

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

TANDEM-HITSAUSPROSESSIN SÄÄTÖ JA LAITTEISTO

TANDEM WELDING PROCESS; ADJUST AND CONFIGURATION

Lappeenrannassa 30.8.2012

Tuomas Liukkonen

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	4
2 METALLIKAASUKAARIHITSAUS ELI MIG/MAG-HITSAUS	5
3 TANDEM – HITSAUS	6
3.1 Tausta ja periaate.....	6
3.2 Kaarityypit	7
3.3 Käytettävät suojakaasut	10
3.4 Soveltuvat hitsausasennot, liitostyypit ja railot	11
3.5 Hitsauslisäaineet	11
3.6 Käyttökohteet	11
4 LAITTEISTO	12
4.1 Virtalähteet	12
4.1.1 Virtalähteen rakenne.....	13
4.1.2 Virtalähteen säätäminen	14
4.2 Ohjausyksikkö	17
4.3 Hitsauspistooli	17
4.3.1 Virtasuuttimet.....	18
4.3.2 Poltinkaula	19
4.3.3 Polttimen jäähdytys.....	20
4.3.4 Kaasusuutin	20
4.4 Langansyöttölaitteet	21
4.5 Polttimen kuljetusmekanismi	21
5 MAGNEETTINEN PUHALLUS.....	22
5.1 Magneettisen puhalluksen periaate.....	22
5.2 Magneettinen puhallus useammalla langalla hitsatessa	23
6 VALOKAARIEN INTERAKTIOT JA HITSISULAN KÄYTTÄYTYMINEN	24
6.1 Materiaalin vaikutus prosessiin.....	25

6.2 Hitsisulan käyttäytyminen	26
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	28
LÄHTEET	30

1 JOHDANTO

Virtalähteiden ja elektroniikan kehittyminen on mahdollistanut ns. monilankaprosessien käyttöönoton MIG/MAG-hitsauksessa. Monilankaprosesseissa käytetään kahta tai useampaa hitsauslankaa samanaikaisesti. Tandem-hitsaus on tyypillinen kahta lankaa käyttävä prosessi. Kahden langan käyttö lisää hitsauksen tuottavuutta ja etenkin hitsausnopeutta verrattuna perinteiseen MIG/MAG- hitsaukseen. (Lukkari, 1997, s. 191 - 192)

Sulatusteho ja hitsausnopeus ovat avainsanoja nykypäivän hitsaavassa teollisuudessa. Tandem-laitteistoilla korvataan jo ympäri maailmaa perinteisiä automatisoituja MIG/MAG-yksiköitä. Tandem-hitsausta on tutkittu viime vuosina runsaasti ja etenkin hitsauspoltinta on pyritty kehittämään.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on esitellä tandem-laitteiston pääkomponentit, sekä antaa käsitys prosessin soveltuvuudesta moniin eri hitsauskohteisiin. Työssä käydään läpi myös prosessilaitteiston säätömahdollisuuksia hitsaustuloksen optimoimiseksi. Työssä tehtyä kirjallisuustutkimusta tukee työn yhtenä osana tehty johtavien laitevalmistajien laitesittelyjen ja heidän tandem-testiensä tulosten analysointi. Lisäksi työssä on hyödynnetty IIW(International Institute Of Welding)-dokumentteja. Omia hitsauskokeita ei suoritettu.

Työ on jäsennetty seuraavasti. Toinen pääluke esittelee MIG/MAG-prosessin yleisesti. Kolmannessa pääluvussa kerrotaan tandem-hitsauksesta. Seuraava luku pitää sisällään tandem-laitteiston. Pääkomponenttien yhteydessä esitellään kunkin komponentin säätömahdollisuuksia. Perusteellisimmin tarkastellaan virtalähteen ja virtasuutinten rakennetta, sekä niiden säätöön liittyviä toimenpiteitä. Luvut viisi ja kuusi käsittelevät magneettista puhallusta, valokaarien interaktiota ja hitsisulan käyttäytymistä. Nämä ilmiöt ovat hyvin keskeisiä tandem-hitsauksessa, joten niiden olemassaolo on syytä tiedostaa. Seitsemäs luku sisältää johtopäätökset ja yhteenvedon.

2 METALLIKAASUKAARIHITSAUS ELI MIG/MAG-HITSAUS

MIG/MAG-prosessissa valokaari palaa työkappaleen ja hitsauslangan välissä. Prosessin vakavoittamiseksi ja suojaamiseksi palamisprosessi tapahtuu suojakaasun ympäröimänä. MIG-hitsauksessa (Metal-arc inert gas welding) käytetään inerttiä suojakaasua, eli kaasua joka ei reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa. (Lukkari 1997, s. 159)

Inerttejä suojakaasuja (Lukkari, 1997 s. 159):

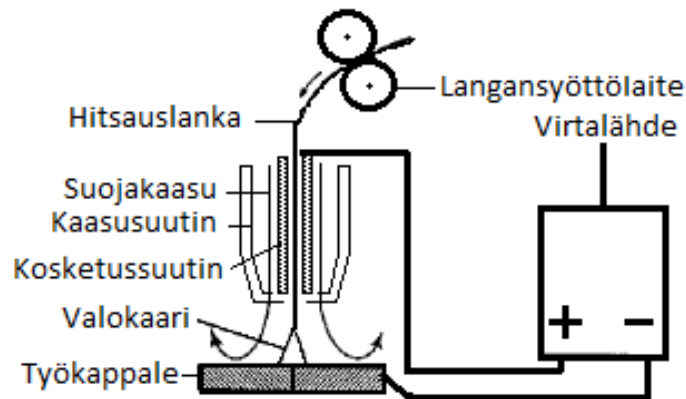
- Argon
- Helium
- Argon + Helium

MAG-hitsauksessa (Metal-arc active gas welding) käytetään aktiivista hitsisulan kanssa reagoivaa kaasua.

Aktiivisia suojakaasuja (Lukkari, 1997 s. 159):

- Argon + Hiilidioksidi
- Argon + Happi
- Argon + Happi + Hiilidioksidi
- Hiilidioksidi

Käytettävä suojakaasu määräytyy pääosin hitsattavan materiaalin mukaan. Pääsääntönä voidaan pitää, että teräkset, mukaan lukien ruostumattomat teräkset, hitsataan käyttäen aktiivista kaasua. Inerttiä suojakaasua käytetään ei-rautametallien hitsaukseen. Prosessi käynnistyy kun hitsauslanka koskettaa työkappaletta ja oikosulkuvirta sytyttää valokaaren. Hitsauslangan syöttölaitteisto syöttää jatkuvasti lankaa pistoolin läpi valokaareen. Tarvittava hitsausvirta johdetaan virtalähteestä virtajohdinta myöten pistoolissa olevaan hitsaussuuttimeen, josta se siirtyy hitsauslankaan. Sula metalli siirtyy pieninä pisaroina langanpäästä hitsisulaan. (Lukkari, 1997 s. 159)



Kuva 1. Periaatekuva MIG/MAG-hitsauksesta (Lukkari 1997, s.159, muokattu)

Virtalähteenä käytetään vakiojännitevirtalähdettä ja tyypillinen virta-alue käsivaraisessa hitsauksessa vaihtelee 80 – 350 A. Umpilangalla hitsattaessa käytetään yleensä tasavirtaa ja hitsauspistoolia + navassa. Erityistapauksissa voidaan esimerkiksi päällehitsauksia suorittaa – navassa, jolloin sulatusnopeus kasvaa huomattavasti suuremmaksi ja tunkeuma pienenee. (Lukkari 1997, s. 160)

3 TANDEM – HITSAUS

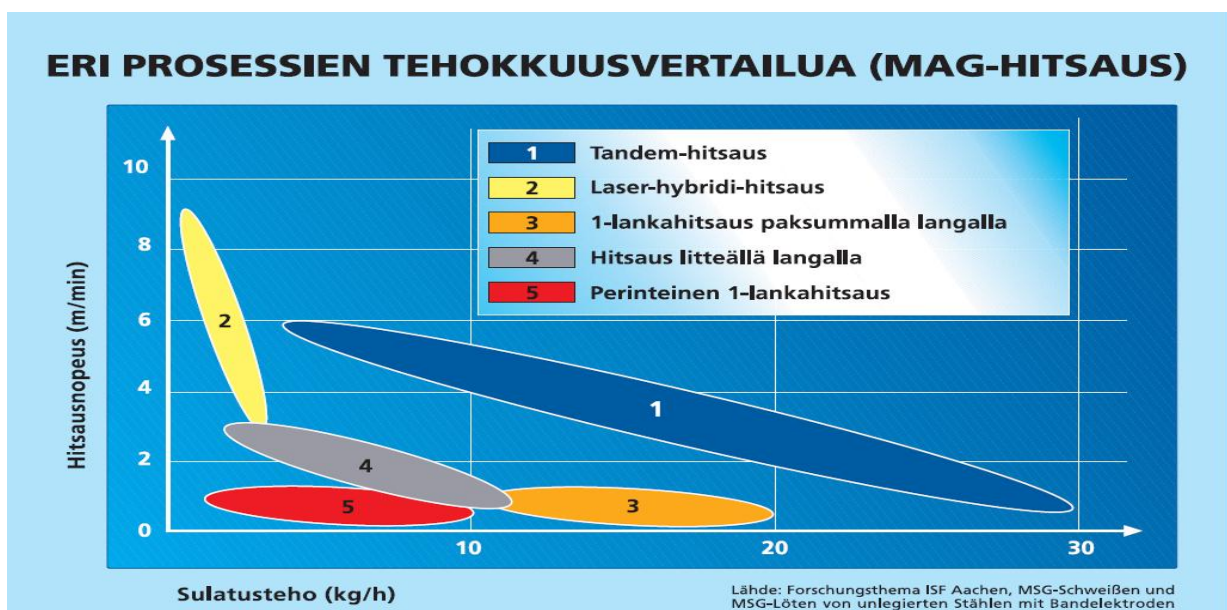
3.1 Tausta ja periaate

MIG/MAG-prosessin pohjalta on kehitetty useita prosessivariaatioita. Prosessien päätarkoituksena on lisätä hitsauksen tuottavuutta. Erilaisia sovelluksia ovat mm. suurtehomenetelmät (T.I.M.E. ja Rapid Melt), joiden teho perustuu ns. pyörivään valokaareen. Toinen tapa lisätä tuottavuutta on monilankatekniikat. Monilankatekniikoissa käytetään kahta tai useampaa hitsauslankaa samanaikaisesti. Tunnetuimmat monilankatekniikat ovat Twin ja Tandem. Twin-tekniikassa syötetään kahta hitsauslankaa saman virtasuuttimen läpi. Molempien lankojen hitsausteho on tässä tapauksessa sama, ainoastaan langansyöttönopeutta voidaan muuttaa. Lankojen välinen etäisyys on noin 4-7mm. (Lukkari 1997, s. 190)

