5. Magneettivuon vaikutus hitsiin 6 mm paksulla levyllä.

6.7. Kiinnittimen mittaussuunnitelman laadinta

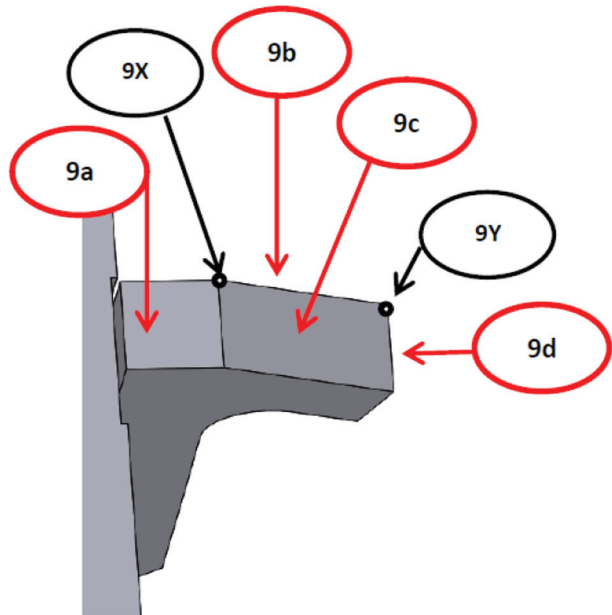
Mittaustoiminta on osa tuotantoketjua ja vaikuttaa näin suoraan konepajan tuottavuuteen. Mittaus-suunnitelmien avulla pyritään nopeuttamaan mittaustapahtumia ja niiden toistettavuutta. Hitsaus- ja silloituskiinnittimien mitoitus ei aina perustu valmiin tuotteen mittoihin, vaan tapauksittain kiinnittimen vastinpintoihin on säädettävä ennakot hitsauksessa syntyvien vetelyjen ja muodonmuutosten takia. Ennakkojen määrittäminen onnistuu harvoin laskemalla, joten niiden todentaminen vaatii käytännön tutkimusta, kokeilua ja mittauksia.

Mittaussuunnitelma laadintaa varten on mieltävä ainakin seuraavia asioita:

- mitä kohtia kiinnittimestä on tarkoituksenmukaista mitata (vaatimukset, toiminnallisuus)
- miten mittaukset tulee suorittaa (mittaväline, mittapisteiden määrä...)
- missä järjestyksessä mittaukset tulee suorittaa (jouheva työn kulku)
- miten mittaukset kirjataan ja dokumentoidaan (paperille, Excel...)
- miten suunnitelma laaditaan, että sitä voidaan tarvittaessa helposti päivittää

Tässä kerrottu kiinnittimen mitaussuunnitelman laadinta toteutettiin kappaleessa 6.2. esitellylle telirungon kiinnittimille. Telirungossa on useita lopputuotteen toiminnallisuuden kannalta kriittisiä mittoja, joiden toteutumiseen silloituskokoonpanon onnistumisella voidaan ratkaisevasti vaikuttaa (kuva 6.7.1.). Yrityksellä oli käytössä siirrettävä Faro -nivelfarsikoordinaattimittauskone, joka mahdollistaa hyvin monipuolisten mittauksen teon 3D-maailmassa ja joka ohjelmallisesti pystyy opastamaan mittaajaa mittauksen suorituksessa. Tavoitteena oli määrittää lopputuotteen kannalta olennaiset silloituskiinnittimien mittapistet sekä laatia mittausohjelma.

