

LUT-Yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone
Kandidaatintyö

JAKSOTTAISEN MAG-HITSAUSPROSESSIN SOVELTUVUUS
PÄITTÄISLIITOKSEN TÄYTTÖPALKOJEN HITSAAMISEEN.

APPLICABILITY OF SEQUENTIAL MIG/MAG-WELDING PROCESS FOR
WELDING SURFACE RUNS ON BUTT JOINTS

Loimaalla 19.5.2020

Topi Niemi

Tarkastaja TkT Harri Eskelinen

Ohjaaja TkT Harri Eskelinen

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Topi Niemi

Jaksottaisen MAG-hitsausprosessin soveltuvuus päittäisliitoksen täyttöpalkojen hitsaamiseen.

Kandidaatintyö

2020

37 sivua, 14 kuvaa, 9 taulukkoa

Tarkastaja: TkT Harri Eskelinen

Ohjaaja: TkT Harri Eskelinen

Hakusanat: hitsaus, MIG/MAG-hitsaus, jaksottainen hitsausprosessi

Tässä kandidaatintyössä selvitetään jaksottaisen MAG-hitsausprosessin soveltuvuutta päittäisliitoksen täyttöpalkojen hitsaamiseen. Työssä käsitellään yleisesti MIG/MAG-hitsausta, sen prosessitunnuksen alle sijoittuvia variaatioita sekä erilaisia jaksottaisia MIG/MAG-prosesseja.

Erilaisia jaksottaisia MIG/MAG-prosesseja tutkitaan ja vertaillaan kaupallisen materiaalin pohjalta, ja niistä on koostettu vertailumatriisi. Jaksottaisen MIG/MAG-hitsausprosessin soveltuvuutta päittäisliitoksen täyttöpalkojen hitsaamiseen on tutkittu hitsauskokeiden avulla.

ABSTRACT

LUT-University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Topi Niemi

Applicability of sequential MIG/MAG-welding process for welding surface runs on butt joints

Bachelor's thesis

2020

37 pages, 14 figures, 9 tables

Examiner: D. Sc. (Tech.) Harri Eskelinen

Supervisor: D. Sc. (Tech.) Harri Eskelinen

Keywords: welding, MIG/MAG-welding, sequential welding process

This bachelor's thesis focuses on the applicability of sequential MIG/MAG-welding process for surface runs on butt joints. The thesis explains MIG/MAG-welding in general, its' variations under the process group and different sequential welding processes.

The different sequential welding processes are examined and compared based on commercial material, and a comparison matrix has been prepared from the material. The applicability of sequential welding process for welding surface runs on butt joints has been examined by welding tests.

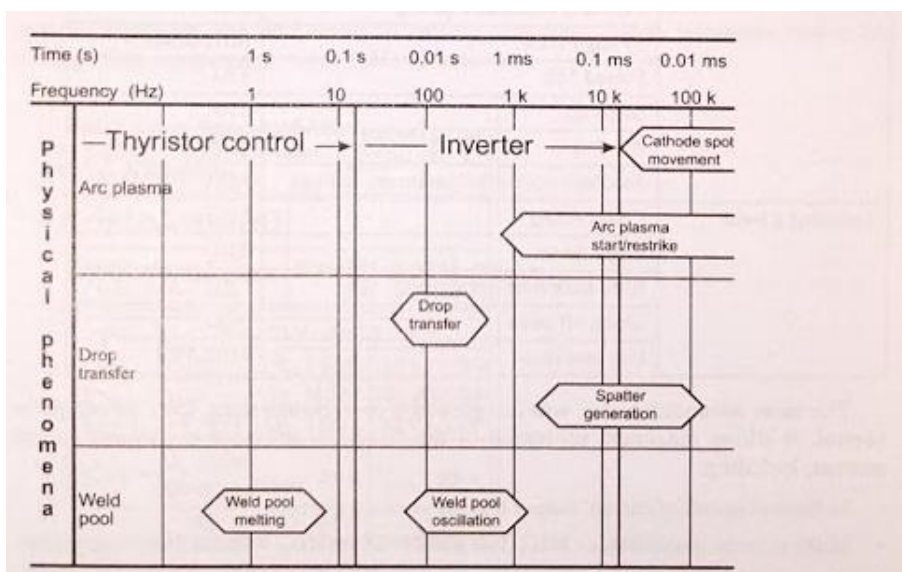
SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT.....	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO.....	6
1.1 Työn tavoitteet, rajaukset ja tutkimusongelma	7
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	7
2.1 MIG/MAG-hitsausprosessin määritelmä ja mekanismit	7
2.1.1 Määritelmä	8
2.1.2 Mekanismit	8
2.2 MIG/MAG-hitsauslaitteen sähköiset ominaisuudet.....	10
2.3 MIG/MAG-hitsauksen aineensiirtymisen muodot sekä mukautetut valokaarityypit	11
2.4 Kaupallisten jaksottaisten MIG/MAG-hitsausprosessien vertailu.....	12
2.4.1 ESAB SuperPulse	13
2.4.2 CEA vision.PULSE-UP	14
2.4.3 Migatronic SequenceRepeat	15
2.4.4 EWM SuperPuls	16
2.4.5 EWM PositionWeld	16
2.4.6 Lorch SpeedUp	17
2.4.7 Kemppi DProcess	18
2.4.8 Fronius PMC Mix	18
2.4.9 Merkle ProSwitch	19
2.4.10 Merkle HighUp	19
2.4.11 Jaksottaisten hitsausprosessien vertailutaulukko	20
3 KOEJÄRJESTELYT	21
3.1 Käytetty hitsauslaitteisto	21
3.2 Suojakaasu, perus- ja lisäaine.	22
3.3 Hitsausmenetelmä ja käytetyt parametrit.....	22
4 TULOKSET	24

