

Veli-Pekka Pöppönen

Robotisoidun MIG/MAG-hitsauksen käyttö Metso Automation Oy:n venttiilin valmistuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

22.4.2014

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Veli-Pekka Pöppönen Robotisoidun MIG/MAG-hitsauksen käyttö Metso Automation Oy:n venttiilin valmistuksessa 55 sivua 22.4.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessiautomaatio
Ohjaaja(t)	Hitsausinsinööri Jani Kumpulainen Lehtori Jari Olli
<p>Insinöörityön tavoitteena oli tutkia, miten robotisoitua MIG/MAG-hitsausta voidaan hyödyntää Metso Automation Oy:n venttiilin valmistuksessa liitos-, pinnoitus- ja korjaushitsauksissa.</p> <p>Työssä käsiteltiin venttiilin valmistuksessa olevia Q2-pallon äänenvaimenninlevyn, cryo jatkoputkien ja venttiilinpesänjatkoputkien liitoshitsauksia, hiilliteräs -pesien ja -läppien pinnoitushitsauksia sekä läpän ja pesävalun korjaushitsauksia. Lisäksi tehtiin menetelmäkokeet pesänpinnoituksesta ja jatkoputken liitoshitsauksesta.</p> <p>Työntuloksena voidaan todeta, että robotisoitu MIG/MAG-hitsaus soveltuu hyvin venttiilin valmistuksessa tarvittaviin liitos-, pinnoitus- ja korjaushitsauksiin. Myös tehdyt menetelmäkokeet ja niiden rikkomattomat- ja rikkovattestit osoittavat tämän.</p> <p>Robotisoitu hitsaus parantaa myös työolosuhteita ja tasoittaa hitsaamon kuormitusta. Työssä saatuja tuloksia voidaan myöhemmin käyttää muissa pinnoitus-, liitos- ja korjaushitsauksissa.</p>	
Avainsanat	MIG/MAG-hitsaus, robottihitsaus, venttiilin valmistus

Author(s) Title	Veli-Pekka Pöppönen Utilization of robotic MIG/MAG welding in Metso automation valve manufacturing
Number of Pages Date	55 pages 22 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	Process Automation
Instructor(s)	Jani Kumpulainen, Welding Engineer Jari Olli, Technology Manager
<p>The aim of the Bachelor's thesis was to study how robotic MIG/MAG welding can be exploited at Metso Automation valve manufacturing in joint, cladding and repair welding.</p> <p>In the thesis valve manufactured Q2 ball attenuator plate, cryo extension pipe and valve body extension pipe joint weldings, carbon steel body and disc cladding and repair welding of disc and body were studied. In addition welding procedure tests were executed for body cladding and extension pipe welding.</p> <p>As a result of the thesis it was found out that robotic MIG/MAG welding is well-suited for joint, cladding and repair welding needed in valve manufacturing. Also executed welding procedure tests and non-destructive and destructive material tests prove that.</p> <p>Working conditions are improved and the workload of welding workshop is balanced by robotic welding. Results of the thesis can be exploited in the future for other cladding, joint and repair welding.</p>	
Keywords	MIG/MAG welding, robotic welding, valve manufacturing

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tavoitteet ja rajaukset	1
1.2	Tausta	1
1.3	Yritysesittely	2
2	MIG/MAG-hitsaus	3
2.1	Yleistä	3
2.2	Hitsauslaitteisto	3
2.3	Kaarityypit	6
2.3.1	Lyhytkaari	6
2.3.2	Sekakaari	7
2.3.3	Kuumakaari	8
2.3.4	Pitkäkaari	8
2.3.5	Pulssikaari	9
2.3.6	Muut kaarityypit	9
2.4	Hitsausaineet	10
2.4.1	Lisäainelangat	10
2.4.2	Suojakaasut	11
3	Automatisoituhitsaus	14
3.1	Pyörityspöydät	14
3.2	Hitsausrobotit	16
4	Automatisoidun MIG/MAG-hitsauksen soveltaminen tuotantoon	21
4.1	Liitoshitsaus	21
4.2	Pinnoitushitsaus	27
4.3	Korjaushitsaus	28
5	Hitsauskokeet	31
5.1	Venttiilin pesän MIG-pinnoitushitsaus	31
5.2	Venttiilin jatkoputken MAG-liitoshitsausmenetelmäkoe	35

6	Tulokset	42
6.1	Venttiilin pesän MIG-pinnoitushitsaus	42
6.2	Venttiilin jatkoputken MAG-liitoshitsausmenetelmäkoe	43
7	Tulosten tarkastelu	45
7.1	Venttiilin pesän MIG-pinnoitushitsaus	45
7.2	Venttiilin jatkoputken MAG-liitoshitsausmenetelmäkoe	45
8	Yhteenveto	46
	Lähteet	48

Lyhenteet

MIG-hitsaus *Metal-arc Inert Gas welding*. Metallikaasukaarihitsaus inertillä eli reagoimattomalla suojakaasulla.

MAG-hitsaus *Metal-arc Active Gas welding*. Metallikaasukaarihitsaus aktiivisella suojakaasulla.

TIG-hitsaus *Tungsten Inert Gas arc welding*. Wolframi-inerttikaasukaarihitsaus.

WiseRoot+ Modifioitu lyhytkaariprosessi MIG/MAG-hitsaukseen.

WPS *Welding Procedure Specification*. Hitsausohje.

PQR *Procedure Qualification Record*. Menetelmäkoepöytäkirja.

1 Johdanto

1.1 Tavoitteet ja rajaukset

Tässä insinööriyössä tutkitaan, miten robotisoitua MIG/MAG-hitsausta voidaan hyödyntää Metso Automation Oy:n venttiilivalmistuksessa liitos-, pinnoitus- ja korjaushitsauksissa. Työn teoriaosassa käydään läpi MIG/MAG-hitsaus sekä automatisoitu hitsaus. Käytännön osuudessa puolestaan kerrotaan, miten robotisoitua MIG/MAG-hitsausta voidaan hyödyntää venttiilin valmistuksen liitos-, pinnoitus- ja korjaushitsauksissa. Lisäksi esitellään menetelmäkokeet pinnoitus- ja liitoshitsauksista.

1.2 Tausta

Työn taustana on korvausinvestoinnin selvitystyö nykyisen harvoin käytetyn kaukolämpöventtiilien metallitäytelanka MAG-hitsausaseman tilalle. Nykyinen hitsausasema on peräisin 1990-luvun alkupuolelta ja mekanisoituna hitsauksena toteutettuna soveltuu hyvin vain kaukolämpöventtiilien tuotantoon suurissa sarjoissa. Nykyisessä tilanteessa kaukolämpöventtiilejä tehdään harvoin ja sarjakoot ovat pieniä, joten joustavampi automaattioratkaisu voisi mahdollistaa muidenkin tuotteiden tuomisen tehokkaaseen tuotantoon. Robotisoitua -asemaa voisi mahdollisesti käyttää suuriin korjaushitsauksiin, pinnoitushitsauksiin sekä liitoshitsauksiin.

Korjaushitsauksissa käytetään tällä hetkellä pääosin TIG-hitsausta sekä puikkohitsausta. Roiskeettomana TIG-hitsaus soveltuu hyvin valmiiksi koneistettujen osien korjaus- ja tuotantohitsauksiin. TIG-hitsaus on helposti hallittava ja luotettava hitsausmenetelmä, joka soveltuu hyvin suurelle joukolle erilaisia materiaaleja. Tosin haittapuolena on huono hitsiaineen tuotto, jolloin sen käyttö rajoittuu yleensä pieniin korjauksiin ja putkiyhteiden hitsauksiin. Puikkohitsaus on puolestaan tehokkaampi menetelmä ja sillä päästään hitsiaineentuotossa suurritteisuuspuikoilla lähes MAG-hitsauksen umpilangalla ja seoskaasulla tasolle. Mutta menetelmää voidaan käyttää kuitenkin vain käsinhitsaukseen vaikean automatisoitavuuden vuoksi (3, s.89).

MIG/MAG-hitsaus -menetelmä soveltuu sen sijaan hyvin robotisoituun hitsaukseen (lähde 3 s.160). Robotisoidussa hitsauksessa voi tuottavuuteen vaikuttava kaariai-

kasuhde olla jopa kolme kertaa suurempi verrattuna käsihitsaukseen sekä lisäksi voidaan käyttää suurempia hitsausparametreja kuin käsinhitsauksessa, joka lisää tuottavuutta edelleen (4, s.4).

1.3 Yritysesittely

Metso toimii kahdella raportointisegmentillä: Kaivos ja maarakennus sekä automaatio. Kaivos- ja maarakennussegmentti koostuu mineraalien käsittelyjärjestelmä, murskaus- ja seulontalaitteet sekä palvelut liiketoimintalinjoista. Automaatio sisältää puolestaan prosessiautomaatiojärjestelmien, virtauksensääätöratkaisuitten ja palveluiden liiketoimintalinjat. Metsolla on noin 16000 työntekijää yli 50 maassa ja liikevaihto vuonna 2013 oli 3 858 miljoonaa euroa. Automaatio-liiketoimintalinjan osuus liikevaihdosta vuonna 2013 oli 854 miljoonaa euroa ja työntekijöiden osuus noin 4 200. (1.)

Metson venttiilivalmistuksen juuret ovat 2.3.1956 kaupparekisteriin merkityn Antti Ne-
limarkan ja Eino Santasalon perustamassa Neles Oy:ssä. Yritys valmisti akselikytkimiä, joilla hammasvaihteita voitiin kytkeä käytettäviin koneisiin ja käyttöviin sähkömoottoreihin. Ensimmäinen sovellus syntyi kun Neles Oy toimitti läppäventtiilit 18.8.1957 Kemi Oy:lle Pajusaaren pyörrepuhdistuslaitokselle. (2, s.18–23.)

Nykyisin Neles-venttiilejä valmistetaan vuonna 2011 valmistuneessa Vantaan Hakki-
lassa sijaitsevassa Metson teknologiakeskuksessa, jossa tehdään myös älykkäitä vent-
tiilinohjaimia sekä toimilaitteita. (1.)

2 MIG/MAG-hitsaus

2.1 Yleistä

MIG/MAG-hitsaus on metallikaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa elektrodina toimivan lisäainelangan ja työkappaleen välillä suojakaasun ympäröimänä. MIG/MAG-hitsaus on osittain mekanisoitua hitsausta, jossa koneellisesti syötetään lisäainelankaa valokaareen langansyöttölaitteen avulla tasaisella nopeudella. Suojakaasu voi olla hitsisulassa olevien aineiden kanssa reagoimaton eli inertti, jolloin käytetään MIG-hitsaus-nimitystä. Jos suojakaasu on hitsisulassa olevien aineiden kanssa reagoiva eli olla aktiivinen, jolloin käytetään nimitystä MAG-hitsaus. Suoritustekniikka ja hitsauslaitteisto ovat molemmissa prosesseissa samanlaisia. (3, s.159.)

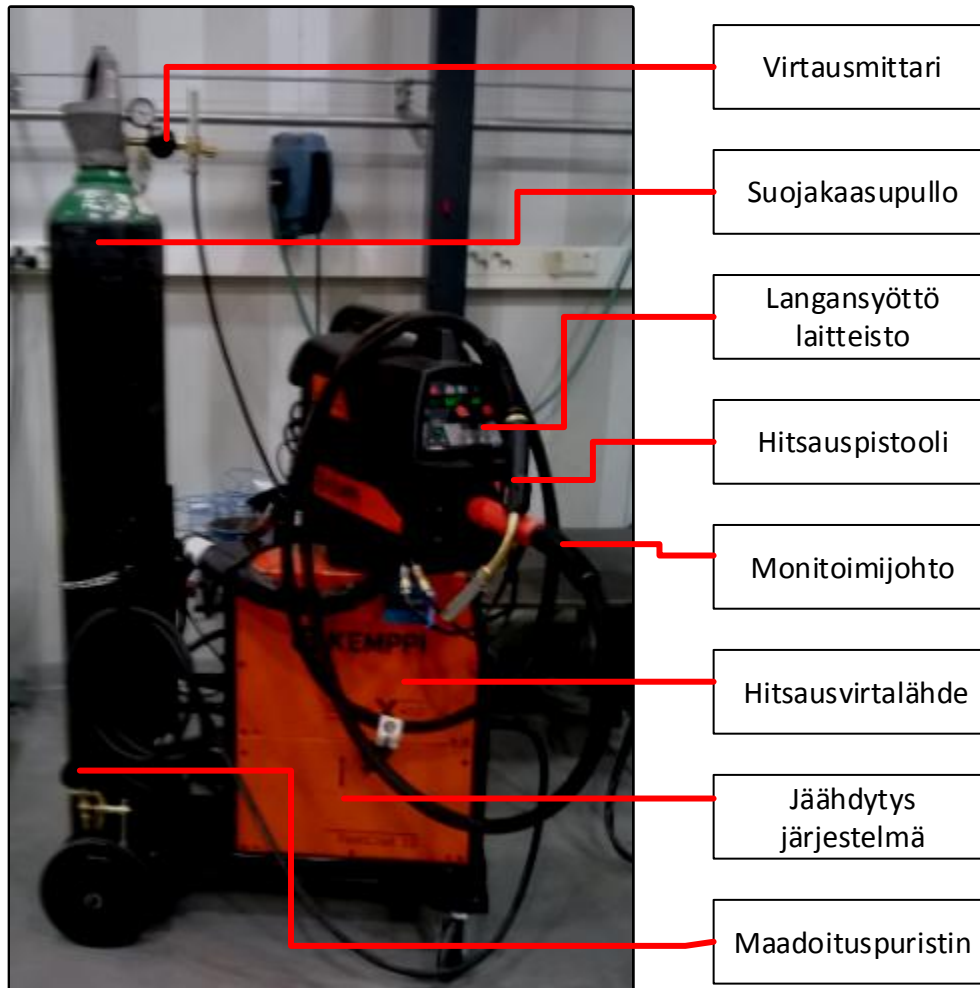
2.2 Hitsauslaitteisto

MIG/MAG-hitsauslaitteisto muodostuu virtalähteestä, langansyöttölaitteistosta, suojakaasuvirtausmittarista, monitoimijohtimesta, hitsauspistoolista sekä maadoituskaapelista. Pienemmät laitteistot, kuten kuvassa 1, ovat yleensä rakenteeltaan kompaktikoneita, jossa virtalähde ja langansyöttölaite ovat samojen kuorien sisällä.(lähde 3 s.177.)



Kuva 1. Kompakti MIG/MAG-hitsauslaitteisto (5, s.10).

Suuremmissa teollisuuskäyttöön tarkoitetuissa laitteistoissa, kuten kuvassa 2, on yleensä erillinen moniprosessivirtalähde ja erillinen langansyöttölaite, joka ohjaa virtalähdettä ohjauskaapelin välityksellä (3, s.177).



Kuva 2. Teollisuudessa käytettävä MIG/MAG-hitsauslaitteisto

Mekanisoituun- ja robotisoituun hitsaukseen on saatavilla myös tähän käyttöön suunniteltuja langansyöttölaiteita sekä digitaalisilla tai analogisilla käyttöliittymillä varustettuja virtalähteitä, kuten kuvassa 3 olevat (5, s. 86).