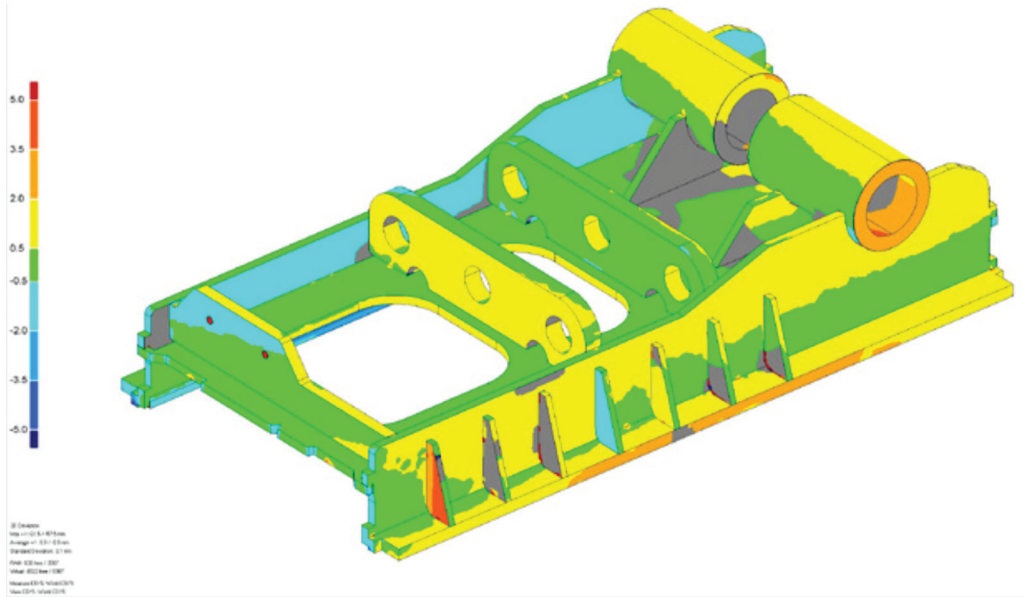
Ellei yrityksellä olisi ollut käytettävissä näin monipuolista mittalaitetta, olisi mittalaitteiden valintaan pitänyt kiinnittää erityistä huomiota. Mittauksen toistettavuus ja sitä kautta luotettavuus voisi muutoin osoittautua kyseenalaiseksi. Manuaalisia ja useita erilaisia mittalaitteita käytettäessä, tulee erityisesti kiinnittää huomio mittauksen ohjeistuksen luotavuuteen ja ymmärrettävyyteen. Suurin ohjeiden kirjoittamisen haaste on saada käyttäjät lukemaan niitä. Seuraava haaste on asioiden esittäminen niin, ettei lukija tulkitse niitä väärin.



Kuva 6.7.1. Esimerkki mitattavista pisteistä.

Tarkoituksenmukaisen mittavälineistön puuttuessa ja etenkin harvoin tapahtuvissa mittauksissa voi olla järkevää käyttää ulkopuolista mittauspalvelua. Jos mittaustapahtuma on saatava hyvin nopeaksi ja/tai pitkälle automatisoiduksi, voidaan käyttää myös kosketuksettomia mittausmenetelmiä, kuten 3D-skannausta (kuva 6.7.2). Skannattua kuvaa ja CAD-mallia voidaan verrata ohjelmallisesti sekä antaa tuotteen mitoille ja muodoille toleranssirajoja, jolloin itse mittaustapahtuma voidaan jopa kokonaan automatisoida. Nopeuden ja kosketuksettomuuden käänköpuolena on 3D -skannauksen tarkkuus, joka on tyypil-

lisesti luokkaa $\pm 0,1\text{mm}$ tai laajoissa skannauksissa tätäkin heikompi. Autoteollisuus, yhtenä sovellusesimerkkinä, käyttää 3D -skannausta, tuotantolinjalla tapahtuvaan auton korien automatisoituun mittaamiseen.



Kuva 6.7.2. Suunnitteluohjelmalla tuotetun 3D-mallin ja skannaamalla tuotteesta luodun 3D-mallin erojen tarkastelu [Jääskeläinen E., Solehmainen K., Tuunainen A., 2010].

Kiinnittimen käyttöönoton yhteydessä, on syytä varmistaa kiinnittimen mittatarkkuus ja toiminta sekä tehdä kiinnittimen käytön kannalta tärkeät dokumentointi- ja merkkaustoimenpiteet. Työ alkaa kiinnittimen ja mahdollisesti kiinnittimessä silloitetun, mutta ainakin hitsatun tuotteen lähtötilannemittauksella. Saatujen mittatietojen perusteella analysoidaan kiinnittimen säädöntarvetta, ja/tai tehdään muutoksia hitsausjärjestykseen. Säättöjen ym. muutosten jälkeen hitsataan uusi tuote ja toistetaan mittaukset. Kun hitsatun tuotteen mittatarkkuusvaatimukset on saavutettu, viimeistellään dokumentaatio, jonka jälkeen kiinnitin on valmis tuotantoon.

Jatkossa mittaus suunnitelman tulisi olla osa kiinnittimen huolto- ja ylläpito-ohjelmaa. Tämän lisäksi mittaus suunnitelma toimii tarkastuksen ohjeena, mikäli tuotteissa huomataan mittavirheitä.