Tandem-prosessissa molemmille langoille on omat toisistaan eristetyt virtasuuttimet sekä omat virtalähteet ja langansyöttölaitteet. Tämä mahdollistaa kummankin langan kaikkien

parametrien säätämisen erikseen. Lankojen välinen etäisyys on usein yli 10mm. Virtalähteinä käytetään yleensä pulssivirtalähteitä. Virtalähteet yhdistetään toimimaan synkronisesti kytkentämoduulien avulla. (Lukkari, 1997, s. 190; Meuronen, 1998)

Tandem-hitsausta hyödyntämällä voidaan hitsausnopeus jopa viisinkertaistaa perinteiseen MIG/MAG-hitsaukseen verrattuna. Vastaavasti myös sulatustehoa saadaan kasvatettua noin kuusinkertaiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa noin 6 m/min hitsausnopeutena ja noin 25 kg/h sulatustehona. Kuvasta 2 käy ilmi tandem-prosessin laaja käyttöalue, jota voidaan hyödyntää aina ohutlevyistä raskaisiin rakenteisiin. (Meuronen, 1998)



Kuva 2. Eri prosessien tehokkuusvertailua (MEURO-TECH)

3.2 Kaarityypit

Päämekanismeja aineen siirtymiselle langasta hitsisulaan on oikosulkusiirtyminen ja suihkumainen siirtyminen. Nimensä mukaisesti oikosulkusiirtymisessä langasta irtoavat pisarat muodostavat hetkellisiä oikosulkuja työkappaleen ja hitsauslangan välille. Suihkumaisessa siirtymisessä pisarat ovat erittäin pieniä ja siirtyvät suihkuna. Molempiin siirtymistapoihin liittyy omat kaarityypinsä. Keskeisimmät kaarityyppiin vaikuttavat parametrit ovat virta ja jännite. (Lukkari, 1997, s. 167)

Sulapisarat irtoavat langasta sähkömagneettisen pinch-voiman ansiosta. Voima F kuroo pisarat irti ja heittää ne hitsisulaan. Pinch-voiman kaava voidaan yksinkertaistaa muotoon,

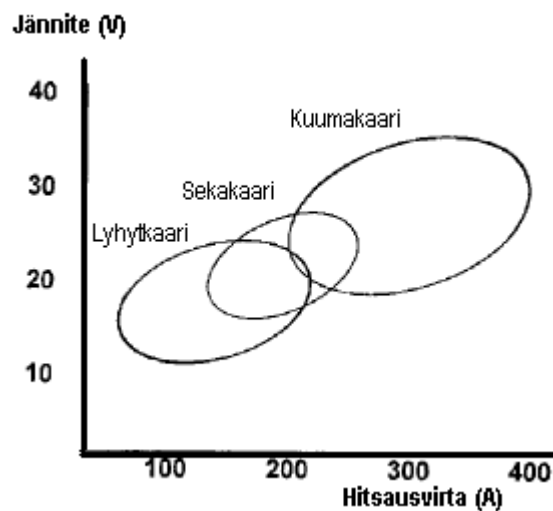
$$F = I^2 / 2 \quad (1)$$

jossa I on virta. Voima on siis erittäin riippuvainen käytetystä virrasta. Pinch-voiman kasvaessa pisarakoko pienenee. (Lukkari 1997, s. 169)

Eri kaarityypit nimetään seuraavasti (Lukkari, 1997, s.168):

- Lyhytkaari – short arc
- sekakaari – globular arc
- kuumakaari – spray arc
- pitkäkaari – long arc
- pulssikaari – pulsed arc
- pyörivä kuumakaari – rotating spray arc

Lisäksi on olemassa muutamia näistä eroavia kaarityyppejä, kuten Rapid-arc menetelmässä käytettävä pakotettu lyhytkaari. (Lukkari, 1997, s. 191)



Kuva 3. Kuvassa on kaarityyppien rajat virta-jännite kuviossa. Kuvassa on myös huomioitu langanpaksuuden ja suojakaasun vaikutus syntyvään valokaareen. (Lukkari 1997, s.168, muokattu)

Lyhytkaarihitsauksessa aineen siirtyminen tapahtuu oikosulkujen avulla. Lyhytkaarihitsauksessa käytetään tyypillisesti ohuita hitsauslankoja (< 1.2mm). Prosessille ominaista on pienet virta- ja jännitearvot, sekä nopeasti jähmettyvä ja pieni hitsisula. Ainetta siirtäviä oikosulkuja voi syntyä 20 – 200 kpl/s. Lyhytkaarihitsauksen etuina ovat sen asentohitsausominaisuudet, ohutlevyjen hitsaus, pohjapalkojen hitsaus sekä työkappaleen pienet muodonmuutokset. (Mig Welding Handbook)

Kun jännitettä ja virtaa kasvatetaan yli lyhytkaarialueen, saadaan aikaan sekakaari. Tässä tapauksessa aineensiirtyminen on yhdistelmä oikosulku- ja suihkusiirtymisestä. Langasta irtoavat pisarat ovat kooltaan suurempia kuin langan halkaisija ja yhdessä oikosulkujen kanssa ne saavat aikaan paljon roiskeita. (Mig Welding Handbook)

Kuumakaari saadaan aikaa kasvattamalla virta- ja jännitearvoja yli sekakaari alueen. Virtaa jolla kuumakaari saavutetaan, kutsutaan transitiovirraksi. Transitiovirran suuruus määräytyy langan paksuuden, materiaalin ja käytettävän suojakaasun mukaan. Kuumakaarialueella aine siirtyy hienopisaraisena eikä oikosulkuja juuri esiinny. Valokaari on vakaa ja roiskeet vähäisiä. Kuumakaarta ei voida käyttää suuren lämpömäärän vuoksi kovin ohuille materiaaleille. Käytännön alaraja materiaalipaksuudessa on 2.4mm luokkaa. Suuren sulan vuoksi jalkoasento ja alapienahitsaus soveltuvat kuumakaarelle parhaiten. (Mig Welding Handbook)

Suurilla tehoilla suoritettava CO₂-hitsaus on tyypillisesti pitkäkaarihitsausta. Pitkäkaarihitsauksessa aineen siirtyminen ei ole aina langan suuntaista, mistä johtuen hitsin pinta jää usein karkeaksi ja siinä esiintyy roiskeita. (Lukkari, 1997, s. 171)

Pulssikaari on variaatio kuumakaaresta. Pulssikaaren toiminta perustuu aineensiirtymisen ohjaamiseen pulssivirran avulla. Pulssikaarella aine siirtyy ilman oikosulkuja suihkumaisesti. Hitsausvirran arvo vaihtelee matalan ja korkean tason välillä. Matalataso eli perusvirta on tarvittavan transitiovirran alapuolella. Korkeampi taso eli pulssivirta menee yli transitiovirran kuumakaarialueelle. Ainetta siirtyy vain kun virta on korkealla tasolla. Jokaisen pulssin aikana siirtyy yleensä yksi sulapisara. Esimerkiksi Yhdysvalloissa käytetään 60 tai 120 pulssia sekunnissa. Pulssivirran ollessa kuumakaarialueella ja perusvirran ollessa alhainen, mahdollistaa pulssitus kuumakaaren käytön perinteistä kuumakaarihitsausta alhaisemmilla virran arvoilla. Pulssikaarella voidaan hitsata tavalliseen kuumakaarihitsaukseen verrattuna ohuempia kappaleita. Lisäksi hitsauslangan paksuutta voidaan myös kasvattaa kuumakaarihitsaukseen verrattuna. Pulssikaaren aikaansaaminen edellyttää inerttiä suojakaasua tai argonvaltaista seoskaasua. (Mig Welding Handbook)

Pulssihitsauksen etuja (Lukkari, 1997, s. 172):

- Suurempi hitsiaineentuotto ja hitsausnopeus lyhytkarihitsaukseen verrattuna
- Pienempi hitsausenergia ja vetelyt verrattuna kuumakaarihitsaukseen
- Vähäiset roiskeet
- Vähemmän hitsaushuuruja
- Parempi hitsin ulkonäkö

- Mahdollistaa paksumman langan käytön
- Helpottaa hitsausta vaikeasti hitsattavilla lisäaineilla, mm. nikkeli-valtaiset lisäaineet
- Erityisesti alumiinin hitsauksessa:
 - Vähentää huokosia
 - Paksun langan käyttö vähentää huokosia ja parantaa syötettävyyttä
 - Jo 2 mm paksun levyn hitsaus mahdollista eli vaihtoehto TIG (Tungsten Inert Arc Gas Welding) -hitsaukselle
 - Käyttökelpoinen kaikissa asennoissa

3.3 Käytettävät suojakaasut

Suojakaasun valintaan vaikuttavia tekijöitä (Nadzam et al. 2006, s.12):

- Langan materiaali
- Hitsiltä vaaditut mekaaniset ominaisuudet
- Materiaalipaksuus ja liitostyyppi
- Materiaalin laatu – valssihilse, korroosio, pinnoitteet ja öljy
- Aineen siirtymätapa
- Hitsausasento
- Haluttu tunkeumaprofiili
- Haluttu hitsipalonmuoto
- Hinta

Valinta ei kuitenkaan rajoitu pelkästään näihin tekijöihin (Nadzam et al. 2006, s.12).