Kuva 3. Mekanisoiuun- ja robotisoiuunhitsaukseen tarkoitettu langansyöttölaite ja virtalähde varustettuna jäähdytysjärjestelmällä (5, s.75).

Virtalähde on MIG/MAG-hitsauksessa vakiojännitevirtalähdetyyppiä, joksi luokitellaan hitsauskonenormin IEC 974-1 mukaan virtalähde, jonka jännitteen alenema on kuormitustilanteessa pienempi kuin $7 \text{ V}/100 \text{ A}$ (3, s.79). Vakiojännitevirtalähteen ominaisuus pitää jännite lähes vakiona virran avulla mahdollistaa yhdessä tasaisen langansyöttönopeuden kanssa valokaaren itsesäätävyyden, jolloin valokaaren pituus palautuu aina uuteen tasapainoasemaan suutietäisyyden vaihteluista huolimatta (3, s.162). Suutinetäisyyden vaihtelu vaikuttaa virran kautta myös tunkeumaan, joten se on oleellinen parametri joka on ilmoitettava myös hitsausohjeessa (3, s.166). Toinen virtalähteen hitsaukseen vaikuttava ominaisuus on kuristimen induktanssi, joka vaikuttaa virran nousunopeuteen oikosulkutilanteessa, käytännössä vaikutus on suurinta hitsattaessa lyhytkaarialueella (3, s.179).

Virtalähteen koko valitaan tavallisesti hitsattavien materiaalien ja aineenvahvuuksien mukaan ja huomioon on otettava myös kuormitusaikasuhte. Virtalähteen nimellisarvo kertoo yleensä kuormitettavuuden 60 % kuormitusaikasuhteella, joka merkitsee, että virtalähdettä voidaan kuormittaa nimellisvirralla prosenttiosuuden mukaisen ajan verran kymmenen minuutin ajanjakson aikana. Yleensä valmistaja ilmoittaa myös virtamäärän, jolla virtalähdettä voidaan kuormittaa jatkuvasti. (3, s.180.)

Langansyöttölaitteen tehtävänä on syöttää lisäainelankaa valokaaren kautta hitsausta-
pahtumaan mahdollisimman tasaisesti, joten syötettävän langan materiaalilla ja tyypillä
sekä syöttömatkalla on suuri merkitys laitteen valinnassa. Pehmeät lisäainelangat vaa-
tivat yleensä vetävän hitsauspistoolin ja jos työkohte on kaukana langansyöttölaittees-
ta, voidaan joutua käyttämään välisyöttölaitteita. Täytelanka vaatii yleensä myös, että
syöttöpyöriä on kaksi pyöräparia ja niiden muoto on suositusten mukainen. Lanka voi
olla langansyöttölaitteessa joko kelalla tai se tuodaan langansyöttölaitteelle mekanisoi-
dussa tai automatisoidussa hitsauksessa suurpakkauksesta. (3, s.181–184.)

Langansyöttölaitteessa käsinhitsattaessa sijaitsee yleensä myös ohjauspaneeli hit-
sausarvojen asetukseen ja toimintojen valintaan sekä ohjainkortti, jolla ohjataan virta-
lähteen toimintaa ja suojakaasun virtausta. Automatisoidussa hitsauksessa hitsauslait-
teistoa ohjataan suoraan ohjausjärjestelmän kautta, josta myös annetaan hitsauspara-
metrit (3, s.24).

Suojakaasu tulee yleensä kaasupullosta, jolloin suojakaasun virtausmittari koostuu
pullonpainemittarista ja virtausasteikolla varustetusta painemittarista tai virtausrotamet-
ristä (3, s.190).

Monitoimijohtimen sisään on yhden kuoren alle sijoitettu hitsauspistooliin menevät lan-
ganjohdin, suojakaasuletku, mahdolliset jäähdytysletkut, hitsausvirtakaapeli ja ohjaus-
johtimet. Hitsauspistooli ja monitoimijohdin toimitetaan yleensä yhtenä kokonaisuutena.
Hitsausvirta siirtyy lankaan vasta hitsauspistoolissa kosketussuuttimen kautta. (3,
s.185.)

Maadoituskaapeli on monisäikeistä kumipäälysteistä taipuisaa kuparijohtoa, jossa tär-
keää on riittävän suuri poikkipinta-ala hitsausvirtaan ja kaapelinpituuteen nähden.
Maadoituspuristimen täytyy myös olla virrankestoltaan riittävä. (3, s.94.)

2.3 Kaarityypit

2.3.1 Lyhytkaari

Kuvassa 4 esitetyssä hitsauksessa lyhytkaari alueella lisäaine siirtyy hitsisulaan pisa-
ramaisena tasaisesti toistuvien oikosulkujen avulla. Vakiojännitevirtalähteen jännite
laskee oikosulun aikana lähes nolnaan jolloin virta kasvaa voimakkaasti. Tämä saa lisä-

ainepisaran kuroutumaan irti lisääinelangan päästä yhtälössä 1 esitetyn sähkömagneettisen pinch-voiman vaikutuksesta ja valokaari syttyy jälleen. (3, s.168.)

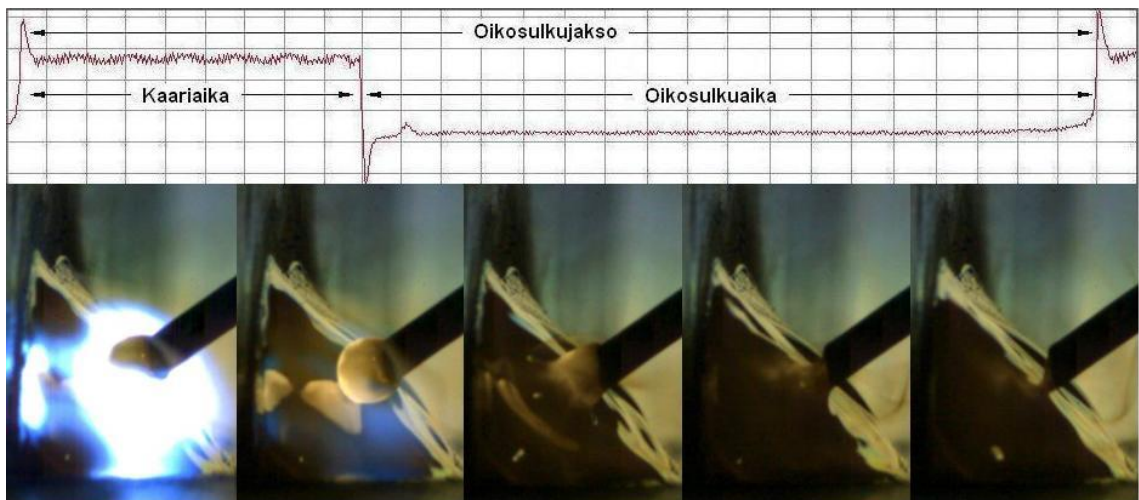
$$F_{pinch} = \frac{10 * 2 * \mu * I^2}{4 * \pi^2 * r^2} \quad (1)$$

F_{pinch} on sähkömagneettinen pinch-voima

μ on magneettinen permeabiliteetti

I on johtimen virta

r on sulan johtimen säde

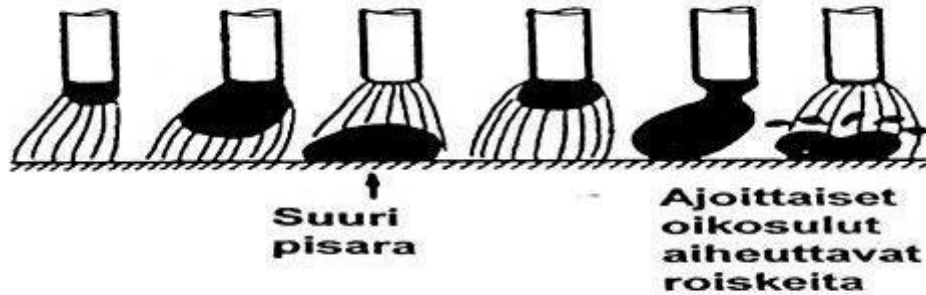


Kuva 4. Suurnopeuskameran kuvia lisääineen siirtymisestä lyhytkaari alueella hitsattaessa (6).

Virtalähteen induktanssi vaikuttaa virran nousunopeuden kautta hitsaustapahtumaan voimakkaasti lyhytkaari alueella. Lyhytkaarihitsausta käytetään pienillä aineen vahvuuksilla sekä pohjapalko- ja asentohitsauksiin. (3, s.168.)

2.3.2 Sekakaari

Kuvassa 5 esitetty sekakaarialue jää lyhytkaari alueen ja kuumakaarialueen väliin. Liisäaineen siirtyminen on tällä alueella suuripisaraisten oikosulkujen ja suihkumaisen siirtymisen yhdistelmä. Sekakaari alueella hitsattaessa syntyy runsaasti roiskeita, joten sen käyttöä pyritään välttämään mahdollisuuksien mukaan. (3, s.169.)



Kuva 5. Piirros lisääineen siirtymisestä sekakaari alueella hitsattaessa (6).

2.3.3 Kuumakaari

Kuvassa 6 esiintyvällä kuumakaarialueella hitsattaessa lisääineen siirtyminen on pieni-pisaraista ja oikosulkuja ei enää esiinny. Lisäainepisaroihin kurouttava pinch-voima suurenee virran kasvaessa voimakkaasti, jolloin pisarat ennättävät irrota lisääinelangan päästä ennen kuin siirtyvät hitsisulaan. Suojakaasu ja hitsauslangan halkaisija vaikuttavat voimakkaasti virtaan, jossa aineen siirtyminen muuttuu kuumakaaren puolelle. (3, s.169.)



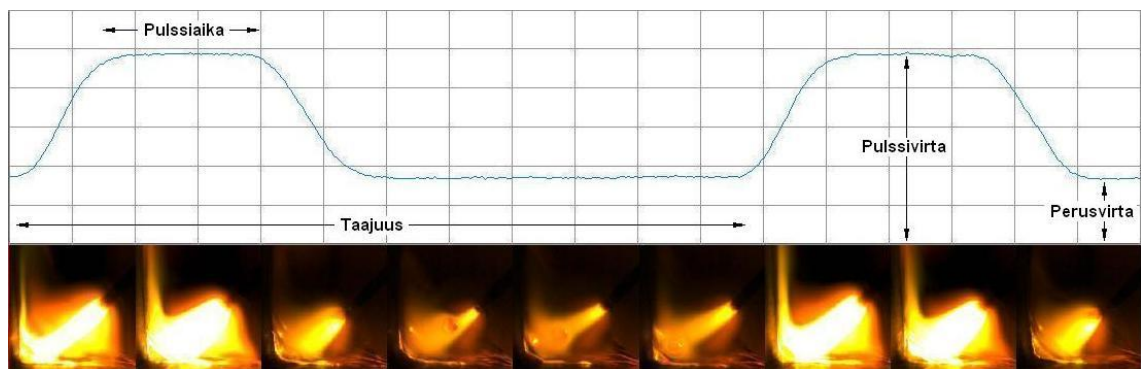
Kuva 6. Suurnopeuskameran kuvaa lisääineen siirtymisestä kuumakaari alueella hitsattaessa (6).

2.3.4 Pitkäkaari

Pitkäkaarialueella ollaan kun hitsataan käyttäen suojakaasuna hiilidioksidia, jolloin ei päästä puhtaasti kuumakaarialueelle, vaan oikosulkuja tapahtuu satunnaisesti. Pitkäkaari alueella tulee myös paljon roiskeita ja hitsin pinta jää karkeaksi. (3, s.171.)

2.3.5 Pulssikaari

Kuvassa 7 esiintyvän pulssikaaren avulla saadaan lisäaine siirtymään hallitusti koko jännite-alueella pulssittamalla hitsausvirtaa. Virtapulssin aikana hitsausvirta nousee niin suureksi, että lisäaine saadaan kuroutumaan lisäainelangan päästä halutun kokoisina pisaroina. Pulssikaarella on säädettäviä parametreja useita, joten yleensä käytetään hitsauskonevalmistajan valmiita ohjelmia, joissa voidaan valita hitsauslangan halkaisija, materiaali ja lankatyyppi sekä suojakaasu, joiden mukaan kone osaa itse asettaa pulsiparametrit lähes kohdalleen. Käyttäjälle jää pelkästään tehon säätö ja jännitteen hienosäätö tarpeen mukaan. (3, s.171.)



Kuva 7. Pulssikaarihitsausta suurnopeuskameran kuvaamana (6).

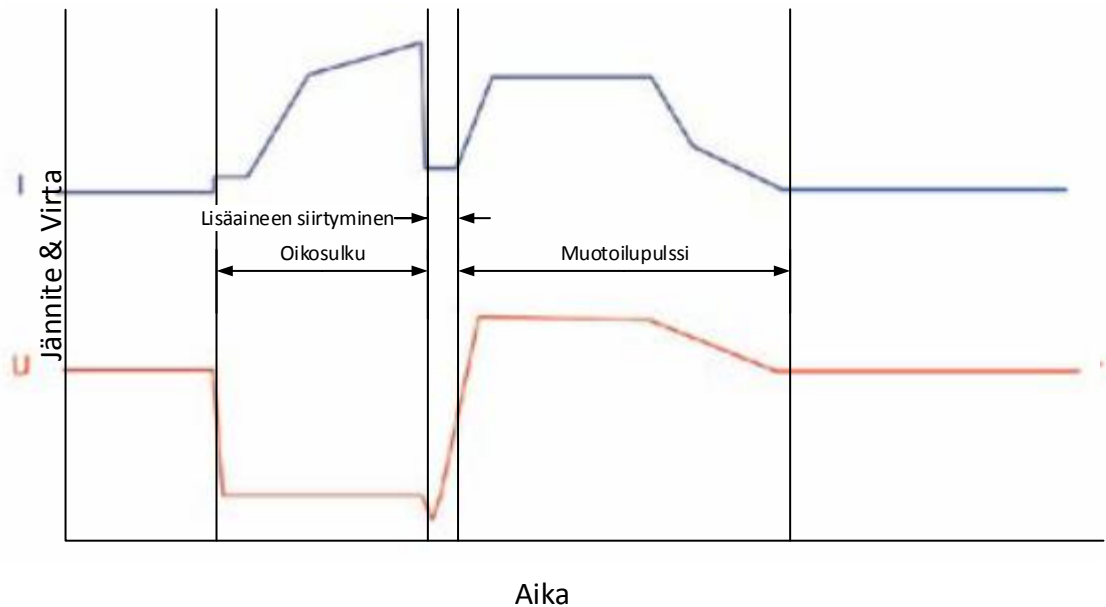
2.3.6 Muut kaarityypit

Nykyään eri hitsauslaitevalmistajilta löytyy paljon erilaisia kaarityyppien sovelluksia.

Eryteisesti pohjapalon MIG/MAG-hitsaukseen on kehitetty monien valmistajien toimesta modifioituja lyhytkaariprosesseja.