7. YHTEENVETO

Tässä raportissa on pyritty kuvaamaan hitsauksessa käytettävien kiinnittimien suunnittelun pääpiirteet. Kappaleessa neljä on käsitelty laajasti, mitä kaikkea tulisi ottaa huomioon kiinnitintä suunniteltaessa. Kappaleessa viisi on vastaavasti kuvattu joustavia kiinnitinratkaisuja, joita mahdollisesti voidaan soveltaa lyhyen elinkaaren tai muutoin pienten sarjojen tuotteissa perinteisempiä kiinnitinratkaisuja kustannustehokkaammin. Kappaleeseen kuusi on esitetty esimerkkien avulla miten kiinnitinprojektissa on edetty sekä perusteluja miksi on päädytty valittuihin ratkaisuihin. Kiinnitinsuunnittelu on lähes aina kompromissien tekemistä. On vain löydettävä riittävän hyvä, ellei paras kompromissi eri intressien välillä.

Hitsaavassa tuotannossa kiinnittimillä on tärkeä merkitys niin tuotannon laadun kuin tuottavuuden näkökohdista. Toisinaan tosin kuulee hitsaajien kommentteja myös kiinnittimien käytön vastustuksesta. Syynä voi olla huonosti tehtäväänsä soveltuva kiinnitin, mutta myös työn vaihtelevuus voi olla taustavaikuttimena. Ilman kiinnitintä hitsaaja joutuu pohtimaan työjärjestyksiä, mittaamaan osien paikkaa sekä tekemään monia muitakin työvaiheita, jotka poistuvat tai ainakin vähenevät kiinnittimien käytön myötä. Kiinnittimet kuitenkin ovat hyvin tärkeitä hitsaavan tuotannon apuvälineitä. Niin sanotusti ”polven päällä” tekeminen ei ole teollista tuotantoa, eikä kiinnittimiä täysin korvaavia apuvälineitä ole näköpiirissä.

Uusia tuotantomenetelmiä toki tulee, joilla voi olla ja onkin vaikutusta hitsaukseen, lisäävä valmistus yhtenä esimerkkinä. Lisäävän valmistuksen menetelmillä on mahdollista valmistaa yhtenä osana tuote, joka on aiemmin koostunut useista, jopa kymmenistä komponenteista. Samalla uuden valmistusmenetelmän tuote voi painaa vain murto-osa vanhasta ja olla lujuudeltaan aivan yhtä hyvä ellei jopa parempi. Lisäksi tuotteeseen on voitu lisätä muita haluttuja ominaisuuksia, vaikkapa paremmat jäädytysominaisuudet, joita ei perinteisten valmistustekniikoiden tuotteisiin ole valmistusteknillisesti tai kustannussyistä voitu tehdä. Toistaiseksi lisäävä valmistus metallisissa tuotteissa on kuitenkin keskittynyt pienehköihin erikoistuotteisiin, mutta tulevaisuus tuo varmasti uusia mullistavia tekniikoita ja kamppailu perinteisten valmistustekniikoiden kanssa kiihtyy.

Muista valmistusmenetelmistä riippumatta, hitsaus on ja tulee varmasti pitkälle tulevaisuuteen olemaan merkittävä liittämismenetelmä. Liittäminen on avainsana ja ennen kuin osat voidaan liittää, ne on saatava asemoitua ja siinä on usein kiinnittimillä tehtävää. Kiinnittimien suunnittelijoilla on siis työsarkaa, joka on usein osin ristiriitaisten vaatimusten kanssa tasapainoilua. Toivottavasti tämä raportti antaa edes joitakin uusia ideoita, kiinnittimien kanssa työskentelevien arkea helpottamaan.

8. LÄHTEET

Alonen A., & al.: HITNET - Hitsaavan teollisuuden hankintatoimen ja toimitusketjun tehostaminen, loppuraportti, http://portal.savonia.fi/amk/sites/default/files/pdf/tki_ja_palvelut/julkaisut/2014-hitnet-loppuraportti.pdf

American Welding Society and Edison Welding Institute. Economic impact and productivity of welding. Heavy manufacturing industries report, 2001

Bonea M., Capson D.: Vision-guided fixtureless assembly of automotive components, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 19, 2003, 79–87

BuildPro, Modular Welding Tables, Tuotekuvasto, 2014, http://www.stronghandtools.com/stronghandtools/catalogs/buildpro_met.pdf

Hirvonen N.: Rullaston runkojen hitsausprosessin uudelleen suunnittelu, opinnäytetyö, 2015, <https://www.theseus.fi/handle/10024/92258>

Jääskeläinen E., Solehmainen K., Tuunainen A.: Uudet innovaatiot hitsausautomaatiossa, HitSavonia II –hankkeen loppuraportti, 2010, http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/_tki-ja-palvelut/julkaisutoiminta/pdf/hit2netversio.pdf

Kemppi J.: Suunnittelun merkitys tuotantokustannuksiin hitsauksessa, http://www.lahtimecatronics.fi/filebank/1153-CTS_Engteg_-_Suunnittelun_merkitys_tuotantokustannuksiin_hitsauksessa-Juha_Kemppi.pdf

Lappalainen I.: Lasertyöstöprosessit, 4.2.2015 Savonia-ammattikorkeakoululla pidetyn Hitsauskiinnittinkoulutuksen luentomateriaali

Leino K., Meuronen I.: Hitsauskiinnittimen suunnittelu. MET Tekninen Tiedotus 15/87, 1987, Mänttä, Mäntän Kirjapaino Oy.