Tandem-hitsaus ei vaadi erikoiskaasuja. Tyypillisesti käytetyt suojakaasut ovat Argonvaltaisia (Ag). Pulssikaarella hitsattaessa ei hiilidioksidipitoisuus (CO₂) saisi nousta yli 20 %. Hiiliteräksille käytetään 82 % Ar + 18 % CO₂ tai 92 % Ar + 8 % CO₂ suojakaasuja. Jaloteräksiä hitsattaessa suositellaan 98 % Ar + 2 % CO₂ kaasun käyttöä. Hiilidioksidin lisäys parantaa sulan juoksevuuutta ja mahdollistaa suuremman hitsausnopeuden. Alumiinin hitsaukseen suositellaan puhdasta Argonkaasua. Heliumin (He) lisäystä suojakaasuun käytetään ruostumattomia teräksiä ja alumiinia(>25 mm) hitsattaessa. Argonin ja hapen (O) yhdisteellä saavutetaan kuumakaari pienemmillä virroilla kuin argon/hiilidioksidi kaasuilla. Lisäksi pisarakoko pienenee ja hitsisula on juoksevampi. Hapen osuus kaasusta on yleensä 1-2 %. Kolmen eri kaasun yhdistelmillä kuten 90 % He + 7.5 % Ar + 2.5 % CO₂ saadaan parannettua lyhytkaarihitsausominaisuuksia. (Meuronen, 1998; Nadzam et al. 2006, s. 12–14)

3.4 Soveltuvat hitsausasennot, liitostyypit ja railot

Hitsausasunnoilla tarkoitetaan railon asentoa, eli missä asennossa hitsattava rako tai sauma on. Tandem-hitsauksessa eniten käytetty asento on jalkoasento (PA). Myös vaaka- (PB), pysty- (PF, PG) ja lakiasunnoissa (PE) voidaan hitsata, mutta suurempi hitsisula perinteiseen MIG/MAG-hitsaukseen verrattuna aiheuttaa omat ongelmansa hitsiin. (Meuronen 1998; Lincoln Electric 2011; SFS-EN ISO 6947)

Käytettyjä liitostyyppejä tandem-hitsauksessa (Lincoln Electric 2011):

- Päällekkäishitsit
- Pienahitsit
- Päittäishitsit viistettyihin railoihin

Standardissa SFS-EN ISO 9692-1 esitellään soveltuvat railomuodot teräksen puikko-, metallikaasukaari-, kaasu-, TIG- ja sädehitsaukselle. Standardi ei suoranaisesti koske tandem-hitsausta, mutta sitä voidaan kuitenkin hyödyntää myös monilankaprosesseille. Standardi soveltuu läpihitsattaville päittäis- ja pienahitseille sekä osittain läpihitsatuille päittäishitseille. Standardissa on esitetty railoille mitta-alueet, eikä yksittäisiä mittoja käyttökohteen laajuudesta johtuen. Annetut mitta-alueet eivät ole valmistustoleransseja vaan suunnittelun ohjearvoja. (SFS-EN ISO 9296-1)

3.5 Hitsauslisäaineet

Tandem-hitsaus ei vaadi erikoislankoja. Yleisimmin käytetään edullisia umpilankoja. Prosessi mahdollistaa myös erilaisen langankäytön kummassakin virtasuunnassa. Lankojen halkaisijoita voidaan muuttaa niin että, edellä kulkeva lisäainelanka on paksumpi. Tyypillisesti käytettävät langat ovat halkaisijoiltaan 1 mm tai 1.2 mm. Paksuudet voivat kuitenkin vaihdella molempiin suuntiin. Lankojen paksuutta vaihdeltaessa on syytä huomata eri paksuisten lankojen virransietokyky. Esimerkiksi 1.1 mm lanka kestää noin 420 A virtaa, kun taas 0.9 mm lanka enää 220 A. Lankojen seostusta muuttamalla saadaan niin ikään lisävariaatioita prosessiin. Toinen langoista voi myös olla umpilanka ja toinen täytelanka. (Meuronen, 1998; Nadzam, 2002)

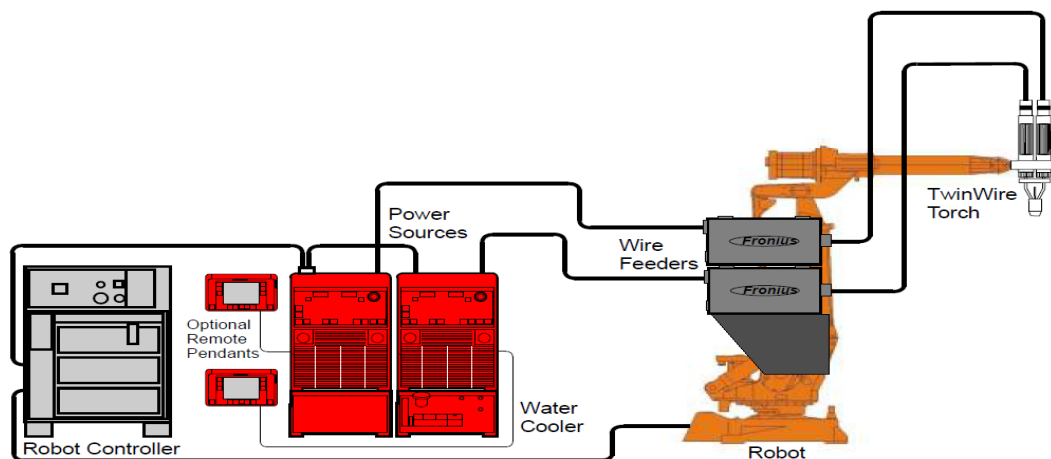
3.6 Käyttökohteet

Ohutlevyosilla hyödynnetään suuri sulatusteho nopeuden kasvuna. Riippuen mm. hitsattavasta materiaalista, liitostyypistä ja hitsausasennosta voidaan ohuilla materiaaleilla hitsausnopeus nostaa jopa 6 m/min. Nopeuden kasvua hyödynnetään mm. hitsattaessa autojen runkoja, säiliöitä, sylintereitä, liitoslevyjä ja jäykisteitä. Suurta hitsiaineentuottoa (<25 kg/h) puolestaan hyödynnetään mm. ASME-standardin mukaisissa säiliöissä, putkissa ja

piena- sekä päittäisliitosten voimahitseissä. Tyypillisiä teollisuudenaloja jotka käyttävät tandem-hitsausta ovat auto-, nostolaite-, maanrakennuslaite- ja maatalouslaiteteollisuus sekä laivanrakennus. (Tandem Wire Mig Welding, 2005; Meuronen, 1998)

4 LAITTEISTO

Tandem-laitteiston pääkomponentit ovat kaksi virtalähdettä, ohjausyksiköt, kaksi langansyöttölaitetta, tandem-hitsauspistooli sekä pistoolin kuljetusmekanismi. Kuva 4. selventää laitteiden keskinäistä sijoittelua.



Kuva 4. Tandem-hitsauslaitteisto: TwinWire Torch = Hitsauspoltin kahdella elektrodilla, Wire Feeders = Langansyöttölaitteet, Power Sources = Virtalähteet, Water Cooler = Jäähdytinlaite, Optional Remote Pendants = Ohjausyksiköt, Robot = Robotti ja Robot Controller = Robotin ohjain (Tandem wire MIG welding, 2005).

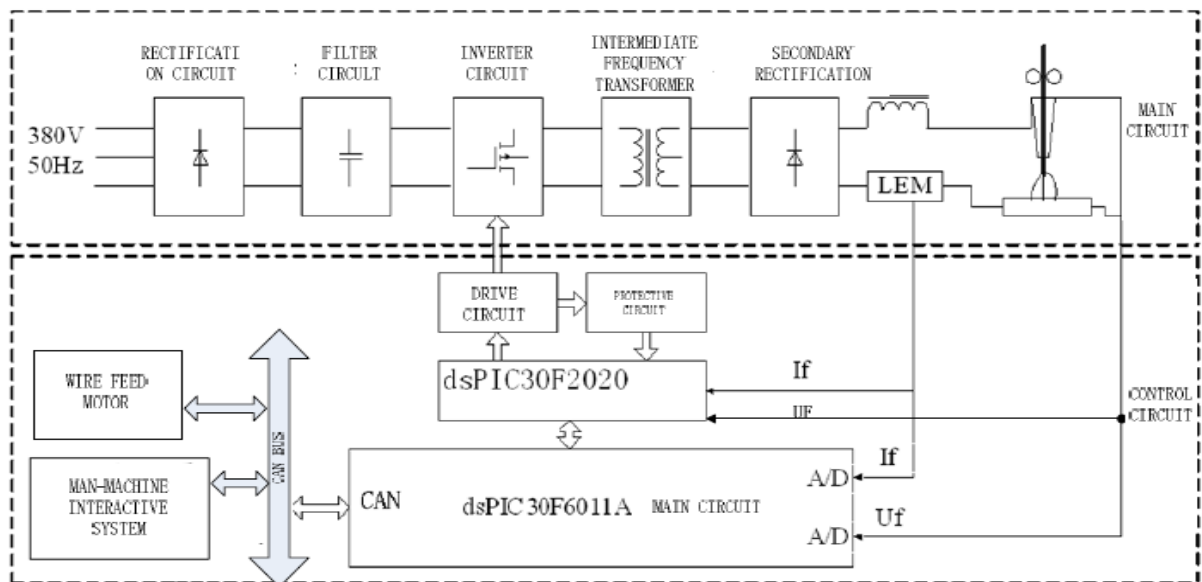
4.1 Virtalähteet

Onnistuneen lopputuloksen aikaansaamiseksi materiaalin siirtyminen langasta hitsisulaan on oltava kontrolloitua. Aineen siirtyminen voi tapahtua oikosulkusiirtymisenä, suihkumaisena tai pulssittain. Lisäksi siirtymätapojen eri kombinaatiot ovat mahdollisia. Siirtymismuotoon ja syntyvään valokaareen voidaan vaikuttaa virtalähteellä. Pulssikaaren käyttö molemmissa langoissa on yleisin vaihtoehto tehokkaassa tandem-hitsauksessa. Tyypillisesti käytettävät virtalähteet ovat siis pulssivirtalähteitä. Pulssihitsaus soveltuu erityisesti ruostumattomille teräksille sekä alumiinille. Nykyaikaiset hitsausvirtalähteet perustuvat yleensä

invertteritekniikkaan. Hitsausinvertterin tärkein osa on vaihtosuuntaaja, joka rakennetaan transistorien tai tyristorien avulla. IGBT-tyypin transistorit ovat yleisimpiä. Virtalähteen on kyettävä tuottamaan vakaa valokaari riippumatta virta- tai jännitealueesta. Digitaalinen säätötekniikka ja CAN-väylä tekevät virtalähteestä toimintavarmen ja joustavan. (Goecke & Hedegård & Lundin & Kaufmann, 2001, s. 26; Pengfei & Wei & Lijun & ZhenYang, 2011)