Kempin WiseRoot+-prosessissa virtalähdettä ohjataan erittäin tarkasti erillisen jännitteenmittauskaapelin avulla mitatun kaarijännitteen avulla. Prosessissa virtalähteen tunnistuksessa oikosulun nostetaan virtaa hallitusti lisäainepisaran kurottamiseksi irti lisäainelanganpäästä. Jännitteenmittauksen avulla saadaan tietoon hetki, kun pisara on juuri irtoamaisillaan, jolloin virtalähde laskee virtaa voimakkaasti kuvassa 8 näkyvällä tavalla. Lisäainepisaran irtautuu vapauttaen oikosulun pienen virran aikana, jolloin saadaan roiskeeton ja vakaa lisäaineen siirtyminen. Oikosulun jälkeen virtaa jälleen nostetaan

hetkeksi, jolloin saadaan valokaareen lisää energiaa muotoilemaan hitsipalkoa liittymään juoheammin perusaineeseen. (7, s.33.)



Kuva 8. Jännite- ja virtakäyrä pulssinaikana Kempin WiseRoot+-prosessissa (7, s.33).

2.4 Hitsausaineet

2.4.1 Lisäainelangat

MIG/MAG-hitsauksessa lisäainelangan halkaisija valitaan yleensä työkappaleen aineen vahvuuden mukaan ja lankalaatu materiaalin koostumuksen mukaan. Lisäainelangat ovat käsinhitsauksessa yleensä 1 - 20 kg keloissa langansyöttölaitteessa, kuten kuvassa 9 oikealla puolella. Mekanisoituun- ja automatisoituunhitsaukseen on tarjolla jopa 200 kg suurpakkauksia, kuten kuvan 9 vasemmalla puolella. Lisäksi on tarjolla laitteita, joilla voidaan liittää käytössä olevan lankatynnyrin langan loppupää uuden lankatynnyrin langan alkupäähän, jolloin saadaan katkeamaton langansyöttö lankatynnyrin vaihtumisesta huolimatta. (3, s.193.)



Kuva 9. Erilaisia MIG/MAG-lankojen pakkauskokoja (8).

Seostamattoman ja niukkaseosteisen teräksen lisäainelangat ovat yleensä kuparoituja pinnaltaan korroosion ehkäisemiseksi sekä liukuominaisuuksien parantamiseksi (lähde 3 s.193). Lisäainelangat on tarkoitettu hitsattaviksi vain valmistajan suosittelemilla suo- jakaasuilla, jotta langalle ilmoitetut kemialliset ja mekaaniset ominaisuudet täyttyvät (3, s.195).

Lisäainelankoja on saatavilla umpilankoina, joiden koostumus on samanlainen koko poikkipinta-alalla sekä täytelankoina, joissa on putkimaisen rakenteen sisällä metalli tai kuonaa tuottava jauhe. Kuonaa tuottavissa täytelangoissa on jauheen koostumus ja tehtävä hyvin samankaltainen kuin hitsauspuikoissa. Ne myös jaotellaan emäs- ja rutiililankoihin. (3, s. 234.)

2.4.2 Suojakaasut

Suojakaasun tarkoitus MIG/MAG-hitsauksessa on suojata hitsisulaa ilman hapen ja typen vaikutuksilta (3, s.197).

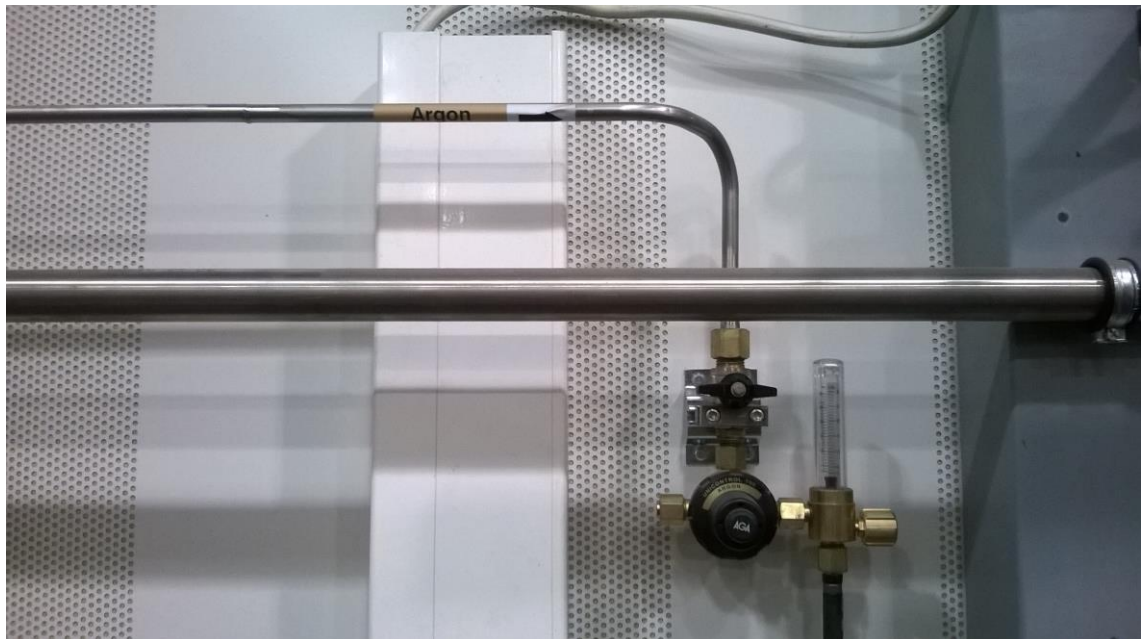
MIG-hitsauksessa käytetyt inertit suojakaasut ovat yleensä argonia sekä toisinaan myös heliumia (3, s.198).

Perinteisessä umpilanka hitsauksessa MAG-hitsaus -menetelmällä voidaan harvoin käyttää aktiivisena suojakaasuna puhdasta hiilidioksidia, mutta uudemmilla kaaritty-

peillä se voi olla jopa suositeltavaa. Yleensä käytetään seoskaasua, jossa argoniin on lisätty hapettavana komponenttina hiilidioksidia tai suoraan pieni määrä happea. Täyte-lanka hitsauksessa kuonaa tuottavilla langoilla puhtaan hiilidioksidin käyttö on joskus myös suositeltavaa. (3, s.199.)

Suojakaasulla on suuri merkitys hitsiaineen mekaanisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin, valokaaren ominaisuuksiin, lisäaineen siirtymistapaan, hitsipalon ja tunkeuman muotoon, roiskeiden määrään, hitsaussavuun sekä tuottavuuteen (3, s.197).

Suojakaasut toimitetaan yleensä 50 l/200 bar tai 20 l/200 bar pulloissa, myös pienempiä kokoja on saatavilla. Kaasun kulutuksen ollessa suurta tai kaasupullon vaihdosta kesken tuotannon on merkittävää haittaa, on yleensä kaasunjakelujärjestelmän rakentaminen edullisempaa. Kaasukeskukseseen kaasu toimitetaan pullopaketeissa. Pullopa-kettien paine alennetaan verkostopaineeksi jolla se toimitetaan kaasunjakelujärjestelmässä kulutuspisteisiin. Kuvassa 10 on argon-kaasun jakelujärjestelmän kaasunotto-piste sisältäen sulkuventtiilin, paineensäätimen ja virtausmittarin. (9, s. 47.)



Kuva 10. Argon kaasunjakelujärjestelmän kaasunottopiste Metson hitsaamossa.

Kaasukeskuksiin, kuten kuvassa 11, on myös mahdollista lisätä automaatiota, joka tarkkailee kaasun määrää ja tilaa automaattisesti täydennystä tarvittaessa. (9, s. 47.)



Kuva 11. Kuva Metson kaasukeskuksesta.

3 Automatisoituhitsaus

3.1 Pyörityspöydät

Pyöritys- ja kappaleenkäsittelypöytien tarkoituksena on mekanisoidussa ja robotisoidussa hitsauksessa saada työkappale hitsauksen aikana parhaaseen mahdolliseen asentoon, jolloin voidaan käyttää kyseiseen tilanteeseen sopivinta tehokasta hitsausmenetelmää (10, s. 112).

Pyörityspöytää käytetään pyörähdyssymmetristen työkappaleiden hitsausliikkeen aikaan saamiseksi, kappaleen liikkuaessa paikoillaan pysyvään hitsauspistooliin nähden. Pyörityspöytien pyörimisnopeuden säätö on yleensä tarkempi kuin kappaleenkäsittelyyn tarkoitettujen pöytien.

Kappaleenkäsittelypöydillä työkappale asetetaan hitsauksen kannalta parhaaseen mahdolliseen asemaan ja hitsausliike toteutetaan muilla menetelmillä. Kappaleenkäsittelypöytiä käytetään kappaleiden asemointiin, joten liikenopeudet ovat yleensä suurempia kuin pyörityspöytien.

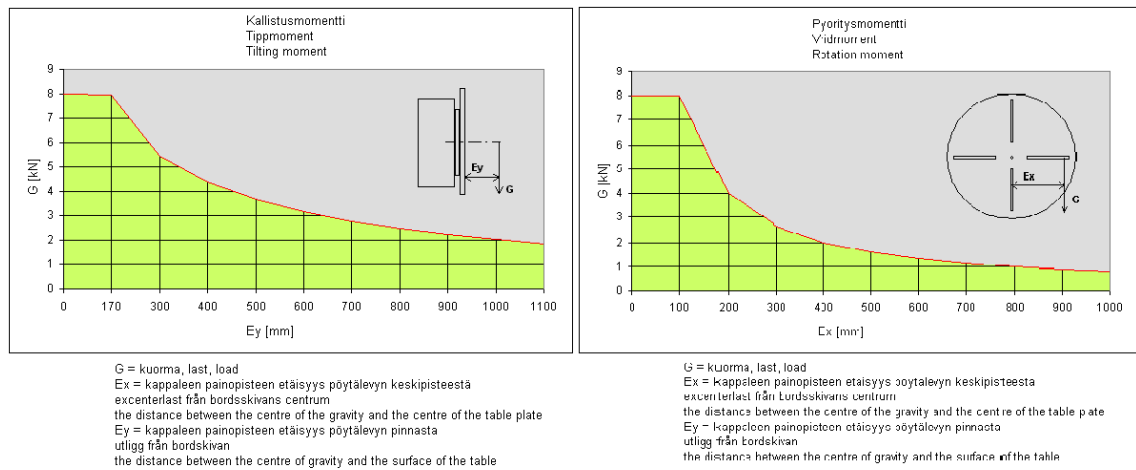
Pyöritys- ja kappaleenkäsittelypöydät ovat yleensä 1-3 akselisia, kuten kuvassa 12, joissa kääntö- ja nostoliikkeet eivät ole hitsausliikkeitä. (12, s. 14).



Kuva 12. 3-akselinen kappaleen käsittelypöytä (11).

Mekanisoiduissa sovelluksissa eivät liikkeet ole yleensä servo-ohjattuja, vaan toteutettu rajakytkimien avulla. Automatisoiduissa ja robotisoiduissa sovelluksissa ovat liikkeet yleensä servo-ohjattuja robotinulkopuolisia liikeakseleita. (10, s. 113.)

Pyöritys- ja kappaleenkäsittelypöytien mitoituksessa on otettava huomioon, että ilmoitetut nimelliskuormat ja vääntömomentit pätevät vain jos työkappaleen massakeskipiste on lähellä pöydänkeskipistettä sekä lähellä pöytätasoa. Kuormankantokyky laskee massakeskipisteen etäisyyden kasvaessa pöydän keskustasta, kuten kuvasta 13 ilmenee (13).



Kuva 13. Massakeskipisteen etäisyyden vaikutus pyöritys- ja kallistusmomenttiin (13).

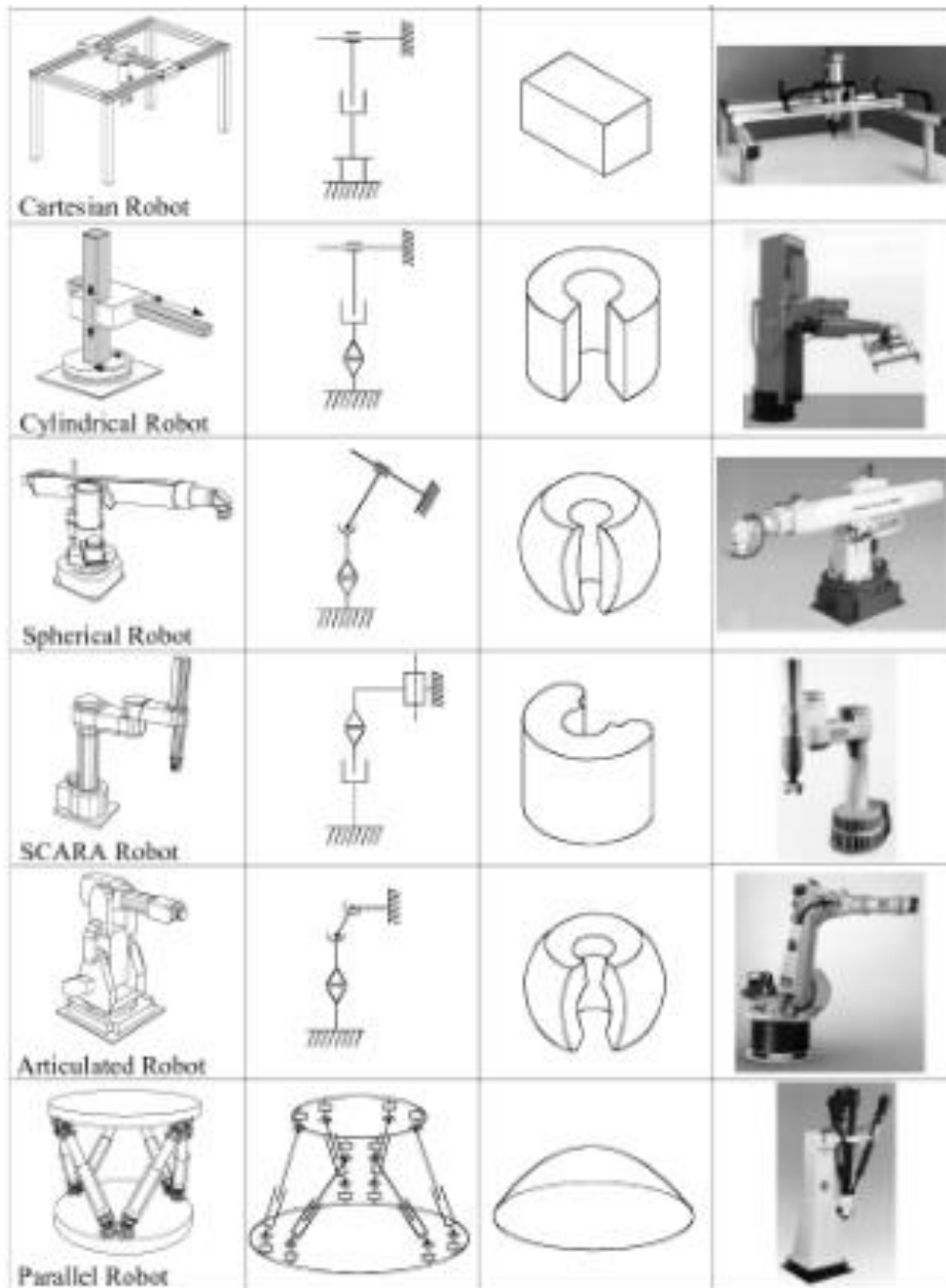
3.2 Hitsausrobotit

Hitsausrobotteina käytetään tavanomaisia teollisuusrobotteja, kuten kuvassa 14, jotka ovat standardin mukaan automaattisesti ohjattuja, uudelleen ohjelmoitavissa olevia monikäyttöisiä käsittelylaitteita, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja jotka voivat olla kiinteästi asennettuja tai liikkuvia. (14, s 12.)