SFS-EN ISO 13920, 1996, Hitsaus. Hitsattuja rakenteita koskevat yleis- toleranssit. Pituus- ja kulmamitat. Muoto ja sijainti. Metalliteollisuuden Standardoimiskeskus

Shirinzadeh B.: Flexible fixturing for workpiece positioning and constraining, *Assembly Automation*, 22, 2002, 112 - 120

Shirinzadeh B.: Strategies for planning and implementation of flexible fixturing systems in a computer integrated manufacturing environment, *Computers in Industry*, 30, 1996, 175 – 183

Silberwolf: Toggle-clamp pneumatically 3D closed-opened, Wikimedia Commons, the free media repository, 2007, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Toggle-clamp_pneumatically_3D_closed-opened.png

Silberwolf: Toggle-clamp manual horizontal 3D closed-opened, Wikimedia Commons, the free media repository, 2007, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/de/Toggle-clamp_manual_horizontal_3D_closed-opened.png

Strong hand Tools, Tuotekuvasto, 2015, http://www.stronghandtools.com/stronghandtools/catalogs/stronghandtools_met.pdf

Wang H.: Rong Y., Case based reasoning method for computer aided welding fixture design, *Computer-Aided Design*, 40, 2008, 1121 – 1132

Wang H.: Rong Y., Computer aided fixture design: Recent research and trends, *Computer-Aided Design*, 42, 2010, 1085 – 1094

Xiong L., Molfino R., Zoppi M.: Fixture layout optimization for flexible aerospace parts based on self-reconfigurable swarm intelligent fixture system, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66, 2013, 1305–1313

Zieliński C., & al.: Control and programming of a multi-robot-based reconfigurable fixture, *Industrial Robot: An International Journal*, 40/4, 2013, 329–336



HITSAUSKIINNITIN VAI JOUSTAVA HITSAUSKIINNITIN

HITSAUKSEN LAADUNHALLINTA JA KIINNITINTEKNIikka (HIKI) PROJEKTIN LOPPURAPORTTI

Tämän raportin tavoitteena on antaa hitsaavassa tuotannossa työskenteleville uusia ajatuksia kehittää omaa työtään, sekä olla kiinnitinsuunnittelijoille ja muille asiasta kiinnostuneille tiivis tietopaketti kiinnitinsuunnitteluun. Yhtenä työn alkusäyksenä oli havainto, että hitsauskiinnittimiin ja niiden suunnitteluun liittyvää kirjallisuutta on saatavilla erittäin vähän. Raportin alkupuolella on kuvattu hitsauksessa käytettävien kiinnittimien suunnittelun pääpiirteet ja vaiheet. Seuraavaksi on esitetty suunnittelussa huomioon otettavia seikkoja sekä erilaisia kiinnitystekniikoita. Loppuun on koottu esimerkkejä, joiden avulla on pyritty havainnollistamaan kiinnitinsuunnitteluprojektin etenemistä sekä perusteluja rakenneratkaisujen takana. Kiinnitinsuunnittelu on lähes aina kompromissien hakemista. On vain löydettävä riittävän hyvä, ellei paras kompromissi eri intressien välillä.

Hitsaavassa tuotannossa kiinnittimillä on tärkeä merkitys niin tuotannon laadun kuin tuottavuuden näkökohdista. Toisinaan tosin kuulee hitsaajien kommentteja myös kiinnittimien käytön vastustuksesta. Syynä voi olla huonosti tehtäväänsä soveltuva kiinnitin, mutta myös työn vaihtelevuus voi olla taustavaikuttimena. Ilman kiinnitintä hitsaaja joutuu pohtimaan työjärjestyksiä, mittaamaan osien paikkaa sekä tekemään monia muitakin työvaiheita, jotka poistuvat tai ainakin vähenevät kiinnittimien käytön myötä. Kiinnittimet kuitenkin ovat hyvin tärkeitä hitsaavan tuotannon apuvälineitä. Niin sanotusti ”polven päällä” tekeminen ei ole teollista tuotantoa, eikä kiinnittimiä täysin korvaavia apuvälineitä ole näköpiirissä.