4.1.1 Virtalähteen rakenne

Pulssivirtalähde rakentuu kahden pääkomponentin ympärille, päävirtapiirin ja ohjausvirtapiirin. Ohjausvirtapiiri on toimivan virtalähteen ydinosa. Se voidaan jaotella kolmeen osaan; ihminen-kone vuorovaikutussysteemiin, digitaaliseen langansyöttösystemiin ja pääohjaussysteemiin. Eri systeemit ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa CAN-väylä tekniikkaa hyödyntäen. CAN-väylä mahdollistaa hyvin joustavan toimintaympäristön. CAN-väylässä sanomat lähetetään yleisesti vastaanotettaviksi ja ne solmut jotka tarvitsevat sanoman sisältävää tietoa ottavat sanoman vastaan. Väylän käyttö vähentää johtojen kokonaismäärän tarvetta ja sen avulla voidaan välittää tiedot kaikille ohjausyksiköille. Lisäksi siirtonopeudet väylällä ovat hyviä. Päävirtapiirin tärkein osa on mikroprosessori. Prosessorin tehtävänä on kommunikoida ja ohjata langansyöttö- ja ihminen-kone-systeemiä. Se kykenee laskemaan reaaliajassa tarvittavia ohjaussuureita ja pitämään näin prosessin vakaana. (Pengfei et al. 2011, Alanen, 2003, s. 3)



Kuva 5. Virtapiirien yhteensovittaminen; main circuit = pääohjaussysteemi, wire feed motor = langansyöttö moottori, man-machine interactive system = ihminen-kone vuorovaikutussysteemi, CAN-bus = CAN-väylä, control circuit = ohjausvirtapiiri (Pengfei et al. 2011)

Ihminen-kone-systeemi toimii mikroprosessorin, näppäimistön, LCD-näytön ja LED-valojen avulla. Hitsausarvot voidaan syöttää näppäimistön avulla CAN-väylään. LED-valojen ja näytön avulla pystytään tarkkailemaan saavutettuja arvoja. Prosessin toiminnasta saatava tieto on tärkeää etenkin mekanisoiduissa hitsauksessa. (Pengfei et al. 2011; Weman, 2003)

Digitaalinen langansyöttösystemi käyttää niin ikään CAN-väylää tiedon siirrossa. Langansyöttömootorina voidaan esimerkiksi käyttää 24V kestopagneettimootoria. Langansyötön täytyy olla tasaista ja tarkkaa. Mootoriin asennettu enkooderi tuottaa tietoa moottorin toiminnasta kuten nopeudesta. Tiedot kerätään talteen ja siirretään väylälle muiden yksiköiden käyttöön. (Pengfei et al. 2011)

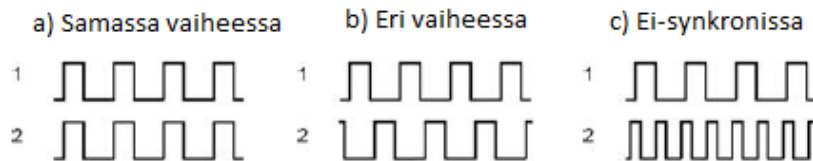
4.1.2 Virtalähteen säätäminen

Tandem-hitsauksessa parhaan lopputuloksen aikaansaamiseksi on edullisinta säätää molempien lankojen hitsausparametrit erikseen. Molemmilla langoilla on omat tehtävänsä hitsisulassa. Ensimmäinen lanka muodostaa tunkeuman, kontrolloi juuren muodostumista ja edistää hitsisulan kehitystä. Jälkimmäinen lanka puolestaan kontrolloi hitsipalon muotoa ja täyttää syntyneen kraatterin. Hyödyntämällä pulssihitsausta varmistetaan lisäaineen siirtyminen langasta hitsisulaan suurilla hitsausnopeuksilla. Myös sulan ja tunkeuman hallinta paranee pulssituksella. Suurempiin ainepaksuuksiin siirryttäessä on kuumakaaren käyttö mahdollista. (Meuronen, 1998; Tandem wire MIG welding, 2005)

Pulssivirran lisäksi voidaan virtalähteestä säätää taukovirtaa, pulssin muotoa ja taajuutta sekä pulssiaikaa. Tauko- eli perusvirran tehtävänä on säilyttää hitsi ja langanpää sulana. Sen suuruus on säädettävä niin, ettei valokaari pääse sammumaan pulssien välissä. Pulssiaika on valittu oikein, jos pulssivirralla irtoaa vain yksi sulapisara ja irtoaminen tapahtuu ilman oikosulkua riittävällä nopeudella. Pulssitaajuus määrää pisaroiden määrän aikayksikössä. Pisaramäärä ja kaariteho kasvavat taajuuden noustessa. Esimerkki taajuuksina edellä menevällä langalla noin 300 Hz ja jälkimmäisellä noin 200 Hz. (Meuronen, 1998; Lukkari, 1997, s. 172)

Yhden sulapisaran siirtyminen yhtä pulssia kohti mahdollistetaan synergisillä erillisesti ohjatuilla virtalähteillä. Hitsauslankojen välille muodostuu näin vaihe-ero. Vaihe-ero saadaan aikaan nk. "Master"- ja "Slave"- virtalähteillä. Jälkimmäisen langan pulssivaihe käynnistyy kun ensimmäisen langan pulssivaihe päättyy. Synergisellä säädöllä tarkoitetaan jännite- ja virta-arvojen (langansyöttönopeuden) pysymistä oikeassa suhteessa valitun synergialinjan eli synergiakäyrän mukaan. Näin ollen ei tarvitse säätää kuin yhtä nuppia arvojen muuttamiseksi. (Meuronen, 1998; Lukkari, 2009, s. 23)

Virtalähde käyttää kahta erilaista ominaiskäyrää, jännite/virta (U/I) ja virta/virta (I/I). Ominaiskäyrällä U/I pysyy jännite vakiona pulssin aikana ja virta vakiona perusvirran aikana. I/I ominaiskäyrällä virta on vakio sekä pulssin että perusvirran aikana. Molemmilla ominaiskäyrillä voidaan hitsata käyttäen kolmea eri virtalähteiden pulssituksen synkronointitapaa. Synkronointitavat on esitetty kuvassa 6. (Yudodibrotto & Hermans & Richardson, 2006)



Kuva 6. Virtalähteiden pulssituksen eri synkronointitavat (Yudodibrotto et al. 2006)

Taulukkoon 1 on koottu eri ominaiskäyrien ja synkronointitapojen vaikutus muodostuvaan hitsiin ja prosessin vakauteen. Taulukko on laadittu hitsaustestien pohjalta. Testilaitteiston elektrodien välinen etäisyys oli 20 mm ja hitsattava teräs 6 mm paksua rakenneterästä S355. Hitsauslankana käytettiin 1,2 mm lankaa. Suojakaasuna toimi Ar + 8 % CO₂ seoskaasu. Polttimen kallistuskulmaa muutettiin 0° ja 20° välillä. Kuljetusnopeutena käytettiin 100 cm/min ja 150 cm/min langansyöttönopeuden pysyessä samana 10/10 m/min. (Yudodibrotto et al. 2006)

Taulukko 1. Taulukossa on yhteenveto synkronointitapojen ja ominaiskäyrien vaikutuksesta syntyvän hitsin geometriaan ja prosessin vakauteen. (Yudodibroto et al. 2006)

Virtalähteen ominaiskäyrä	Synkronointi moodi		
	Samassa vaiheessa	Eri vaiheessa	Ei-synkronissa
Kuljetusnopeus 100 cm/min, poltinkulma $\alpha = 0^\circ$			
U/I	Vakaa prosessi	Vakaa prosessi Suurempi tunkeuma ja korkeampi hitsinkupu	Vakaa prosessi
I/I	Epästabiili prosessi Huokoinen hitsi	Suhteellisen vakaa prosessi	Suhteellisen vakaa prosessi
Kuljetusnopeus 150 cm/min, poltinkulma $\alpha = 0^\circ$ ja $\beta = 20^\circ$			
U/I	Vakaa prosessi (α) Ei valumia (α, β) Suhteellisen vakaa prosessi (β) Reunahaavaa ilmenee (α, β)	Vakaa prosessi (α, β) Valumia (α) Ei valumia (β) Reunahaavaa ilmenee (α, β)	Vakaa prosessi (α, β) Valumia (α) Ei valumia (β) Reunahaavaa ilmenee (α, β)
I/I	Suhteellisen vakaa prosessi (α, β) Valumia (α) Ei valumia (β)	Suhteellisen vakaa prosessi (α, β) Valumia (α) Ei valumia (β) Ei reunahaavaa (β)	Ei testattu

Prosessia on mahdollista varioida muuttamalla valokaarta molemmista langoista. Pulsrikaari ensimmäisessä langassa ja kuumakaari toisessa langassa mahdollistaa suuren hitsausnopeuden ja ilmaraon käytön. Tasavirran käyttö ensimmäisessä langassa ja pulssitus jälkimmäisessä langassa auttaa saavuttamaan suuren tunkeuman. Elektromagneettiset häiriöt vähenevät ja hitsisulan kontrollointi paranee. Lisäksi jälkimmäinen lanka laskee kokonaislämmöntuontia ja jäädyttää hitsisulaa. Tasavirran ja pulssivirran yhdistelmää kutsutaan standarditoimitilaksi. Kuumakaaren käyttö molemmissa langoissa on paksujen levyjen hitsausmenetelmä, jolla saavutetaan suuri tunkeuma. (Tandem wire MIG welding, 2005; Morehead, 2003)

Tandem-hitsausarvojen säätöikkuna on pienempi verrattuna perinteiseen MIG/MAG-hitsaukseen. Näin ollen virtalähteiltä vaaditaan tarkkaa säädettävyyttä. Kokonaishitsausvirta vaihtelee 600 – 1200 A:n välillä. Yhden elektrodin hitsausvirran vaihdella välillä 400 – 800 A. (Morehead 2003)

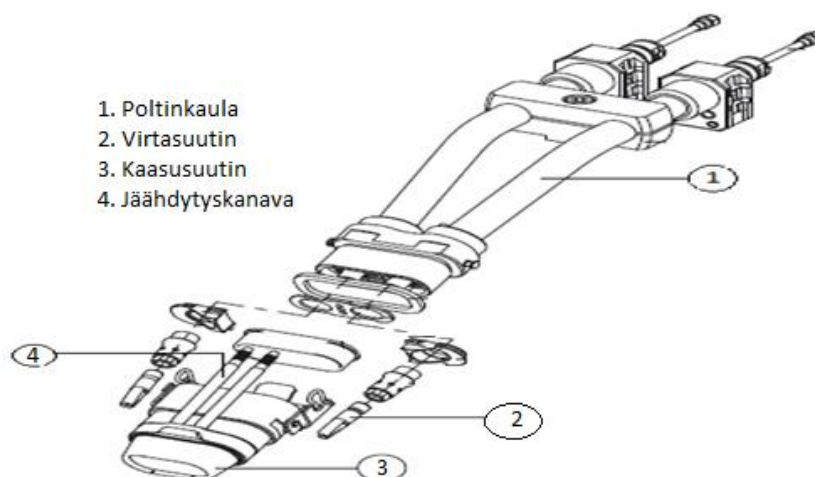
4.2 Ohjausyksikkö

Korkean tuottavuuden ja laadun takaamiseksi käytetään apuna ohjausyksikköä. Molemmilla virtalähteillä on omat yksikkönsä. Ohjausyksiköiden avulla säädetään virtalähteiden hitsausarvoja. Ohjausyksikön näytöstä nähdään tärkeimmät parametrit, kuten virta, jännite, hitsausnopeus ja lämmöntuonti. Usein ohjausyksiköissä on valittavana vakiovirta- tai vakio langansyöttömoodi riippuen työkohteen tarpeista. (ESAB, 2011)