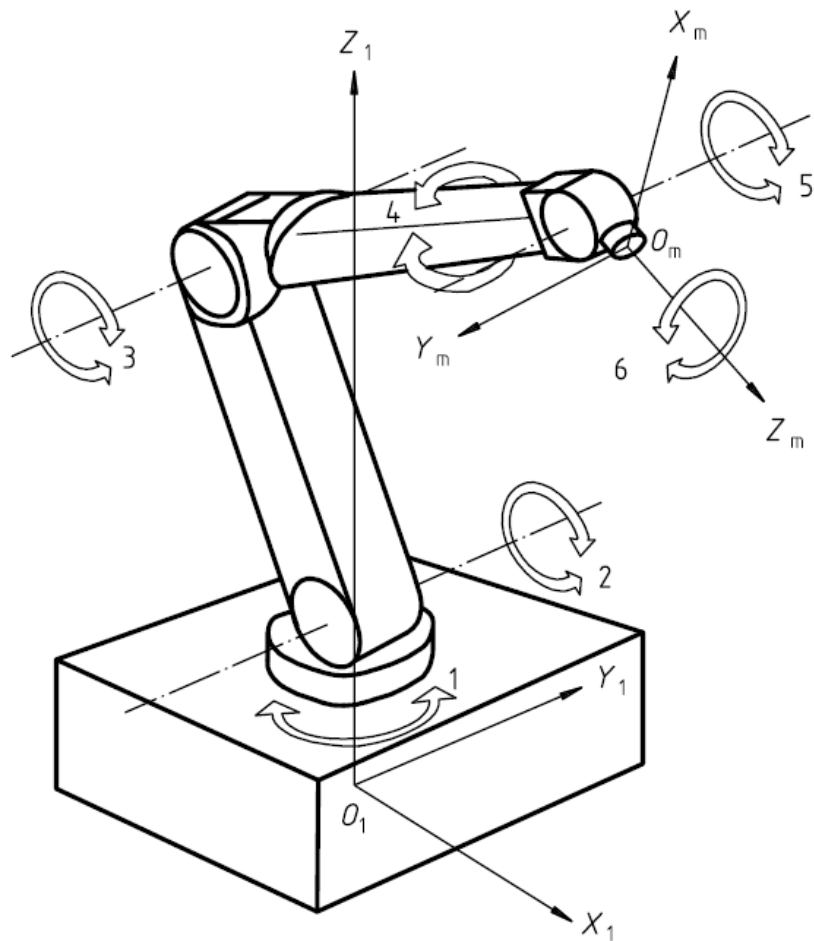
Kuva 14. Teollisuusrobottiin liitetty hitsausvarustus (18).

Robottityyppejä on useita erilaisia, mutta kaasukaarihitsaus käytössä nivelvarsirobotti, kuvassa 15 Articulated Robot, on käytetyin ratkaisu. Nivelvarsirobotin rakenne muistuttaa ihmiskättä, joten sen ulottuvuus ja työalue ovat robotin kokoon nähden laajat. Ulottuvuutta voidaan edelleen kasvattaa asentamalla robotti lineaariradalle tai portaaliin ylösalaisin. (4, s. 9.)



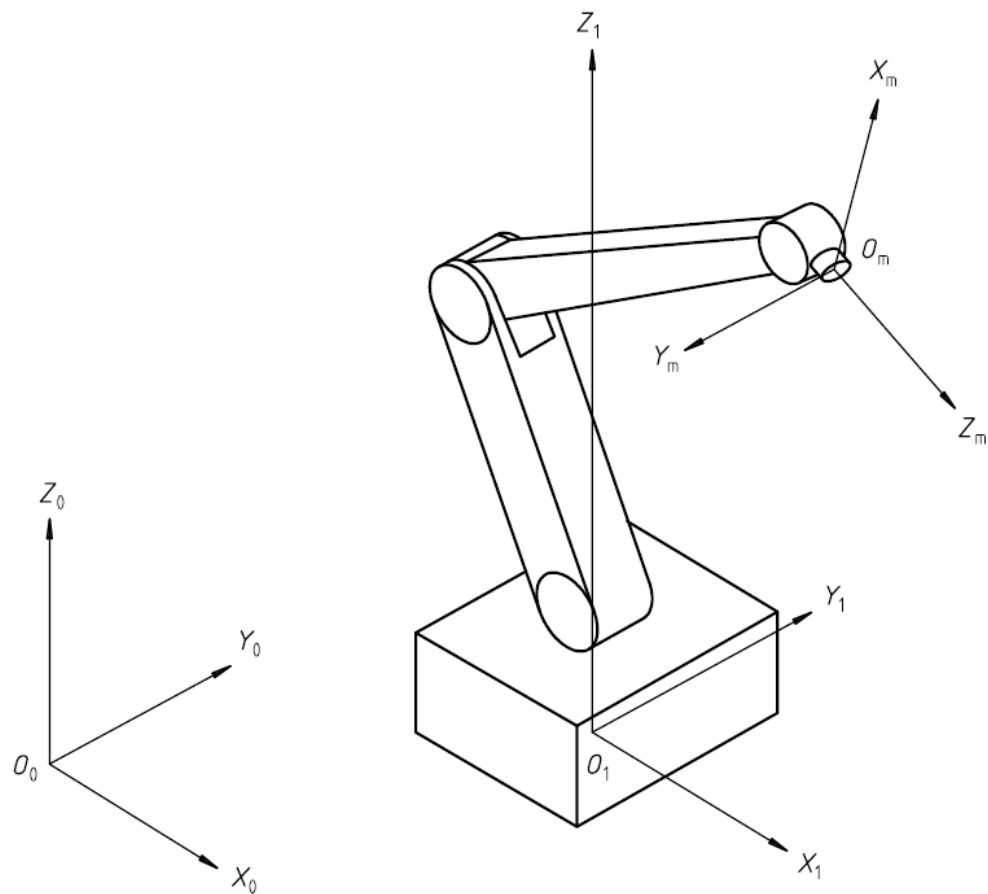
Kuva 15. Kuvaus yleisempien robottityyppien rakenteesta, kinemaattisista kaavioista, työalueesta ja esimerkki kuva (4, s. 11).

Robotti koostuu tukivarsista joiden välisiä niveliä, jotka voivat olla akselinsa ympäri kiertyviä tai lineaarisesti toistensa suhteen liikkuvia, kutsutaan vapausasteiksi. Jotta työkalulaipan saa työalueellaan mihin paikkaan ja asentoon tahansa, kuten kuvassa 16, tarvitaan vähintään kuusi vapausastetta joista vähintään kolmen on oltava kiertyviä (10, s. 18).



Kuva 16. Kiertyvänivelisenrobotin vapausasteet (ISO 9787).

Teollisuusrobotin koordinaatistot jakautuvat ISO 9787 standardin mukaan maailman-, perus- ja työkalukoordinaatistoon. Kuvassa 17 on kuvattu robotin työskentely ympäristöön sidottu maailmankoordinaatisto, jonka origoa on merkitty tunnuksella O_0 , robotinjälustaan sidottuun peruskoordinaatisto, jonka origoa on merkitty tunnuksella O_1 ja haluttuun kohtaan robotintyökalua sidottu työkalukoordinaatisto jonka origoa on merkitty tunnuksella O_m . (10, s. 21.)



Kuva 17. Robotin koordinaatistot (ISO 9787).

Maailmankoordinaatisto on robotin työskentelytilaan sidottu koordinaatisto, jonka avulla robotinohjaus voi määrittellä esimerkiksi oheislaitteen aseman robotinjalustaan nähden (10, s. 20).

Peruskoordinaatiston avulla robotinohjaus pystyy määrittelemään työkalulaipan aseman jalustaan nähden (10, s. 21).

Työkalukoordinaatistolla määritellään työkalun halutun pisteen asema työkalulaippaan nähden, joka on se piste jota robotti liikuttaa ohjelmallisesti annetuilla parametreilla ohjelmoitua rataa pitkin (10, s. 21).

Koordinaatisto muunnosten ja kinematiikan avulla robotinohjaus laskee tukivarsien kulmaohjeavrot, joilla työkalu saadaan haluttuun asemaan valitussa koordinaatistossa (10, s. 22).

Robotinohjaus tietää työkalunaseman vain epäsuorasti antureilta saamansa kulmatiedon ja tukivarsien pituustietojen perusteella, joten se ei voi ottaa huomioon kuorman ja omanpainonsa aiheuttamia muodonmuutoksia tukivarsiin. Tästä johtuen voi robotin absoluuttinen tarkkuus jäädä jopa ± 50 mm vaikka toistotarkkuudessa päästäisiinkin $\pm 0,1$ mm arvoihin (10, s. 22).

Robottia voidaan ohjelmoida opettamalla tai etäohjelmoinnilla. Opettamalla ohjelmoidulla robotille opetetaan liikerata viemällä työkalu pisteittäin liikeradalla oleviin käänne- ja ääripisteisiin sekä niiden välillä käytettävä ratamuoto. Opettamalla ohjelmoinnin aikana robottia ei voida käyttää tuotantoon, joten se soveltuu parhaiten jos ohjelmointia suoritetaan vain harvoin. Opetettu ohjelma kykenee seuraamaan liikerataansa toistotarkkuuden määräämissä rajoissa. (10, s. 79.)

Etäohjelmoinnissa ohjelma tehdään erillisessä ohjelmointijärjestelmässä, joten robotti voi olla ohjelmoinnin aikana tuotantokäytössä. Robottien ohjelmointijärjestelmät ovat samankaltaisia työstökoneiden ohjelmointijärjestelmien kanssa. Etäohjelmoidulla ohjelmalla päästään suoraan vain absoluuttiseen tarkkuuteen, joten ohjelma olisi hyvä tarkistaa robotilla ennen tuotannon aloittamista. (10, s. 81.)

Hitsaus käytössä voidaan myös käyttää railonhakua, jolloin riittää, että robotti tuo hitsauspistoolin tarpeeksi lähelle hitsattavaa kohtaa, josta railonhaku kykenee paikoittamaan tarkemmin (10, s. 105).

Railonseurannan avulla voidaan hitsauksen aikana antureilta saadun sijaintitiedon perusteella korjata hitsauspistoolin asemaa hitsausrailoon nähden, esimerkiksi kompensoitaessa lämmön aikaansaamia muodonmuutoksia (10, s. 105).

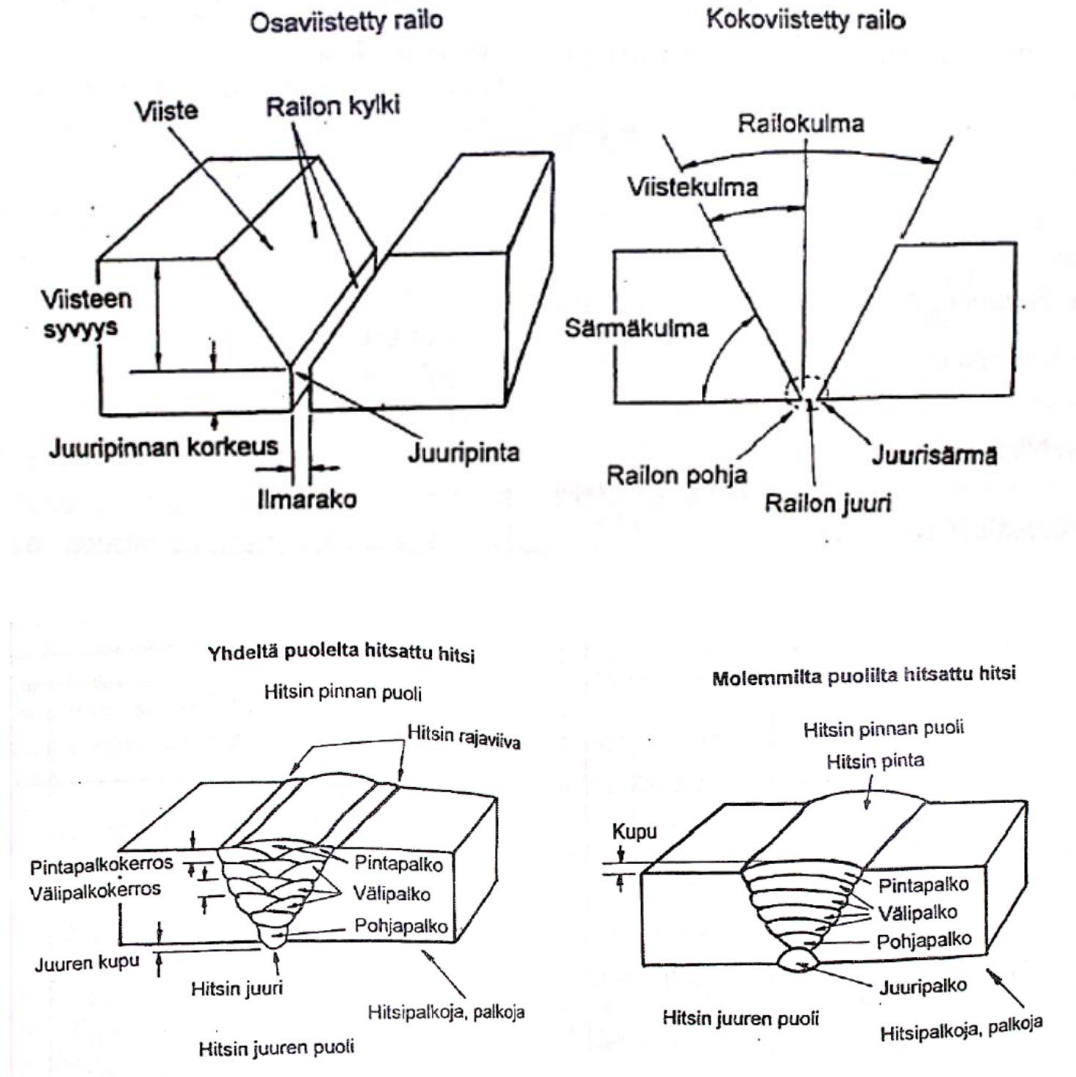
Hitsausasemasta voidaan myös luoda simulointijärjestelmillä simuloitu malli, joka vastaa mahdollisimman tarkasti oikeaa laitteistoa. Simuloituun malliin on mahdollista tuoda työkappaleen muototiedot suoraan suunnitteluohjelmistosta. Simuloidun mallin avulla on mahdollista testata tuotteen valmistettavuutta olemassa olevassa laitteistossa jo suunnitteluvaiheessa ja tehdä tarvittaessa korjauksia jo ennen kuin fyysisiä kappaleita on valmistettu. Simuloidun mallin ja oikean laitteiston vastaavuus voidaan varmentaa kalibroimalla. (15, s. 148–150.)