Ohjausyksikkö hyödyntää CAN-väylää kuten virtalähteet. Enkooderiohjatut moottorit mahdollistavat tarkan liikkeen säädön. Parametreille voidaan asettaa tietyt rajat, joiden sisällä hitsaus täytyy tapahtua. Jos rajat ylitetään, hälyttää ohjausyksikkö siitä käyttäjälle. Monilankahitsauksessa kuten tandem-hitsauksessa saadaan molemmille langoille säädettyä oikeat arvot ohjausyksikön avulla. Kun optimiarvot on saavutettu, voidaan ne tallentaa ohjausyksikön muistiin tai esimerkiksi USB-tikulle. Tämä helpottaa erityisesti hitsauksen toistettavuutta. Tandem-hitsauksessa ohjausyksiköitä käytetään master-slave moodissa, jolla mahdollistetaan vaihesiirto virtalähteiden välille. (ESAB, 2011)

4.3 Hitsauspistooli

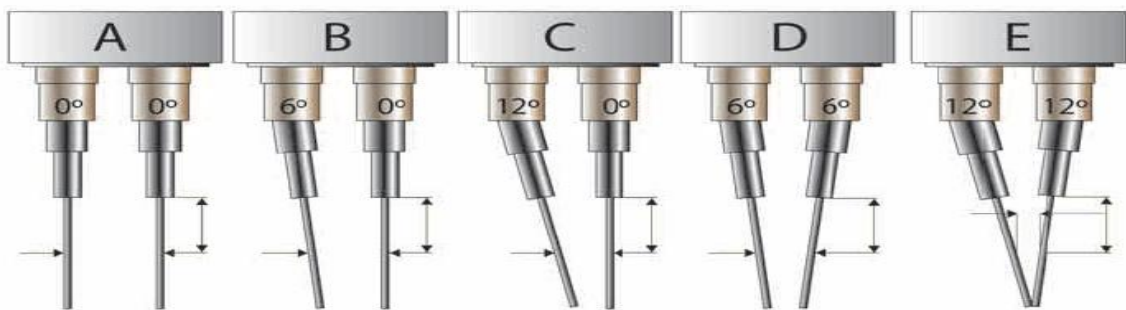
Hitsauspistooli on laite, jonka kautta hitsauslankaa syötetään valokaareen. Pistoolista voidaan käyttää myös nimitystä hitsauspoltin. Polttimen kaksi elektrodia on asetettu kulkemaan peräkkäin. Elektrodien välinen etäisyys pysyy hitsatessa vakiona. Poltintyyppistä riippuen voi elektrodien välinen etäisyys ja kulma vaihdella. Polttimia on mahdollista saada myös erimuotoisilla poltinkauloilla. Nestejäähdytys on yleisin tapa jäähdyttää poltinta. Kuvassa 7 on esitelty tandem-hitsauspolttimen rakenne. (TBi Industries GmbH, 2011; Mori, 2004)



Kuva 7. Tandem-MIG/MAG-hitsauspolttimen pääkomponentit. (Abicor Binzel, 2009, muokattu)

4.3.1 Virtasuuttimet

Toisistaan täysin eristetyt virtasuuttimet mahdollistavat molempien lankojen hitsausparametrien säätämisen erikseen. Useimmat poltinmallit on varustettu virtasuutinten asentojen säädöillä. Ainakin toinen virtasuuttimista on yleensä säädettävissä korkeuden suhteen. Tällä mahdollistetaan polttimen käyttö pystysuorasta poikkeavassa linjassa, niin että virtasuuttimen ja työkappaleen etäisyys pysyy vakiona. Molempien virtasuuttimien kulma on myös säädettävissä kullekin materiaalille ja asennolle optimaaliseksi. Edellä kulkevaa lankaa kutsutaan vetäväksi langaksi ja jälkimmäistä lankaa työntäväksi langaksi. (Unosson & Petersson, 2003; Goecke et al. 2001)



Kuva 8. Kulmavariaatioita lankojen asemoinnista on esitetty kuvassa. (Lukkari & Pekkari, 2004)

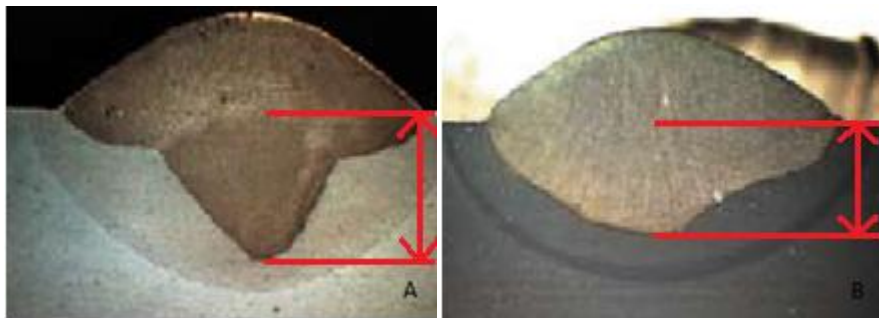
Lähekkäin olevat valokaaret ovat vuorovaikutuksessa toisiinsa ja heikentävät prosessin stabiiliutta. Pulssikaari on eniten käytetty kaarityyppi sillä sen avulla voidaan kompensoida valokaarien häiritseviä vaikutuksia. Pulssikaaren käyttö vaatii kuitenkin useiden eri parametrien säätöä. Vetävän langan ollessa suorassa (0°) ja työntävän 9° kulmassa on onnistuttu saamaan aikaan melko laaja säätöikkuna. Toinen vaihtoehto on hitsata ilman pulssitusta. Ilman pulssitusta hitsattaessa ongelmaksi muodostuvat valokaarien keskinäiset häiriöt. Tässä tapauksessa säädettäviä hitsausarvoja on kuitenkin vähemmän. Jotta pulssiton hitsaus saataisiin onnistumaan, täytyy elektrodien välistä etäisyyttä usein kasvattaa. (Hedegård & Tolf & Andersson, 2005, s. 34–35; Goecke et al. 2001)

Pulssihitsausta rajoittavia tekijöitä (Hedegård et al. 2005):

- Optimoitaessa hitsin geometriaa ja tunkeumaa on hitsausvirtojen säätöikkuna pieni
- Vähentää eri kaarityyppien käyttömahdollisuuksia
- Voi rajoittaa tuottavuutta, sillä jokaiselta pulssilta vaaditaan tietty aika sulattamaan materiaali
- Samanaikaiset pulssit kasvattavat stabiilius- ja roiskeongelmia

- Hitsausparametrien suuri määrä
- Optimiarvojen määrittäminen usein aikavievä
- Suurilla hitsausvirroilla ja kuljetusnopeuksilla saattaa aiheutua roiskeita ja häiriöitä valokaareissa

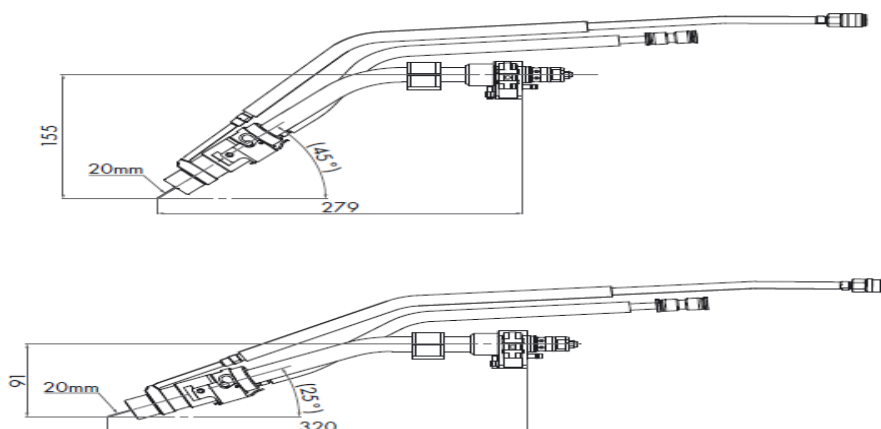
Hyödyntämällä suurempaa elektrodien välistä etäisyyttä voidaan hitsata ilman pulssitusta. Elektrodien välimatkan ollessa noin 20mm, molemmat langat säädetään erikseen ilman, että siitä aiheutuu häiriötä toiseen lankaan. Tämä nopeuttaa optimiarvojen etsintää huomattavasti. Elektrodien välimatkan kasvatus mahdollistaa myös uusien valokaarikombinaatioiden käytön, esimerkiksi lyhytkaari molemmissa elektrodeissa. Joissakin tapauksissa myös tunkeumaa saadaan kasvatettua muuttamalla elektrodien välistä etäisyyttä. Valokaarien on kuitenkin työskenneltävä samassa hitsisulassa, jotta suuri tunkeuma saadaan hyödynnettyä. Kuvassa 9 nähdään kuinka elektrodien välimatkan kasvatus vaikuttaa hitsaussyvytyteen. (Hedegård et al. 2005)



Kuva 9. Molemmat hitsit on hitsattu 10 + 10 m/min langansyöttönopeutena ja 1 m/min kuljetusnopeutena vain elektrodien etäisyyttä on muutettu. A-kohdassa on käytetty 20 mm etäisyyttä ja B-kohdassa 10 mm etäisyyttä. (Hedegård et al. 2005)

4.3.2 Poltinkaula

Erilaiset hitsaustyöt vaativat usein erilaisia poltinkauloja. Eripituisia ja taivutettuja poltinkauloja onkin suunniteltu varmistamaan elektrodien vieni hitsauskohtaan. Poltinkaulojen liitännät on kehitetty siten että, kaulojen vaihdot tapahtuvat nopeasti. Virta- ja kaasusuutin voidaan vaihtaa ja asemoida hitsaussolun ulkopuolella säästämällä tuotantoaikaa. Tyypillisiä poltinkaulakulmia tandem-hitsauksessa on 0°, 25° ja 45°. (Abicor Binzel, 2009)