4 Automatisoidun MIG/MAG-hitsauksen soveltaminen tuotantoon

Teollisuudessa käytettävät venttiilit kuuluvat painelaitedirektiivin soveltamisalaan. Painerelaitedirektiivissä on vaatimuksia pysyville liitoksille, joita ei voi avata ainetta rikkomatta ja joihin hitsaukset myös lasketaan. Direktiivissä on myös vaatimukset liitoksen tekeville henkilöille ja menetelmille, joiden on oltava pätevoiditettyjä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että paineenalaisiin osiin käytetyt hitsausmenetelmät tulee testata tuotantokappaleita vastaavilla koekappaleilla menetelmäkokeessa. Menetelmäkokeessa kappaleille tehtyjen visuaalisten, ainettarikkoamattomien ja – rikkovien tarkastusten sekä testien perusteella voidaan varmistaa menetelmän sopivuus tuotantoon. Hyväksytystä menetelmä-kokeesta tehdään menetelmäkoepöytäkirja PQR, johon kirjataan oleelliset tiedot koekappaleen hitsauksesta sekä tulokset kaikista koehitsille tehdyistä testauksista. Menetelmäkokeen perusteella voidaan tehdä hitsausohje WPS, johon kirjataan kaikki hitsauksen toistettavuuden kannalta merkittävät muuttujat. (19.)

4.1 Liitoshitsaus

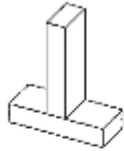
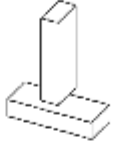
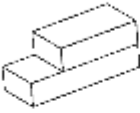

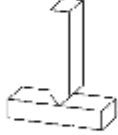
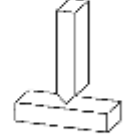
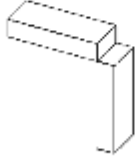
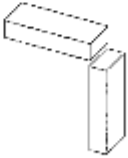


Liitoshitsauksella tarkoitetaan kahden tai useamman osan liittämistä yhdeksi kokonaisuudeksi tarkoitukseen soveltuvalla hitsausmenetelmällä. Kuvassa 18 on hitsausrillon sekä hitsipalkojen eri osien nimityksiä. (3, s. 24.)



Kuva 18. Hitsausrailon ja hitsipalkojen osien nimityksiä (3, s. 24–25)

Liitosmuodolla on suuri merkitys soveltuvuuteen robotisoituun hitsaukseen sekä railon valmistuksen tarkkuuteen, kuten taulukosta 1 tulee ilmi. Taulukossa suurempi nimelisarvo tarkoittaa hyvää soveltuvuutta ja pienempi arvo huonompaa soveltuvuutta robotisoituun hitsaukseen.

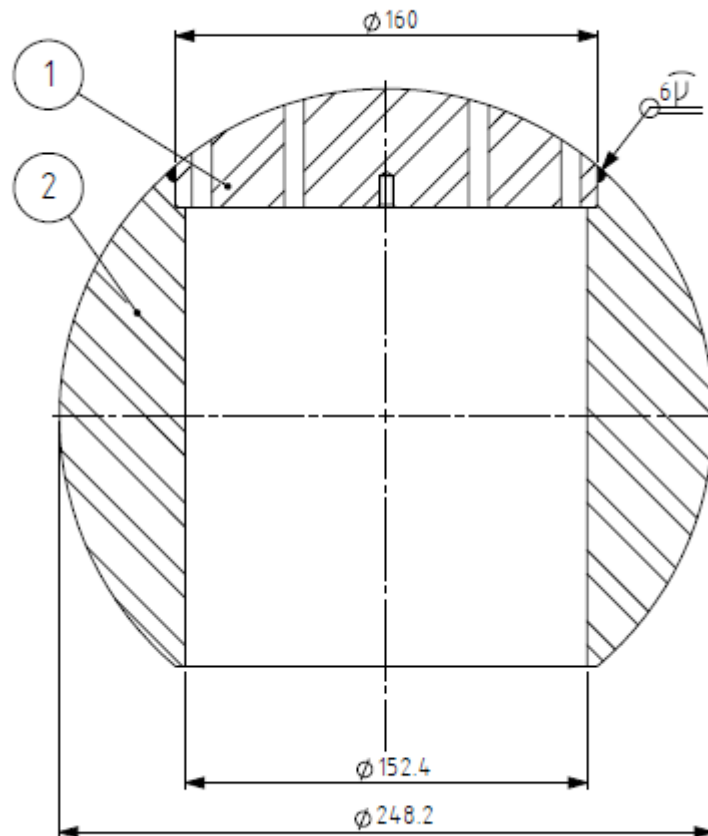
Taulukko 1. Liitosmuodon ja sovitusrvirheen vaikutus soveltavuuteen robotisoituun MIG/MAG-hitsaukseen (16, s. 33).

Liitosmuoto	Periaatekuva	Soveltuvuus robotisoituun MIG/MAG-hitsaukseen	Virheellinen sovitus ja sen vaikutus robotihitsattavuuteen	
Pienahitos		5		Vähäinen
Päällekkäisliitos		4		Vähäinen
T-liitos		3		Merkittävä
Nurkkaliitos		2 - 3		Merkittävä
Päittäisliitos		1		Erittäin merkittävä

Robotisoidussa hitsauksessa paras lopputulos saavutetaan, jos tuotteet suunnitellaan suoraan robotilla hitsattaviksi. Usein voidaan käyttää pienempää railotilavuutta tai ottaa tunkeuma osaksi hitsin mitoitusta. (16, s. 34.)

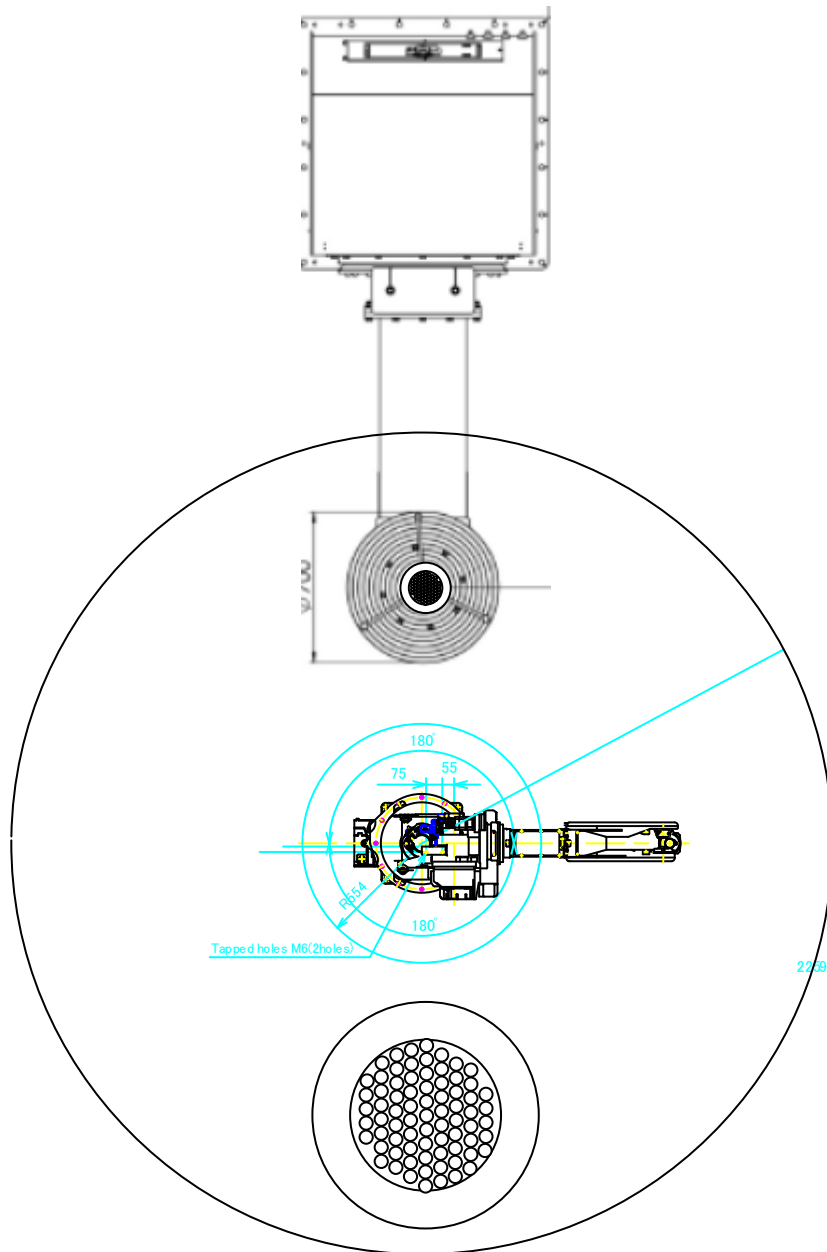
Venttiilin valmistuksessa nykyisin tehtäviä liitoshitsauksia ovat erilaiset putkiyhteet, kilpelineet ja Q2-pallon äänenvaimenninlevyn hitsaus.

Q2-pallon äänenvaimenninlevyn hitsaus soveltuisi hyvin robotisoituun MAG-hitsaukseen, koska hitsaus tapahtuu pysyvää juuritukea vasten. Kuten kuvasta 19 ilmenee, on sovitusrvirheen vaikutus hitsattavuuteen vähäinen.



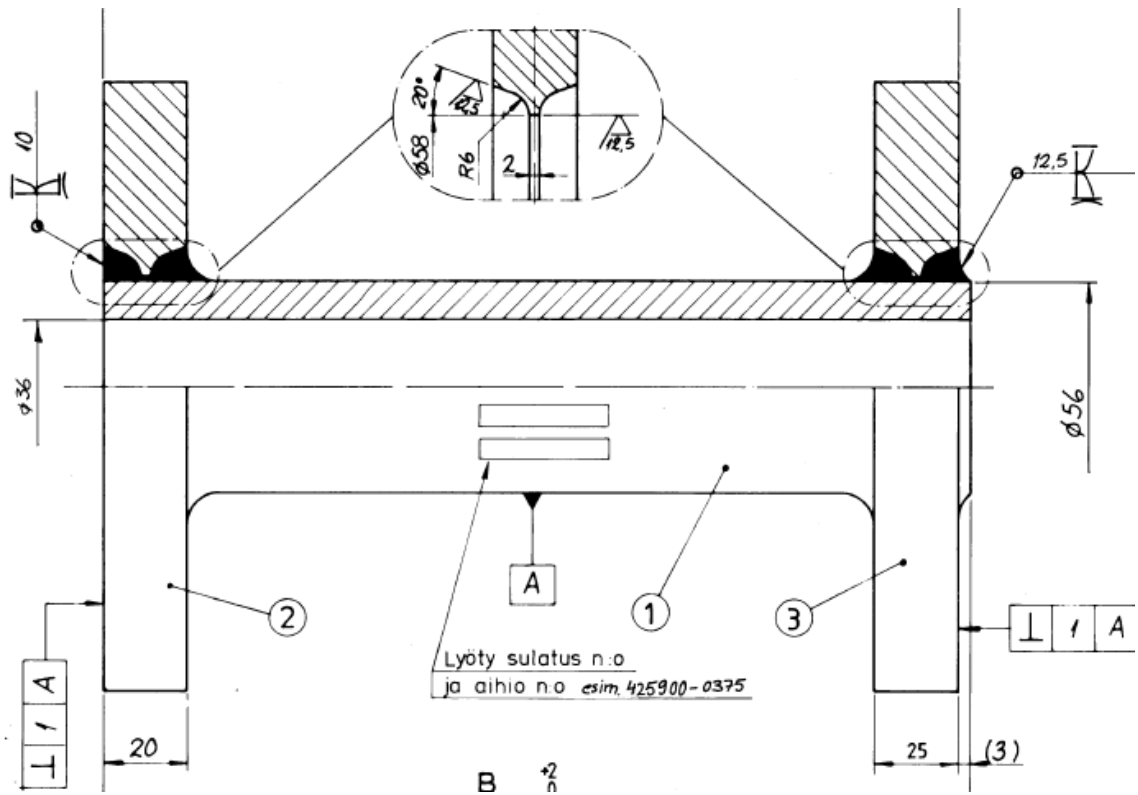
Kuva 19. Q2-pallon äänenvaimenninlevyn hitsauskoonpanokuva.

Q2-pallojen koko valikoima on myös suuri kolmen tuuman virtausaukollisesta aina 32 tuuman virtausaukolliseen saakka, joten mekanisoituna hitsauksena ei koko tuotealuetta kyettäisi helposti kattamaan yhdellä hitsausasemalla. Robotisoidussa hitsauksessa pienemmät koot voitaisiin hitsata kappaleenkäsittelypöydässä optimiasennossa ja harvemmin tehtävät isommat pallot kyettäisiin hitsaamaan pallon ollessa paikallaan robotin suorittaessa hitsausliikkeen esimerkiksi kuvan 20 esittämällä järjestelyllä.



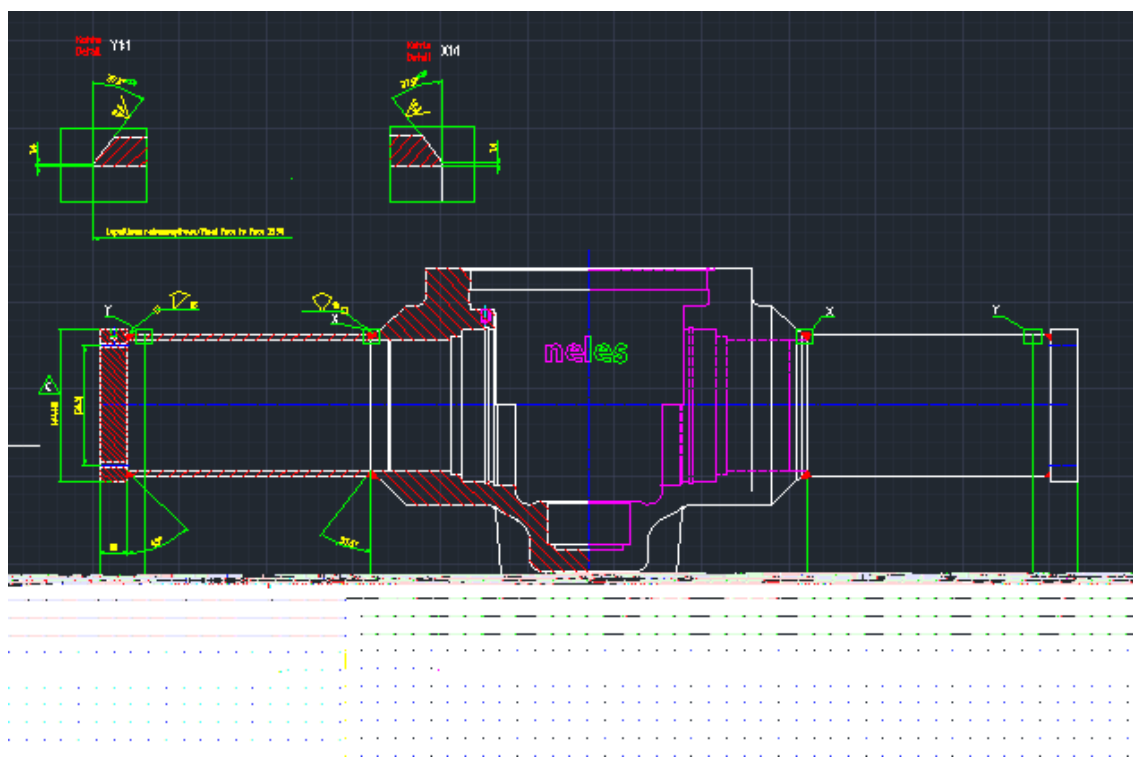
Kuva 20. Robottisolun layout hahmotelma.