Kuva 10. Kaksi eri kulmaan taivutettua poltin kaulaa. Ylemmässä lankojen välinen etäisyys 8 mm (kulma 45°) ja alemmassa 10 mm (kulma 25°). (Abicor Binzel, 2009)

4.3.3 Polttimen jäähdytys

Hitsattaessa suurilla virroilla on polttimen jäähdytys tärkeää. Jäähdytyslaite voi olla erillinen tai osana virtalähdettä. Tandem-polttimissa käytetään yleensä nestejäähdytystä. Jäähdytyksellä taataan kulutusosien pidempi kestoikä sekä hitsin laadun parantuminen. Riittävä jäähtyminen on myös tärkeää mm. virheettömän langansyötön kannalta. Poltinmallista riippuen jäähdytyskanavia on yleensä yhdestä kolmeen. Nestevirtaus on ohjelmoitu käynnistymään hitsauksen alkaessa. Jäähdytystä jatketaan muutama minuutti vielä hitsauksen päätyttyä. Mikäli nestevirtauksen paine laskee liikaa, keskeytyy hitsaus automaattisesti. Tarvittavan paineen raja-arvon voi hitsaaja itse asettaa. (ESAB, 2006)

4.3.4 Kaasusuutin

Kaasusuutin eli kaasuholkki ympäröi virtasuuttimia. Sen tehtävänä on muodostaa tasainen kaasuvirtaus suojaamaan valokaarta. Valmistajat tarjoavat erilaisia malleja muodoltaan ja kooltaan. Kaasusuuttimen säätäminen virtasuuttimiin nähden voi joskus olla tarpeen, siksi markkinoilla on myös säädettäviä kaasusuuttimia. Hyvän kaasusuojan ja tasaisen kaasunvirtauksen varmistamiseksi on suutin pidettävä puhtaana roiskeista. Suurikokoinen kaasusuutin yhdessä suuren suojakaasunvirtausnopeuden kanssa takaavat hyvän kaasunvirtauksen myös suurilla kuljetusnopeuksilla. Kuvassa 11 nähdään, kahden eri valmistajan kaasusuutintratkaisut. (Lukkari, 1997, s. 188; Hedegård et al. 2005)



Kuva 11. Vasemmalla DINSE DIX DTS 500-polttimen kaasusuutin ja oikealla Binzel WH tandem WH800-polttimen kaasusuutin. (DINSE, 2011; Abicor Binzel, 2009)

4.4 Langansyöttölaitteet

Tandem-hitsauksessa molemmille langoille on omat langansyöttölaitteet. Langansyötön varma toiminta on perusta onnistuneelle hitsaukselle. Langan kulun kelalta langanjohdinta pitkin virtasuuttimen läpi valokaareen on oltava häiriötöntä. Langansyöttöjärjestelmiä on kolmenlaisia; työntävä-, työntö-veto- ja välisyöttöjärjestelmä. Yleensä käytössä on työntävä- tai työntö-vetojärjestelmä. Langansyöttö tapahtuu vastakkain asetettujen syöttöpyörien avulla. Valmistajasta riippuen syöttöpyöräparien ja käyttömoottorien lukumäärä voi vaihdella. Nelipyöräiset langansyöttösystemit ovat nykyään yleisimpiä. (Lukkari, 1997, s. 181–183)

Tärkeä langansyöttöön vaikuttava tekijä on myös syöttöpyörissä olevan uran muoto ja sileys. Uran muodon valintaan vaikuttaa käytettävä lisäainelanka. V-ura on yleinen teräslangoille ja U-ura alumiinilangoille. Alumiinilangoille suositellaan käytettävän työntö-vetosyöttöjärjestelmää (push-pull) lankojen pehmeiden takia. Langansyöttömoottorin on kyettävä kasvattamaan syöttönopeus lähelle 30 m/min tehokkaan hitsauksen takaamiseksi. Elektronisesti ohjattu langansyöttö mahdollistaa tarkan ja vakaan valokaaren. Esiohjelmoidut synergialinjat ja mahdollisuus luoda uusia synergialinjoja helpottavat tandem-parametrien etsintää. (Lukkari, 1997, s.184; ESAB, 2007)

4.5 Polttimen kuljetusmekanismi

Suuresta kuljetusnopeudesta, suuresta hitsausvirrasta ja nestejäähdytteisestä polttinrakenteesta johtuen MIG/MAG-tandemhitsaus on aina mekanisoitua tai robotisoitua. Jatkuva lisäaineensyöttö ja polttimen verrattain helppo kiinnittäminen portaaliin tai robottiin edesauttavat mekanisointia. Haittapuolena voidaan pitää polttimen suurta kokoa, joka rajoittaa hitsaamista ahtaissa paikoissa ja pienellä säteellä. (Meuronen, 1998)

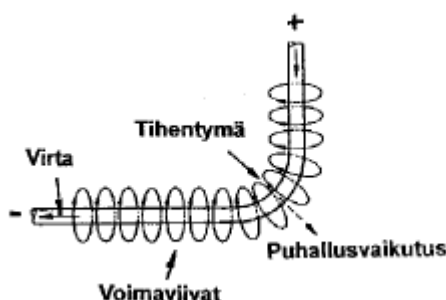
Polttin voidaan kiinnittää robottiin, portaaliin tai traktoriin käyttötarpeen mukaan. Kuljettimen on oltava riittävän jäykkä, eikä siinä saa esiintyä ylimääräisiä värinöitä, jotka haittaisivat valokaaren toimintaa. Lisäksi kuljettimelta vaaditaan suurta suorituskykyä tarkoissa liikkeissä

joiden nopeudet ja kiihtyvyydet kasvavat suuriksi. Kuljettimen avuksi asennetaan usein railonseurantajärjestelmä virheiden minimoimiseksi. (Goecke et al. 2001, s. 25)

5 MAGNEETTINEN PUHALLUS

5.1 Magneettisen puhalluksen periaate

Sähkövirta muodostaa ympärilleen magneettikentän. Magneettikenttä kääntyy valokaaren kohdalla kohti maadoitinta. Tämä saa aikaan magneettikentän tihentymän käännöksen sisäpuolelle ja laajentuman ulkopuolelle. Tästä johtuen valokaaren kohdalla on epätasainen magneettikenttä, joka saa valokaaren taipumaan heikomman kentän suuntaan. Tätä ilmiötä kutsutaan magneettiseksi puhallukseksi. Kuvassa 12 on esitetty magneettikentän kääntyminen ja siitä aiheutuvat tihentymä sekä puhallusvaikutus. Puhalluksen voimakkuuteen vaikuttaa hitsausvirran suuruus ja kulkureitti. (Lukkari, 1997, s. 75)



Kuva 12. Magneettikentän muodostuminen (Lukkari, 1997, s. 75)

Tasavirralla (DC) on puhallusvaikutus suurimmillaan. Vaihtovirtaa (AC) käytettäessä magneettinen puhallus on vähäistä. Johtuen työkappaleeseen muodostuvista pyörrevirroista, joiden magneettikentät kumoavat puhallusta aiheuttavan magneettikentän. Muita keinoja puhalluksen kompensoimiseksi on maadoittimien lisääminen tai niiden parempi sijoittelu. Lisäksi apupalan käytöllä on mahdollista vähentää haitallista puhallusvaikutusta etenkin levyn reunoilla. (Lukkari, 1997, s.75–76)

Magneettisen puhalluksen haittavaikutukset (The Procedure Handbook Of Arc Welding, 1973, 3.2-4):

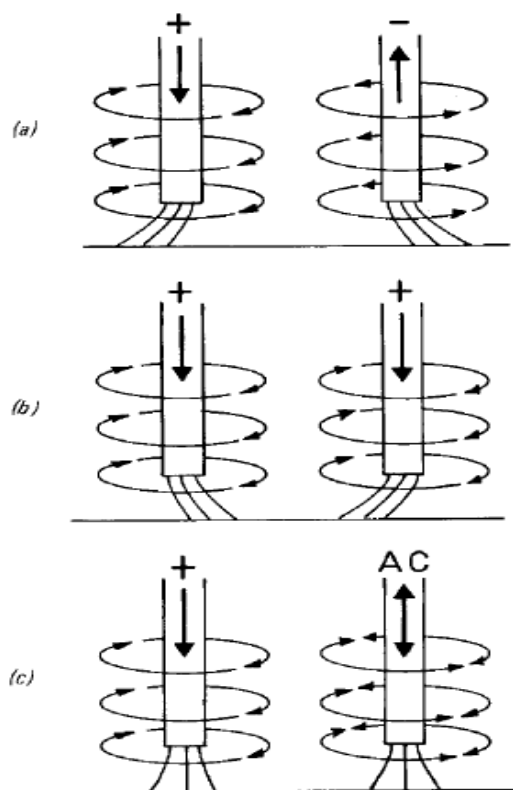
- Hitisulan hallinta vaikeutuu
- Roiskeiden määrä kasvaa
- Epätäydellinen liittyminen hitsiaineen ja perusaineen välillä
- Hitsausnopeuden lasku
- Huokoisuus
- Alentunut hitsin laatu
- Reunahaava

Pienellä magneettisella puhalluksella voi olla myös positiivisia vaikutuksia hitsiin. Se voi helpottaa hitsipalon muodon hallintaa. Lisäksi sen avulla voidaan kontrolloida sulaa kuonaa ja tunkeumaa. (The Procedure Handbook Of Arc Welding 1973, 3.2-4)

5.2 Magneettinen puhallus useammalla langalla hitsatessa

Tandem-hitsauksessa on kaksi magneettikenttää muodostavaa elektrodia lähellä toisiaan. Elektrodien magneettikentät vaikuttavat toisiinsa ja aiheuttavat magneettisen puhalluksen molempiin valokaariin. Tandem hitsauksessa on mahdollista säätää molempien elektrodien napaisuutta. Näin ollen pystytään vaikuttamaan magneettisen puhalluksen suuntaan ja suuruuteen. (The Procedure Handbook Of Arc Welding, 1973, 3.2-4)