Alihankinnassa hitsattavat cryo-jatkoputket sopisivat myös pienin muutoksin robotilla hitsattaviksi. Kuvassa 21 näkyvää railoa voitaisiin muokata niin, että juuri hitsattaisiin ilman ilmarakoa käyttäen hyväksi vakioitujen hitsausparametrien tuomaa tasaista tunkeumaa. Sopivalla kappaleenkäsittelylaitteella täyttöpaloit voitaisiin hitsata vuorotellen molemmille puolille laippaa, jolloin hitsauksesta aiheutuvat muodonmuutokset pysyisivät hallinnassa.



Kuva 21. Cryo jatkoputken hitsauskokoontakuva.

Alihankinnassa on myös hitsattu aikaisemmin jatkoputket ja koeponnistuslaitat hitsauspääteellisiin venttiileihin. Asiakasvaatimuksena on putkien läpihitsaus, mikä on robotisoidulle hitsaukselle pohjapalon osalta haasteellista. Täyttöpalkojen hitsaus osuus on kuitenkin suurin osa railon tilavuudesta, joten ajallista säästöä syntyy vaikka pohjapalon joutuisikin hitsaamaan käsinhitsauksena. Kuvassa 22 on hitsauskokoontakuva jatkoputkien sekä vain koeponnistusta varten hitsattavien koeponnistuslaitojen asennusta varten.



Kuva 22. Kokoonpanokuva jatkoputkien ja koeponnistuslaitteiden hitsausta varten.

4.2 Pinnoitushitsaus

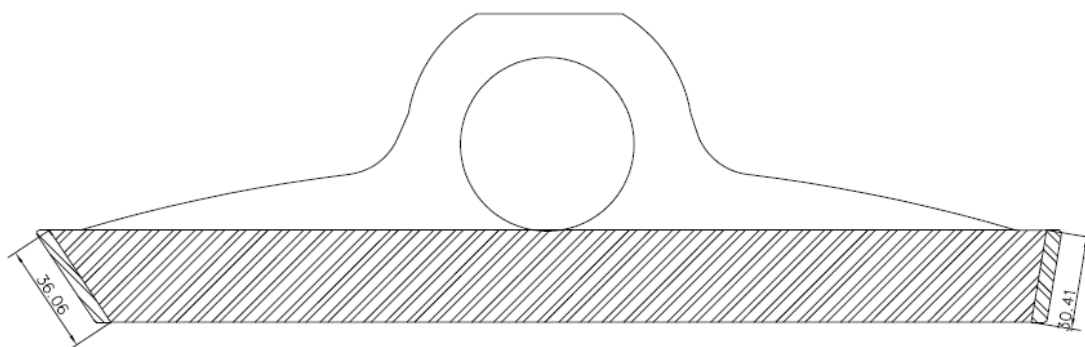
Pinnoitushitsauksella voidaan saada perusainetta parempia fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia pinnoitetulle alueelle. Esimerkiksi pinnoitettaessa alue perusainetta kovemmalla lisäaineella saadaan parannettua kulumiskestävyyttä ja pinnoitettaessa alue perusainetta jalommalla lisäaineella saadaan parannettua korroosionkestävyyttä.

Pinnoitushitsauksella voidaan saada aikaan kustannussäästöjä, kun vain erityisen hankaliin olosuhteisiin joutuvat pinnat suojataan yleensä perusainetta kalliimmalla pinnoitteella voi tuotteen muu osa olla tuotannossa normaalisti käytössä olevaa materiaalia.

Suoritustekniikaltaan pinnoitushitsaus on varsin helppoa ja soveltuu siten hyvin robotisoituun hitsaukseen.

Pinnoitushitsausta käytetään venttiilituotannossa hiiliteräs venttiilipesien tiivistepintojen päällystämiseen korroosiota kestäville pinnoitteilla. Pallo- ja segmenttiventtiilien tiivisteiden sekä finetroventtiilien sulkuelimien kovapinnoittamiseen laser- ja plasmahitsaus menetelmillä.

Suunnittelusta on tiedusteltu mahdollisuutta hiiliteräksestä valettuja läppäventtiilin läppien pinnoittamisesta UNS N06625 lisäaineella. Kyseessä olevalle materiaali-parille on jo hitsattu menetelmäkoe. Hiiliteräsläppiä on jo aikaisemmin pinnoitettu hitsaamalla 316-tyyppisellä lisäaineella. Mekanisoituna hitsauksena toteutetuissa pinnoituksissa oli ongelmana läpän toiminnallisuuden kannalta koneistetun muodon sopivuus hitsaamiseen. Pinnoitettavan alueen leveys, kulma pinnan normaaliin nähden ja keskeisyys muuttuivat kierroksen aikana. Tämän seurauksena hitsattaessa vakioparametreilla koko kierroksen ajan pinnoitevahvuus jää läpän leveämmällä puolella pienemmäksi kuin kapeammalla puolella. Robotisoidussa hitsauksessa voitaisiin hitsausparametreja kierroksen aikana muuttamalla optimoida pinnoitteen vahvuus molemmille puolille läppää lähes samaksi, jolloin välttyttäisiin ylimääräisen kerrosvahvuuden hitsaamiselta kapeammalle puolelle. Kuvassa 23 näkyy pinnoitettava-alue ulkoreunalla.



Kuva 23. Läppäventtiilin läpän poikkileikkausprofiili ja pinnoitettava-alue.

4.3 Korjaushitsaus

Korjaushitsauksella palautetaan viallisen tuotteen ominaisuudet laatuvaatimusten edellyttämälle tasolle.

Yleisimmät korjausta vaativat viat ovat venttiilin valmistuksessa huokokset ja ratkeamat valuissa sekä koneistusvirheet.

Korjaushitsausta käytetään tuotteissa joissa tuotteen arvo merkittävästi suurempi korjauskustannuksia tai aikataulun kiireellisyydestä johtuen ei ole aikaa odottaa korvaavan tuotteen saapumista.

Robotisoitua hitsausta voitaisiin soveltaa isoihin korjauksiin, jotka käsinhitsauksena veisivät suhteettoman paljon aikaa. Esimerkkinä 24 tuumaisen läppäventtiilin läpän tiivistepinnan koneistusvirheen korjaushitsaus, joka käsinhitsauksena puikkomenetelmällä kestäisi noin 10 tuntia, korjattiin mekanisoitunahitsauksena kolmessa tunnissa. Robotisoituna hitsauksena aikaa olisi mennyt ohjelmointiajan verran enemmän jos ohjelmaa ei olisi ollut valmiina. Kuvassa 24 on korjattava läppä hitsattavana kaukolämpöventtiilin hitsausasemassa.



Kuva 24. Lämpöventtiilin korjaushitsaus.

Toisinaan valussa ei ole tarpeeksi materiaalia, jotta saataisiin koneistettua piirustuksen mukainen kappale. Esimerkiksi venttiilin putkilaipan tiivistäväpinta voi olla erikoismittainen, jolloin kappaletta ei voi koneistaa normaali mittaisesta valusta. Näissä tapauksissa hitsattavat alueet saattavat ovat laajoja sekä kerrospaksuus suuri. Robotisoituna hitsauksena toteutettuna voitaisiin käyttää suurempia hitsausparametreja kuin käsinhitsauksessa, lisäksi robotisoidun hitsauksen kaariaikasuhte on parempi käsinhitsaukseen verrattuna. Kuvassa 25 on merkitty lisähitsauksen paikka venttiilinputkilaipassa ja viivoitetulla alueella näkyy normaalin ja erikoismittaisen tiivistepinnan eroavaisuus.

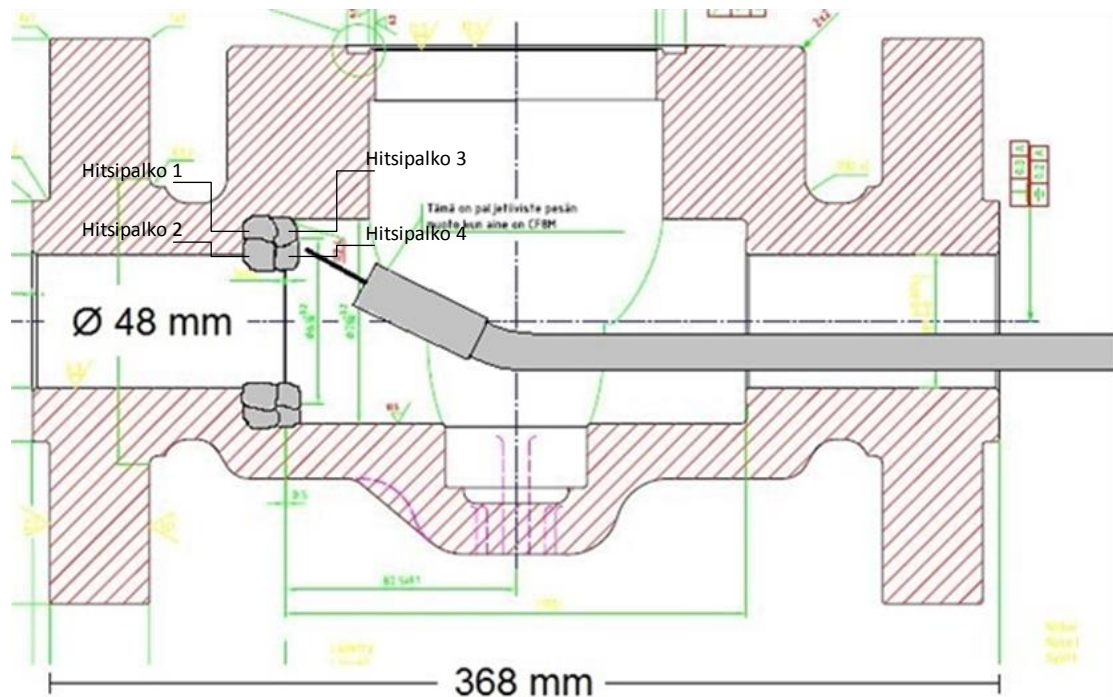


Kuva 25. Venttiilin putkilaipan lisähitsaus.

5 Hitsauskokeet

5.1 Venttiilin pesän MIG-pinnoitushitsaus

Tässä kokeessa hitsattiin UNS N06625 pinnoitus valetusta hiiliteräksestä A216 gr. WCB valmistettuun korkean paineluokan T2H 02 H venttiilinpesään kuvan 27 mukaiseen pintaan.



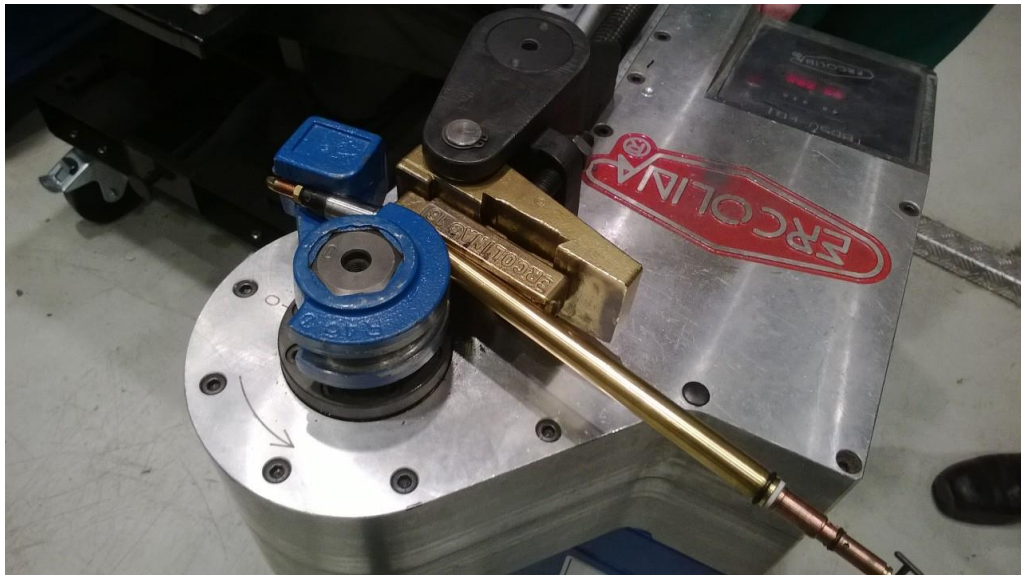
Kuva 27. Pinnoitehitsauksen sijainti venttiilinpesässä ja palkojärjestys.

Aikaisemmin Metso ei ole pinnoittanut MIG-menetelmällä UNS N06625 pinnoitteita WCB materiaalin päälle, joten aluksi oli hitsattava menetelmäkoe täyttääkseen painelaiteasetuksen vaatimuksen hyväksytystä hitsausohjeesta ja pätevoidystä hitsaajasta.

Suunnitteluosastolla oli vaatimuksena vähintään 3 mm pinnoitevahvuus valmiiksi ko-
neistetulla pinnoitteella.

Venttiilipesän rakenteen ja kokoluokan vuoksi hitsauspoltin voitiin kohdistaa hitsattavalle alueelle vain virtausaukon kautta kuvan 27 mukaisesti.

Normaalituotannossa ei löytynyt tarpeeksi pitkä-kaulaista hitsauspoltinta, joten Kemppi toimitti erikoismittaisen 300 mm pitkän, -suoran vaihtokaulan ja vaihtokaulapolttimen. Lopullista tuotetta vastaaviin koekappaleisiin hitsattaessa huomattiin kuitenkin, että lisäainelangan kohdistamiseksi hitsattavan alueen nurkkaan täytyy vaihtokaulaa taivuttaa. Vaihtokaula taivutettiin kärjestään yhdistelmäkokonpanon putkentaivuttimella 25° asteen kulmaan kuvan 28 mukaisella tavalla.



Kuva 28. Hitsauspolttimen vaihtokaula putkentaivuttimessa.