Erinapaiset lähekkäin olevat elektrodit saavat aikaan voimakkaan magneettikentän elektrodien väliin. Tämä johtaa magneettisen puhalluksen suuntautumiseen pois päin keskelle muodostuvasta kenttien tihentymästä. Mikäli elektrodit ovat samannapaisia, kääntyvät valokaaret puhalluksen voimasta kohti keskustaa. Toisen elektrodin ollessa tasavirralla (DC) ja toisen vaihtovirralla (AC) jää puhallusvaikutus pieneksi, johtuen vaihtovirran kentän kumoutumisesta joka kierroksella sekä tasavirtakentän heikkoudesta. Kun molemmat elektrodit asetetaan vaihtovirralla (AC), vältetään puhallus vaihe-eroa säätämällä. Vaihe-eroksi asetetaan 80–90°. Tämä tarkoittaa sitä, että toisen valokaaren magneettikentän ollessa voimakkaimmillaan on toinen pienimmillään. Lopputuloksena on hyvin pieni magneettinen puhallus. Kuvassa 13 on esitetty magneettikenttien keskinäisten reaktioiden vaikutus puhalluksen suuntaan ja suuruuteen eri napaisuuksilla. (The Procedure Handbook Of Arc Welding, 1973, 3.2-4)



Kuva 13. Magneettinen puhallus tandem-hitsauksessa a) Erinapaiset valokaaret; magneettikentät voimistavat toisiaan ja puhallus suuntautuu ulospäin. b) Samannapaiset valokaaret; magneettikentät heikentävät toisiaan ja puhallus suuntautuu sisäänpäin. c) Toinen valokaari tasavirralla (DC) ja toinen vaihtovirralla (AC); pieni magneettinen puhallus. (The Procedure Handbook Of Arc Welding, 1973, 3.2-4):

6 VALOKAARIEN INTERAKTIOT JA HITSISULAN KÄYTTÄYTYMINEN

Kaarien väliset interaktiot voidaan nähdä positiivisena tai negatiivisena vaikutuksena hitsin muodostumiseen. Lyhyellä elektrodien välimatkalla (8-11 mm) kaarien vuorovaikutus havaitaan suurempana. Välimatkan kasvaessa (12–15 mm) interaktiot heikkenevät ja 20 mm välimatkalla häviävät lähes kokonaan. Elektrodien välisen etäisyyden kasvatus pidentää myös hitsisulaa, jolloin sulan käyttäytyminen nousee merkittäväksi tekijäksi laadukkaan hitsin aikaansaamiseksi. Kontrolloimalla hitsisulaan metallin siirtymisestä aiheutuvia aaltoja saavutetaan haluttu tunkeuma ja laadukas hitsi. (Andersson & Tolf & Hedegård, 2006, s. 1)

6.1 Materiaalin vaikutus prosessiin

Stabiilin tandem-hitsausprosessin aikaan saamiseksi on syytä ymmärtää kaarien interaktioiden ja hitsisulan käyttäytymisen vaikutus lopputulokseen. Materiaalista ja prosessiasetuksista riippuen alkavat valokaaret yhdistyä toisiinsa. Etäisyys jolla yhdistyminen alkaa on noin 10mm. Etäisyydestä 12–15 mm ylöspäin on interaktio niin heikko, että kaaret pysyvät itsenäisinä. Alle 10 mm etäisyyksillä kaaret yhdistyvät yhdeksi kaareksi. (Andersson et al. 2006, s. 8)

Täysin toisiinsa yhdistyneiden valokaarien vaikutus hitsiin nähdään usein positiivisena. Ongelmia aiheuttaa kuitenkin yhdistyneiden valokaarien alttius ulkoisille häiriöille. Vain osittain yhdistyneiden valokaarten ongelmana on roiskeisuus, jota ei saada täysin hallintaan edes pulssihitsaamalla. Tästä syystä vain osittain yhdistyneiden valokaarien käyttö hitsauksessa on vähäistä. (Andersson et al. 2006, s. 9)

Taulukossa 2 on esitetty elektrodien välimatkan ja kaarityypin vaikutus prosessiin eri materiaaleilla. Taulukko on laadittu testihitsauksien perusteella. Testatut materiaalit olivat C-Mn teräs (Domex 420 MC), ruostumaton teräs (EN 1.4301) ja Mg-Si alumiiniseos (AA6082-T6). Ilman pulssitusta hitsattaessa käytettiin ominaiskäyrää, jolla jännite pysyi vakiona. Vakiovirtaominaiskäyrää hyödynnettiin pulssihitsauksessa. Hitsausnopeus oli 100 cm/min. Kaikkia materiaaleja hitsattiin käyttämällä elektrodien välisiä etäisyyksiä 5 mm, 10 mm ja 20 mm. Testissä tutkittiin myös eri kaarityyppien vaikutusta syntyvään hitsiin elektrodien välimatkan muuttuessa. (Andersson et al. 2006, s. 2)

Taulukko 2. Taulukossa esitetään yhteenveto elektrodien välimatkan ja kaarityypin vaikutuksesta hitsiin eri materiaaleilla. (Andersson et al. 2006, s. 3-5)

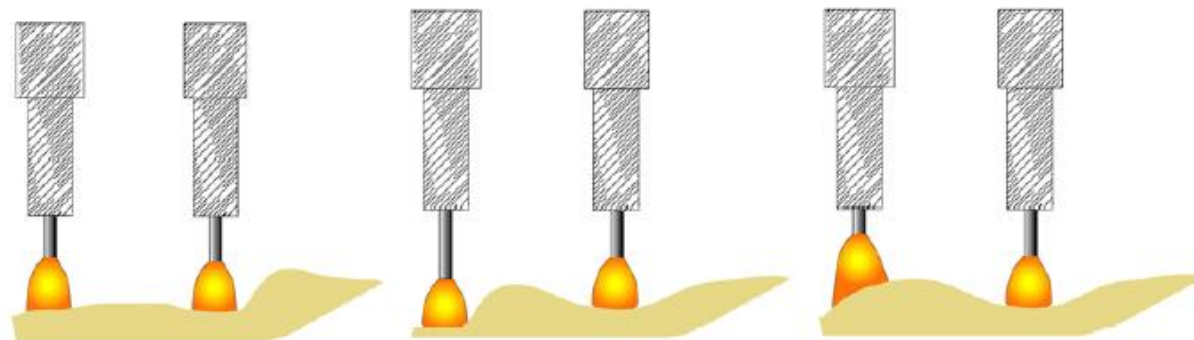
Materiaali:	Elektrodien välimatka:	Vaikutus:	Huomioita:
Ei-synkronoitu hitsaus			
Niukkaseosteinen C-Mn teräs	< 10 mm	Epästabiili, paljon roiskeita lyhytkaarella	
	10 mm	Vain pulssikaarella roiskeeton	
	>20 mm	Valokaarilla ei näkyvää vuorovaikutusta, kaikki valokaarikombinaatiot mahdollisia	
Ruostumaton teräs	<10 mm	Vain pulssikaarella stabiili	Täysin roiskeetonta prosessia ei voida saavuttaa
	>20 mm	Valokaarien interaktio heikko, kaikki valokaarikombinaatiot mahdollisia	
Mg-Si alumiiniseos	>5 mm	Tasainen hitsin kupu ja tunkeuma	Pulssikaarella hyvin stabiili prosessi
	>20 mm	Hyvin juokseva hitsisula voi aiheuttaa karhean ja hapettuneen pinnan	
Synkronoitu hitsaus			
Niukkaseosteinen C-Mn teräs	5-10 mm	Synkronointi vähentää roiskeiden määrää, eri-vaiheessa olevat valokaaret saavuttivat lähes roiskeetoman hitsin	
	>10 mm	Synkronoinnilla ei vaikutusta roiskeiden määrään	
Ruostumaton teräs	5-10 mm	Prosessin stabiilius paranee, valokaaren tehokkuus paranee, tunkeuma kasvaa, tasaisempi hitsin kupu	Täysin roiskeetonta prosessia ei voida saavuttaa
	>10 mm	Ei merkittävää parannusta ei-synkronoituun hitsaukseen	

Taulukon pohjalta voidaan todeta, että valokaarien interaktiot vaikuttavat positiivisesti alumiinin hitsaukseen. Ruostumattomia teräksiä hitsattaessa interaktiolla on voimakkaita negatiivisia vaikutuksia. Niukkaseosteisten terästen hitsaus onnistuu sekä lyhyillä että pidemmällä etäisyyksillä synkronointia hyödyntäen. Perussääntönä voidaan pitää pitkän elektrodien välisen matkan valintaa C – Mn - teräksille ja ruostumattomille teräksille, lyhyen etäisyyden valintaa alumiinille. Lyhyillä etäisyyksillä synkronoinnilla on tärkeämpi rooli kuin synkronointitavalla. (Andersson et al. 2006, s.10)

6.2 Hitsisulan käyttäytyminen

Tandem-hitsauksessa hitsisula käyttäytyy kolmen eri perustapauksen mukaan. Hitsauslangasta irtoavat sulapisarat saavat hitsisulan aaltoilemaan. Muodostuvien aaltojen mukaan tapaukset nimetään jälkiaalloksi (trail-wawe), seisovaksi aalloksi (standing-wawe) ja työntöaalloksi (push-wawe). Jälkiaallossa aalto muodostuu jälkimmäisen elektrodin taakse.

Seisova aalto puolestaan muodostuu elektrodien väliin. Työntöaalto syntyy myös elektrodien väliin, mutta se työntyy vasten ensimmäistä elektrodia. Kuvassa 14 nähdään aaltojen muodostumiskohdat. Polttimen kuljetus suunta kuvassa on oikealta vasemmalle. (Andersson et al. 2006, s.4)



Kuva 14. Vasemmalla; jälkiaalto (trail-wawe), keskellä; seisova aalto (standing-wawe) ja oikealla; työntöaalto (push-wawe) (Andersson et al. 2006, s.4)

Lyhyillä elektrodien välisillä etäisyyksillä (<8-11 mm) noudattelee hitsisula jälkiaallon mukaista käytöstä. Prosessi saadaan pysymään stabiilina käyttäen jälkiaaltoa, kunhan hitsausnopeudet eivät kasva liian suuriksi. Seisovan aallon aikaansaaminen johtaa todella hyvään prosessin vakauteen ja korkeaan hitsinlaatuun. Seisovan aallon syntyyn ja sen ylläpitoon voidaan vaikuttaa kahdella tapaa, joko lisäämällä kaaripainetta hitsisulan takaosassa tai vaikuttamalla ensimmäisen elektrodin tuottamaan pisaroiden määrään. Jälkimmäisen elektrodin kaaripaineen muuttaminen on usein perustellumpi tapa, koska virtausta joudutaan kasvattamaan hitsausnopeuden noustessa. Kasvattamalla ensimmäisen elektrodin tuottamaa sulan määrää voidaan välttyä reunahaavalta. Liian suuri valokaaren pituus, etummaisesta elektrodin sulan tuoton kasvu tai liian suuri poltinkulma voivat johtaa työntöaallon syntyyn. Ensimmäistä valokaarta vasten painautuva työntöaalto heikentää valokaaren vakautta. Työntöaallon prosessin vakautta heikentävät ominaisuudet saadaan kuitenkin minimoitua käyttämällä lyhytkarta. (Andersson et al. 2006, s. 9-10)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tandem-prosessille on mahdollista löytää oikeat arvot ja asetukset monille eri materiaaleille, hitsausasenoille sekä ainevahvuuksille. Virtalähteiden suorituskyky ja tandem-hitsauspolttimen rakenne osoittautuivat tärkeimmiksi tekijöiksi hitsaustulosta optimoitaessa. Lisäksi valokaarien interaktioiden ja hitsisulan käyttäytyminen täytyy tiedostaa, sillä ne eroavat merkittävästi perinteisestä MIG/MAG-hitsauksesta.