Hitsausta varten kappaleet keskitettiin pyörityspöytään kolmileukapakan avulla ja polttimen irtokaula pujotettiin venttiilipesän sisään ennen asennusta polttimeen, koska tilan puutteen vuoksi kokonaista poltinta ei ollut mahdollista siirtää hitsattavaan kohtaan suoralla liikkeellä. Hitsauspoltin paikoitettiin oikealle korkeudelle mittaamalla polttimen korkeus suhteessa pesän esikoneistettuun laipan pintaan ja sivusuunta kaulan etäisyytenä virtausaukkoon nähden.

Hitsaustapahtumaan oli näköyhteys vain noin neljänneskierroksen ajan johon aloitus ja lopetus kohtien oli osuttava.

Hitsauksen aikana hitsauspoltin pysyi paikallaan ja hitsausliike saatiin aikaiseksi pyörityspöydän avulla. Hitsaus suoritettiin neljällä hitsipalolla joiden välissä polttin kohdistettiin uudelleen. Hitsauksen palkojärjestys on merkattu kuvaan 27 ja kappale valmiina hitsattavaksi kuvassa 29. Kappaleen vaihdon yhteydessä polttimen kaulaa jäähdytettiin paineilman avulla.



Kuva 29. Kappaleen kiinnitys ja hitsauspolttimen asema.

Hitsauksessa käytetty laitteisto ja hitsausaineet:

- hitsauskone Kemppi FastMig X 450
- hitsausprosessi Pulssi-MIG
- hitsausohjelma S093
- perusaine ASTM A216 gr. WCB (keskihiilinen valuteräs, R0,2 >250Mpa)
- lisäaine Esab OK Autrod 19.82 Ø 1,2 mm (Inconel 625)
- suojakaasu 100 % Argon.

Hitsauksessa käytetyt parametrit:

- langansyöttönopeus 6 m/min
- virta 140A
- jännite 25V
- hitsausnopeus 250mm/min
- suutinetäisyys noin 20 mm.

Ensimmäisenä pinnoitettujen pesänpuolien jälkeen jouduttiin poistamaan ylimääräinen hitsi virtausaukosta, jotta toisen puolen pinnoitukselle olisi tarpeeksi tilaa.

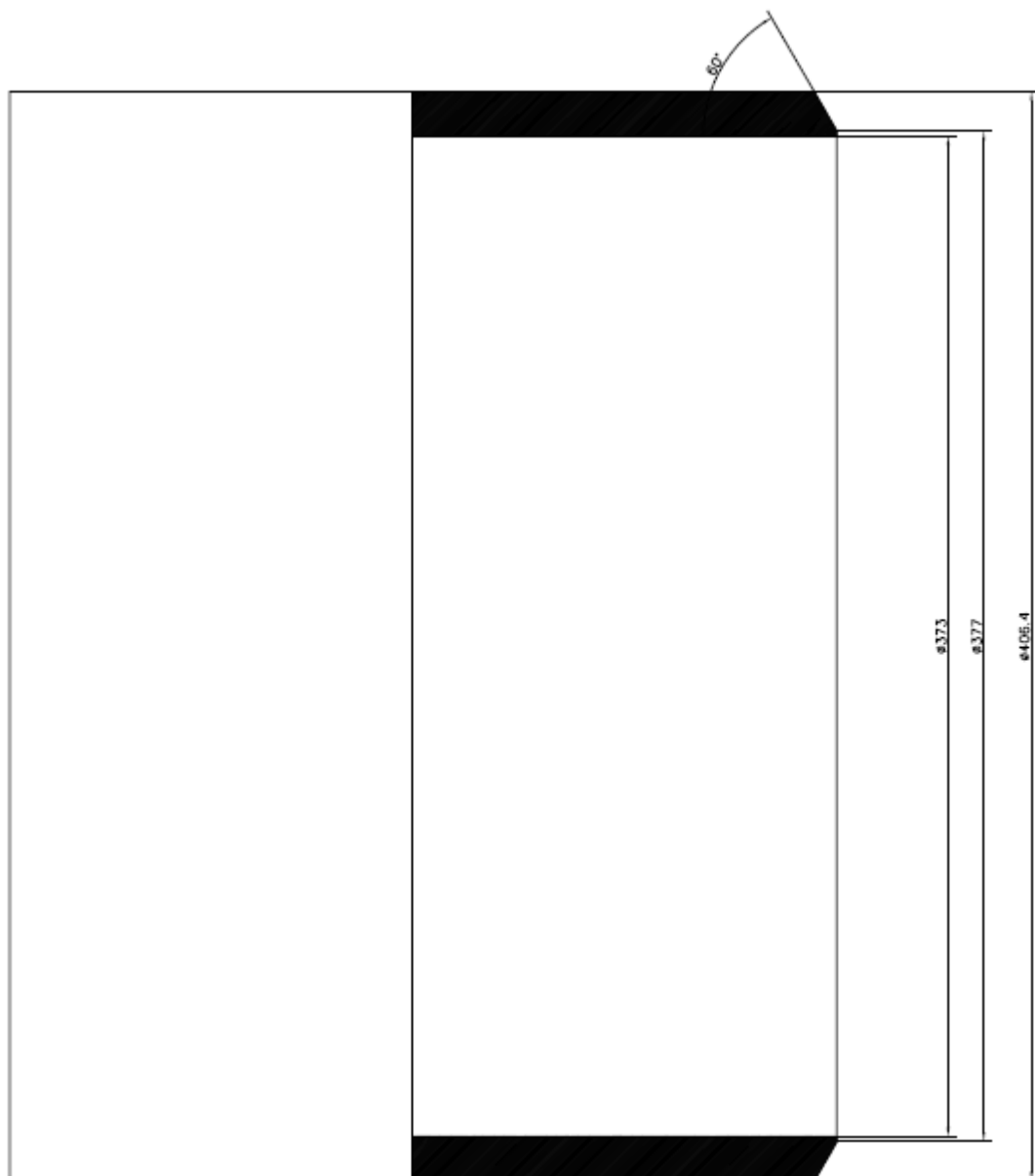
Kuvassa 30 on kappale valmiina lämpökäsittelyä ja loppukoneistusta varten.



Kuva 30. Hitsauksen osalta valmis kappale.

5.2 Venttiilin jatkoputken MAG-liitoshitsausmenetelmäkoe

Tässä kokeessa hitsattiin menetelmäkoe myöhemmin tuotantoon tulevaan hiiliteräksestä (ASTM 352 gr. LCC) valmistettuun venttiilin pesään liitettävien jatkoputkien (ASTM A333 gr. 6) hitsaamista varten. Tuotantokappaleessa oli vaatimuksena läpihitsaus ja koska jatkoputkien halkaisija sekä hitsauksen sijainti eivät sallineet juuren puolelta hitsaamista, täytyi hitsaus suorittaa yhdeltä puolelta. Kuvassa 31 on koekappaleiden sorvaamisen kannalta tarpeelliset mitat.

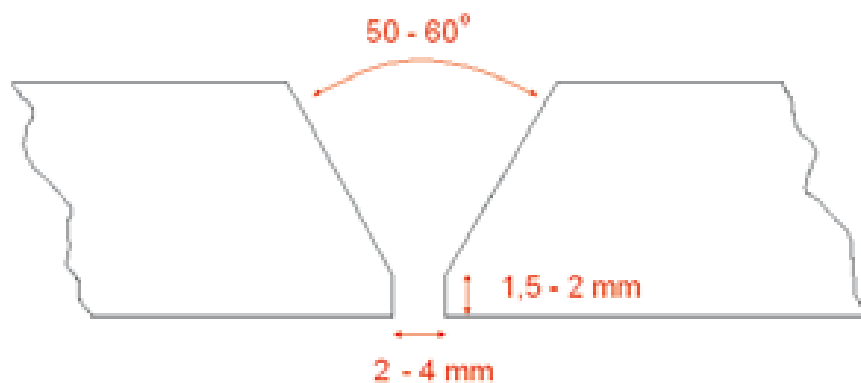


Kuva 31. Koekappaleen koneistuskuva.

Hitsauksessa käytetty laitteisto ja hitsausaineet:

- hitsauskone Kemppi FastMig X 450
- juurenhitsausprosessi WiseRoot+, F04
- täyttöpalkojenhitsausprosessi Pulssi-MAG, F04
- perusaine ASTM A333 gr. 6
- lisäaine Esab OK Autrod 13.28 Ø 1,2 mm
- suojakaasu Argon+18 % CO₂.

Hitsauskoekappaleina käytimme samaa putkea (ASTM A333 gr. 6) kuin tulevassa tuotantokappaleissakin käytetään. Ennen koneistusta putket hiekkapuhallettiin sisä- ja ulkopuolelta. Putkien päät oli viistetty 30° kulmaan ja sisäpuoli sorvattu ympyrämäiseksi. Juuripinnankorkeus koneistettiin suositusten mukaisesti 1,5-2 mm ja railokulmaksi muodostui 60°. Kuvassa 32 on esitetty suositeltu railon mitoitus.

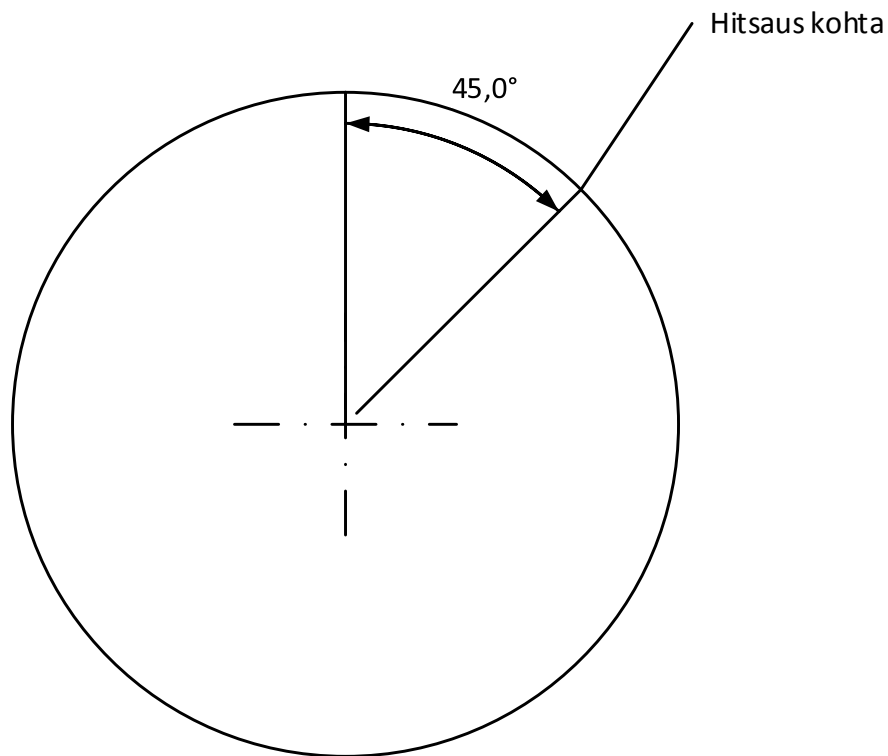


Kuva 32. Hitsausrailon mitoitus (lähde 7 s.34)

Koekappale kiinnitettiin pyörityspöytään putken kylkeen hitsattujen apupalojen sekä T-ura ruuvien avulla ja putken keskeisyys mitattiin rullamitalalla. Putket silloitushitsattiin

alustavasti neljästä kohtaa pystyasennossa käyttäen juuripintojen välissä 3,2 mm TIG-hitsauslisäainelankaa sekä keskittämällä putket saman keskeiseksi toisiinsa nähden putkenkeskittimellä.

Lopullinen silloitushitsaus suoritettiin putken ollessa vaaka-asennossa Kempin Wise-Root+-prosessilla käsinhitsauksena ylhäältä alaspäin. Putket silloitushitsattiin neljästä kohtaa kuvassa 33 kuvatussa asemassa noin 50 mm matkalta lopullisen juurihitsin osana olevilla hitseillä.



Kuva 33. Juuripalon hitsauskohta sivusuunnasta kuvattuna.

Silloitushitsien alku- ja loppupäät hiottiin lusikkamaisesti varmistamaan jatkoskohtien liittyminen juuripalkoon virheettömästi. Samalla hiottiin alustavat siltahitsit pois hitsausrailon muotojen mukaisiksi. Kuvassa 34 näkyy hiottu silloitushitsi.



Kuva 34. Silloitushitsin hionta.

Pohjapalko hitsattiin Kempin WiseRoot+ -pohjapalonhitsausprosessilla pitämällä käsin hitsauspoltinta kuvassa 35 esitettyssä asemassa pyörityspöydän suorittaessa hitsausliikkeen alhaalta ylöspäin.



Kuva 35. Pohjapalon hitsaus.

Pohjapalonhitsauksen jälkeen hiottiin jatkoskohtien korkeat hitsinpinnat juurihitsipinnan kanssa samalle tasolle. Kuvassa 36 vasemmalla näkyy hiottuhitsinpinta ja oikealla puolella valmis juurenku puutken sisäpuolella kuvattuna.



Kuva 36. Pohjapalko railonpuolelta ja putken sisäpuolelta kuvattuna.

Täyttöpälo hitattiin mekanisoitunahitsauksena Pulssi-MAG -hitsausprosessilla kaukolämpöventtiilien hitsausasemassa.

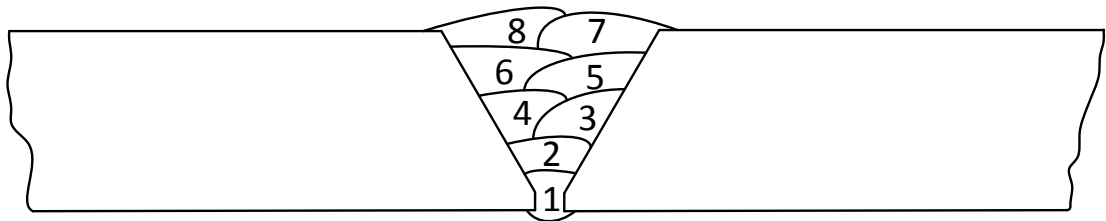
Käyttämämme Kempin hitsauslaitteiston langansyöttölaiteeseen oli aikaisemmin lisätty ohjauskaapeli, jonka avulla hitsausaseman ohjaus kykeni asettamaan hitsauksen päälle tai pois päältä. Hitsausasemalle annettiin parametreina putkenhalkaisija, hitsausnopeus ja hitsattavan matkan pituus joiden perusteella ohjaus kykenee laskemaan tarvittavan pyörimisnopeuden sekä pysäyttämään hitsauksen kierroksen tultua täyteen.

Täyttöpalkojen hitsauksessa käytimme koneelliseen hitsaukseen tarkoitettua hitsauspoltinta, joka asetoitiin putkenpäälle hieman vetävään asentoon kuvassa 37 näkyvällä tavalla.



Kuva 37. Täyttöpalkojen hitsaus.

Juuripalon lisäksi täyttöpalkoja hitsattiin 7 kappaletta kuvassa 38 esitettyssä järjestyksessä. Hitsauspalkojen välissä hitsauspolttimen asentoa kohdistettiin rinnakkain tulevilla paloissa hieman railonkylkiä kohten.



Kuva 38. Palkojärjestys.

Kokeessa käytettiin suutinetäisyytenä noin 20 mm, muut hitsausparametrit ja hitsausenergia on esitelty taulukossa 2.

Hitsausenergia E on hitsauspalon hitsaamiseen käytetyn energian määrä hitsipalon pituusyksikköä kohden (lähde 3 s.54). Taulukossa 2 esiintyvät hitsausenergia arvot ovat laskettu kaavalla 2.

$$E = \frac{I(A) * U(V) * 60}{v(mm/min) * 1000} (kJ/mm) \quad (2)$$

E on hitsausenergia

I on hitsausvirta

U on hitsausjännite

v on hitsausnopeus

Taulukko 2. Putkenhitsauskokeessa käytetyt hitsausparametrit ja hitsausenergia.

Hitsaus parametrit							Hitsaus energia
Palko numero	Hitsaus virta A	Jännite V	Langan syöttö nopeus m/min	Hienosäätö asetus	Hitsausnopeus mm/min	Hitsaus prosessi	kJ/mm
1	144	16,6	4,3	-3	230	WiseRoot+	0,6
2	184	23,5	5,5	-3	300	Pulssi-MAG	0,9
3	224	25,7	7	-3	300	Pulssi-MAG	1,2
4	233	24,7	7	-3	300	Pulssi-MAG	1,2
5	279	27,8	9	-2	300	Pulssi-MAG	1,6
6	268	29,3	9	-2	300	Pulssi-MAG	1,6
7	280	31	10	-2	300	Pulssi-MAG	1,7
8	283	30,8	10	-2	300	Pulssi-MAG	1,7

6 Tulokset

6.1 Venttiilin pesän MIG-pinnoitushitsaus

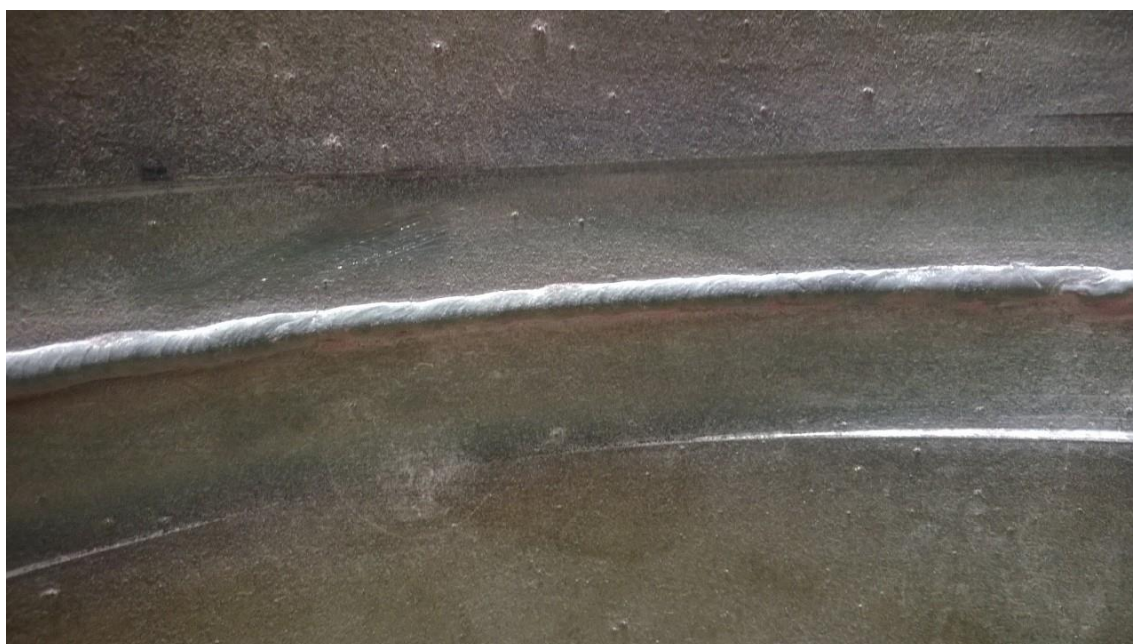
Pinnoitushitsaus MIG-menetelmällä onnistui hyvin. – 24 hitsatusta pinnasta vain kahdessa oli korjattavaa. Rouhintasorvatut kappaleet asemoituivat hyvin kiinnittimenä toimineeseen sorvinpakkaan ilman, että niitä olisi tarvinnut keskittää kappaleen vaihdon yhteydessä. Hitsausaika oli noin minuutti hitsipalkoa kohden ja kokonaisaika kappaleen asetuksineen noin 15 minuuttia pinnoitetta kohden. Kuvassa 39 näkyy hieman kirkaampana pinnoitettu alue lämpökäsittelyn ja koneistuksen jälkeen.



Kuva 39. Pinnoitettu alue valmiiksi koneistetussa kappaleessa.

6.2 Venttiilin jatkoputken MAG-liitoshitsausmenetelmäkoe

Liitoshitsauskokeessa oli haasteellisinta pohjapalon ja ensimmäisen täyttöpalon hitsaus. Pohjapalon hitsauksessa käsin koehitsauskappale olisi voinut olla korkeammalla, jotta näkyvyys hitsaustapahtumaan olisi ollut parempi. Huonosta näkyvyydestä johtuen hitsipalon toiseen reunaan tulee helposti jyrkkä liittymä, joka voi vaikeuttaa seuraavan palon hitsausta. Ensimmäisen täyttöpalon hitsauksessa oli vaarana läpisulamminen, joten hitsausenergia voisi olla vielä hieman pienempi. Kuvassa 40 on pohjapalko juurenpuolelta kuvattuna tunkeumanestetarkastuksen jälkeen.



Kuva 40. Pohjapalko juurenpuolelta kuvattuna.

Loppujen täyttöpalkojen hitsauksessa ei esiintynyt ongelmia. Hitsauskokeen valvojan suorittaman visuaalisen tarkastuksen mukaan hitsinmuoto täytti arvostelukriteerit. Koekappaleelle kolmannenosapuolen tekemä tunkeumaneste- ja radiografinentarkastus olivat myös hyväksytyjä. Koekappale on tällä hetkellä testattavana ainettarikkovilla menetelmillä, joiden tulokset eivät tätä kirjoitettaessa olleet vielä tiedossa. Kuvassa 41 on koekappaleen pintapalot tunkeumanestetarkastuksen jälkeen.



Kuva 41. Koekappaleen pintapalot.

7 Tulosten tarkastelu

7.1 Venttiilin pesän MIG-pinnoitushitsaus

Tämän kokeen perusteella pinnoitushitsaus MIG/MAG-hitsaus menetelmällä soveltuu hyvin robotisoituunkin tuotantoon.

Kokeessa saatiin talletettua kaikki hitsauksen kannalta oleelliset parametrit, joiden avulla hitsaukseen riittävästi perehtynyt henkilö pystyisi samantyyppisellä laitteistolla toistamaan saadut tulokset.

Aikaisemmin tämän tyyppisiin pinnoituksiin käytetty puikkohitsausmenetelmä on suurelta osin käsityötä ja vaatii näin vaikeapääsyisessä paikassa harjaantuneen hitsaajan.

Kaarihitsauksessa virheiden todennäköisyys on suuri kaaren syttymisvaiheessa. Tässä kokeessa MIG-hitsaus menetelmällä aloituksia oli neljä ja puikkohitsaus menetelmällä aloituksia oli saman kokoluokan kappaleissa yli kaksikymmentä.

Hitsausrobotilla hitsattuna olisi tässä tapauksessa voitu helpottaa hitsauspolttimen paikoitusta sekä mahdollistaa hitsauslanganpään katkaisemisen ennen uuden hitsipalon hitsaamista varmistaen hyvän syttyvyyden. Jatkossa kannattaisi siirtyä käyttämään nestejäähdytteistä hitsauspoltinta, joka olisi langansyötöltään varmempi.

7.2 Venttiilin jatkoputken MAG-liitoshitsausmenetelmäkoe

Menetelmäkokeella saatiin kerättyä arvokasta lisätietoa tulevan tuotantohitsauksen työmenetelmistä ja hitsausarvoista. Varsinainen tuotantohitsauksen railo poikkeaa hieman nyt hitsatun kokeen railon muodosta, joten suoraan kokeessa käytettyjä parametreja ei voida käyttää.

Pohjapalon hitsauksessa WiseRoot+-pohjapalonhitsausprosessilla voitaisiin tulevaisuudessa kokeilla hitsaamista robotilla. Käytännökokeessa koneistamalla valmistetulla railolla ei hitsaajan joustavuutta ilmaraon muuttumisen vuoksi tarvittu. Robotilla hitsattaessa voitaisiin käyttää vaaputusta eli pientä sivusuuntaista liikettä varmistamaan molempien juuripintojen sulaminen.

8 Yhteenveto

Tämänhetkisen tilanteen mukaan hitsaamon kuormitus koostuu pääosin korjaushitsauksista. Korjaushitsauksissa on kuitenkin hankaluutena niiden vaikea ennustettavuus töiden määrän sekä yksittäisen työn keston suhteen. Usein myös lähes valmiiden tuotteiden korjausten aikataulu on myös hyvin kireä, joten tarvittaessa työntekijän on oltava paikalla heti tarvittaessa. Hitsaamon kapasiteetti pitäisi mitoittaa maksimikuorman mukaan, jos halutaan varmistaa korjausten nopea läpimeno aika, mutta hiljaisempina aikoina olisi ylikapasiteettia. Kuormituksen vaihtelevuuden tasaamiseksi voitaisiin soveltuva osa alihankinnassa nyt valmistettavista tai uusista tuotteista tehdä myös omassa tuotannossa.

Robotisoitu hitsaus joustavana tuotantomenetelmänä mahdollistaisi useiden erilaisten tuotteiden ottamisen tuotantoon myös pieninä sarjakokoina. Samalla tuotteiden valmistus tulisi dokumentoitua tarkemmin, jolloin harvoinkin tehtävät työt kyettäisiin tekemään tai olisivat siirrettävissä tehtäviksi toisaalla helpommin.

Käsinhitsauksessa inhimilliset tekijät vaikuttavat suuresti hitsaustyön laatuun. Vaikka ammattitaitoiset hitsaajat pystyvät edelleen vaativissa töissä robottia parempaan laatuun, on laadun vaihtelu ongelma. Robotisoidulla hitsauksella laatutaso on helpommin pidettävissä tasaisena sekä riittävän korkeana. (16, s. 33.)

Hitsaajat altistuvat useille työstä aiheutuville riskitekijöille. Fysikaalisia ja kemiallisia riskitekijöitä hitsaustyössä on esimerkiksi:

- palovaara
- sähkötapaturma
- hitsaussavut hengitysilmassa
- silmiin ja ihoon kohdistuva säteily
- melu
- värinä
- hankalat työasennot ja työ kuormittavuus
- sähkömagneettiset kentät
- lentävät kipinät, roiskeet yms.
- tapaturmat.

Esimerkiksi kiinteitä hiukkasia sisältävissä hitsaushuuruissa haitallisimpiin aineisiin kuuluvia ovat alumiini, barium, koboltti, kromi, kupari, mangaani ja nikkeli. Tuotannossa on useita näitä seosaineina sisältäviä materiaaleja käytössä. Kromi ja nikkeli kuuluvat myös syöpäsairauden vaaraa aiheuttaviin aineisiin. (17, s. 5–6.)

Robotisoidulla hitsauksella voidaan vaikuttaa useimpiin näistä. Hitsaajan ollessa etäällä hitsaustapahtumasta altistus hitsaussavulle ja valokaaren vaikutuksille on oleellisesti pienempää. Työn ergonomia paranee myös, kun hitsaajan ei tarvitse enää kannatella hitsauspistoolia. Tehokas ilmanvaihto ja riittävä suojaus UV-säteilyltä tarvitaan suojaamaan ympäristöä myös robotisoidussa hitsauksessa. (17, s. 7.)

Lähteet

1. Metso lyhyesti. 2014. Verkkodokumentti. Metso Oy.
http://www.metso.com/fi/corporation/about_fin.nsf/WebWID/WTB-041026-2256F-55957?OpenDocument .Päivitetty 18.2.2014. Luettu 23.3.2014.
2. Koskinen, Jouko. 2003. Neles Nelimarkan oivalluksista maailmanmaineeseen. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
3. Lukkari, Juha. 2002. hitsaustekniikka Perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki: Edita Prima Oy.
4. Esa Hiltunen, Hitsauksen robotisointi ja robottihitsausjärjestelmä, Luento-materiaali, Hitsauskoordinoijan pätevyyskoulutus IWT/IWE 23 –kurssi (2010-2011)
5. Kempin tuoteluettelo 2012-2013. verkkodokumentti.
http://www.industriacenter.fi/cms/tiedostot/tiedostopankki/Kemppi_tuoteluettelo_2013.pdf. Luettu 10.4.2014.
6. Kumpulainen, Jani. 2008. Lujien terästen hitsaus räätälöidyillä MAG-hitsausvalokaarilla. Diplomityö. Oulu, Oulun yliopisto, Konetekniikan osasto.
7. Kumpulainen, Jani. 2013. WisRoot+ uudista pohjapalkojen MAG-hitsauksen. Kemppi Pronews 2013, s.33-36.
8. Esab, tuotteet. verkkodokumentti.
<http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=9932> .Luettu 10.4.2014.
9. Aga, suojakaasukäsikirja. verkkodokumentti.
<http://www.industriacenter.fi/cms/tiedostot/tiedostopankki/AGA%20Suojakaasuk%C3%A4sikirja.pdf>. Luettu 10.4.2014.
10. Kuivanen, Risto (toim.). Robotiikka. Vantaa: Tummavuoren Kirjapaino Oy.
11. Pema, tuotteet. verkkodokumentti. <http://www.pemamek.com/welding-solutions/heavy-fabrication/welding-positioners/skyhook-series/sps-1500>. Luettu 10.4.2014
12. Esa Hiltunen, Hitsauksen mekanisointi ja automatisointi, Luento-materiaali, Hitsauskoordinoijan pätevyyskoulutus IWT/IWE 23 –kurssi (2010-2011)
13. NewFiro Oy, tuotteet. verkkodokumentti. <http://www.newfiro.fi/fi/new-firo--tuotteet/kappaleenkasittelylaitteet/800-hht/>. Luettu 10.4.2014.

14. SFS-EN ISO 10218-1. Robotit ja robotiikkalaitteet. 2011. Turvallisuusvaatimukset. osa 1. Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
15. Aaltonen, Kalevi & Torvinen, Seppo. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY.
16. Hiltunen, Esa & Purhonen, Tero. 2008. Robottihitsauksen laatu – monen tekijän summa. hitsaustekniikka, 4/2008, s.33-36.
17. Esab, Hitsausuutiset 2/2006. verkkodokumentti.
http://www.esab.fi/fi/fi/news/upload/HU_2_06-2.pdf. Luettu 10.4.2014.
18. Kumpulainen, Jani ym. 2011. Application tailored MAG processes meet ultra high strength steel welding quality needs. IIW-India 2011.
19. Painelaitedirektiivi (97/23/EY). 1997.