Pulssihitsaus on yleisin menetelmä. Se soveltuu erityisesti ruostumattomille teräksille ja alumiinille. Pulssihitsauksen lisäksi voidaan hitsata myös niin, että toinen tai molemmat elektrodit ovat kuumakaarella. Valokaarivariaatioilla vaikutetaan mm. tunkeumaan ja hitsausnopeuteen. Virtalähteet voidaan synkronoida kolmella tapaa; eri vaiheeseen, samaan vaiheeseen ja ei-synkroniin. Etenkin lyhyillä elektrodien välisillä etäisyyksillä virtalähteiden synkronoinnilla on merkittävämpi rooli kuin itse synkronointitavalla. Digitaalinen säätötekniikka ja CAN-väylän hyödyntäminen tekevät virtalähteestä hyvin joustavan ja toimintavarman.

Virtasuuttimien väliset etäisyydet ja kulmat vaikuttavat mm. hitsausnopeuteen ja tunkeumaan. Pulssihitsauksessa etuina ovat aineensiirtyminen suurilla nopeuksilla, vähäiset vuorovaikutukset valokaarien välillä sekä sulan ja tunkeuman kontrollointi. Pulssiton hitsaus vaatii elektrodien välimatkan kasvatus (<20 mm) interaktiosta johtuen. Yli 20 mm välimatkalla on mahdollista hitsata myös lyhytkaarella. Ilman pulssitusta hitsattaessa etuina ovat säädettävien parametrien pienempi määrä ja laajempi säätöikkuna.

Tandem-hitsaus on alttiimpi roiskeille kuin yksilankahitsaus. Valokaarien interaktioilla on positiivinen vaikutus hitsiin, kaarien ollessa täysin yhdistyneet. Osittain yhdistyneet valokaaret aiheuttavat roiskeita, joita ei saada täysin kuriin edes pulssituksella. Alle 10 mm etäisyydellä toisistaan olevat valokaaret yhdistyvät yhdeksi kaareksi.

Hitsisulan käyttäytyminen vaikuttaa prosessin vakauteen. Hitsisulan käyttäytyminen tandem-hitsauksessa ymmärretään kolmen perustapauksen mukaan, jälkiaallon, seisovan aallon ja työntöaallon tapauksena. Jälkiaalto ja seisova-aalto aikaansaavat vakaan prosessin.

Magneettinen puhallus havaitaan valokaarien kääntymisenä. Samannapaiset valokaaret kääntyvät toisiaan kohti, erinapaiset pois päin toisistaan ja vaihtovirralla olevissa valokaarissa ei puhallusta juuri esiinny.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tandem-hitsaus soveltuu monille eri materiaaleille. Lyhyttä valokaarien välistä etäisyyttä käytetään alumiinin hitsauksessa ja pidempää välimatkaa niukkaseosteisille ja ruostumattomille teräksille.

Elektroniikka komponenttien kehittyminen näkyy vahvasti virtalähteiden suorituskyvyn parantumisena. Seuraava askel tandem-hitsauksessa lienee polttinrakenteen parantaminen. Täysin säädettävissä olevat virtasuutinten asennot ja etäisyydet yhdistettynä pienempi kokoiseen polttimeen ovat tandem-hitsauksen tulevaisuutta. Tällä hetkellä juuri polttimen suuri koko rajoittaa prosessin käyttömahdollisuuksia.

Eri valokaarikombinaatioiden käyttöä, virtasuuttimien asentoja ja elektrodien välistä etäisyyttä tandem-hitsauksessa on tutkittu laajalti. Seuraavana tutkimuksen kohteena voisi olla eri paksuisten lankojen käyttö hitsauksessa. Lisäksi erilaisten täytelankojen hyödyntäminen tandem-hitsauksessa vaatii lisätutkimusta.

LÄHTEET

Abicor Binzel. [Binzeli:n www-tuotedokumentti] Viimeksi päivitetty 2008. [viitattu 30.3.2012] Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.binzel.de/uploads/Content/Germany/PDF-Files/PDF_Files_ROBO/English/wh-tandem-w800_pro_r137_gb_web.pdf

Andersson, J., Tolf, E., Hedegård, J., 2006. The fundamental stability mechanisms in tandem-MIG/MAG welding, and how to perform implementation. IIW Doc. No. XII-1895-06

Alanen, J., 2003, CAN-ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä. VTT Tuotteet ja tuotanto. 17 s.

DINSE Inc. [DINSE:n www-tuotedokumentti] Viimeksi päivitetty 2011. [viitattu 10.4.2012] Saatavissa PDF-tiedostona:< http://www.dinse-us.com/media/1/1/1752/pi_dinse_tandem_usa.pdf

Esab. [Esab:n www-tuotedokumentti] Viimeksi päivitetty 2011. [viitattu 4.4.2012] Saatavissa PDF-tiedostona:< http://www.esab.fi/fi/fi/news/upload/svetsaren-1_2010.pdf

Esab.[Esab:n www-tuotemanuaali] Viimeksi päivitetty 2006. [viitattu 10.4.2012] Saatavissa PDF-tiedostona:< http://www.welding.org.uk/esabmanuals/Instruction%20Manuals/AristoMig%20400_060228.pdf

Esab. [Esab:n www-verkkolehti] Viimeksi päivitetty 2007. [viitattu 14.4.2012] Saatavissa PDF-tiedostona:< http://www.esab.com/global/en/news/upload/Svetsaren_1_2007.pdf

Goecke, S.,Hedegård, J.,Lundin, M.,Kaufmann, H., 2001. Tandem MIG/MAG Welding. Svetsaren 2-3/2001, ESAB AB. 76 s.

Hedegård, J.,Tolf, E., Andersson, J., 2005. Improved quality, productivity and versatility for Tandem-MAG process. Svetsaren 2/2005, ESAB. 56 s.

Lincoln Electric. [Lincoln Electric:n www- opetusmateriaali] Viimeksi päivitetty 2011. [viitattu 18.6.2012] Saatavissa PDF-tiedostona:< <http://www.lincolnelectric.com/en-us/education-center/Documents/GMAWFacilitatorGuide.pdf>

Lukkari, J., 1997, Hitsaustekniikan perusteet ja kaarihitsaus, Helsinki, Edita. 292 + Liitteet

Lukkari, J., 2009, MIG/MAG-hitsaus ”Säätämisen sietämätön helppous”, Hitsausuutiset 1/2009. ESAB. 32 s.

Lukkari, J., Pekkari, B., 2004, Katsaus hitsauksen nykypäivään ja tulevaisuuteen. Hitsausuutiset 2/2004. ESAB. 44 s.

Meuronen, I., 1998, Tandem-MIG/MAG-hitsaus, Hitsaustekniikka 6/98

Meuro-Tech. [Meurotech:n [www-tuotedokumentti](http://www.tuotedokumentti.fi)] Viimeksi päivitetty 2008. [viitattu 16.3.2012] Saatavissa PDF-tiedostona:< <http://www.meuro-tech.fi/pdf/MIG-MAG-TANDEM-hitsaus%20lyhyesti.pdf>

Mig Welding Handbook.[Esabin:n [www-verkkolehti](http://www.verkkolehti.fi)][viitattu 20.3.2012]. Saatavissa :< http://www.esabna.com/EUWeb/MIG_handbook/592mig1_4.htm

Morehead, T., 2003, Automatic Multiwire GMAW Multiplies Productivity. Welding Journal 6/2003. American welding society.

Mori, H., Tsuyoshi, A., 2004. Flexible Tandem Welding System [[www-verkkodokumentti](http://www.verkkodokumentti.fi)]. Komatsu technical report Vol.50 No. 154, [viitattu 30.3.2012] Saatavissa PDF-tiedostona:< http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/report/pdf/154-05_E.pdf

Nadzam, J., Armao, F., Byall, L., Kotecki, D., Miller, D., 2006, Gas Metal Arc Welding Guidelines, Lincoln Electric.

Nadzam, J., 2002, Tandem GMAW: The Flexibility of Pulsed Spray Transfer. Welding Innovation 2/2002

Pengfei, H., Wei, Z., Lijun, S., ZhenYang, L., 2011, A High Efficiency TANDEM Pulsed MAG Welding Machine.

SFS-EN ISO 9692-1. Hitsaus ja sen lähiprosessit. Railomuotosuositukset. Osa 1: Teräksenpuikko-, metallikaasukaari-, kaasuhitsaus, TIG- ja sädehitsaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 2004. 1. Painos. 39 s.

SFS-EN ISO 6947. Hitsit. Hitsausasennot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 2011. 2. Painos. 42 s.

Tandem wire MIG welding. [Wolfrobotics:n [www-verkkodokumentti](http://www.verkkodokumentti.fi)] Viimeksi päivitetty 2005. [viitattu 20.3.2012] Saatavissa PDF-tiedostona: <<http://www.wolfrobotics.com/products/images/TwinWireMIGbro.pdf>

Tbi industries. [Tbi industries:n www-tuotedokumentti] Viimeksi päivitetty 2011. [Viitattu 30.3.2012] Saatavissa PDF-tiedostona:< http://www.tbi-industries.com/english/Produkte/TBi_TD20F_22F_e.pdf

The procedure handbook of arc welding, 1973, The Lincoln Electric Company, Cleveland, Ohio

Unosson,P., Petersson, H., 2003, Tandem MIG/MAG-welding with ESAB, Svetsaren 2/2003. ESAB, 44 s.

Yudodibroto, B.Y.B., Hermans, M.J.M., Richardson, I.M., 2006. IIW Doc. No. XII-1910-06, The Influence of Pulse Synchronisation on the Process Stability during Tandem Wire Arc Welding

Weman, K., 2003, Power sources for arc welding. Svetsaren 2/2003. ESAB. 44 s.