5	JOHTOPÄÄTÖKSET	32
5.1	Hitsausnopeus	32
5.2	Virheet	33
5.3	Lämmöntuonti.....	33
6	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET	35
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

MIG/MAG-hitsaus on lisäaineen tuottoa vertaillen suosituin hitsausprosessi Länsi-Euroopassa, Yhdysvalloissa sekä Japanissa. (Esab, 2006, Viitattu Stenbacka, 2011, p. 11) MIG/MAG-hitsauksen suosiota puoltaa sen laaja käyttöalue, hyvä tuottavuus sekä soveltuvuus mekanisointiin sekä automatisoituun käyttöön. Hitsaavassa teollisuudessa liikkuu valtavat rahamäärät ja kilpailu on kovaa. Hitsauslaitteiden valmistajat vastaavat kilpailuun tarjoamalla yhä täsmällisemmin räätälöityjä ratkaisuja sovelluskohteisiin. MIG/MAG-hitsauslaitteistojen valmistajilla yksi korostunut kilpailun muoto on ohjelmistotuotteiden myynti. Nykyaikaisilla, vaihtosuuntaukseen perustuvilla hitsausvirtalähteillä voidaan hallita hitsausjännitteen- ja virran aaltomuotoa jopa 1×10^{-5} s tarkkuudella. Kaarihitsauksessa tapahtuvien sähköisten ilmiöiden aikaikkuna voi olla jopa 1×10^{-5} s, kuten Kuva 1 esitettynä. Sähköisiä parametrejä pyritään myös mittaamaan reaaliaikaisesti entistä tarkemmin. Tällöin nykylaitteiden nopeaa vasteaikaa sekä suurempaa laskentatehoa voidaan käyttää hyväksi siten, että hitsausvirtalähde reagoi tiettyihin reunaehtoihin sopiviin sähkövirran muutoksiin ennalta ohjelmoiduin keinoin. Monet hitsauksen ohjelmistotuotteet perustuvat tämänkaltaiseen adaptiivisuuteen. Eräs uusi ohjelmistotuote on hitsausohjelma, jossa jaksotetaan kahta tai useampaa hitsausohjelmatyppiä.



Kuva 1. Virtalähteen vasteaika on olennaisessa osassa valokaaren hallinnassa. (Weman, 2012, p. 57)

1.1 Työn tavoitteet, rajaukset ja tutkimusongelma

Tavoitteena on kirjallisuuskatsauksena aluksi kartoittaa markkinoilla olevat jaksottaiset MIG/MAG-hitsausprosessit ja niille erityisesti osoitetut sovellutuskohteet. Lähteinä käytetään sekä tieteellisiä että kaupallisia lähteitä kattavan kokonaiskuvan saamiseksi. Kokeellisessa osuudessa tutkitaan kohdeyrityksen kehittämän jaksottaisen MIG/MAG-hitsausprosessin soveltuvuutta päittäisliitoksen juuripalkojen hitsaamiseen. Hitsauskokeissa verrataan käsin hitsatuissa koepaloissa Dprocess- sekä 1-MIG-prosessien eroja hitsausnopeuden, asentohitsattavuuden sekä hitsausvirheiden esiintymisen osalta.

Tutkittavana olevasta jaksottaisesta MAG-hitsausprosessista käytetään useita eri nimityksiä ja myös määritelmät eroavat ainakin osittain toisistaan. Sovellettaessa jaksottaista MAG-hitsausprosessia päittäisliitosten täyttöpalkojen hitsaamiseen, esimerkiksi hitsausasento, hitsausnopeus sekä ja jaksonaikojen suhde vaikuttaa lopputulokseen. Keskeistä teollisessa tuotannossa on lisäksi hitsaukseen ja sen esivalmistukseen kuluva aika ja kustannustehokkuus. Luonnollisesti syntyvän hitsin laatu on otettava huomioon. Näiden tekijöiden yhdistämisestä syntyy tämän tutkimuksen tutkimusongelma. Tämä tutkimus vastaa seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitkä ovat kaupalliset jaksottaisen MIG/MAG-hitsausprosessin määritelmät ja erot.
2. Saavutetaanko jaksottaisella MAG-hitsausprosessilla päittäisliitosten täyttöpalkojen hitsaamisessa perinteistä 1-MIG-hitsausprosessia parempi lopputulos.

Tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi ja tutkimusongelman ratkaisemiseksi kaupallista materiaalia haetaan globaalisti, myös kohdeyrityksen ulkopuolelta. Varsinaisia hitsauskokeita tehdään kohdeyrityksen tuella kolme koesarjaa.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 MIG/MAG-hitsausprosessin määritelmä ja mekanismit





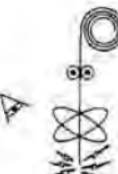

2.1.1 Määritelmä

MIG/MAG-hitsausprosessi on puoliautomaattinen sulahitsausprosessi. MIG/MAG-hitsauksen SFS-EN ISO 4063-mukainen prosessitunnus on 13 ja sen synonyyminen termi on metallikaasukaarihitsaus.

2.1.2 Mekanismit

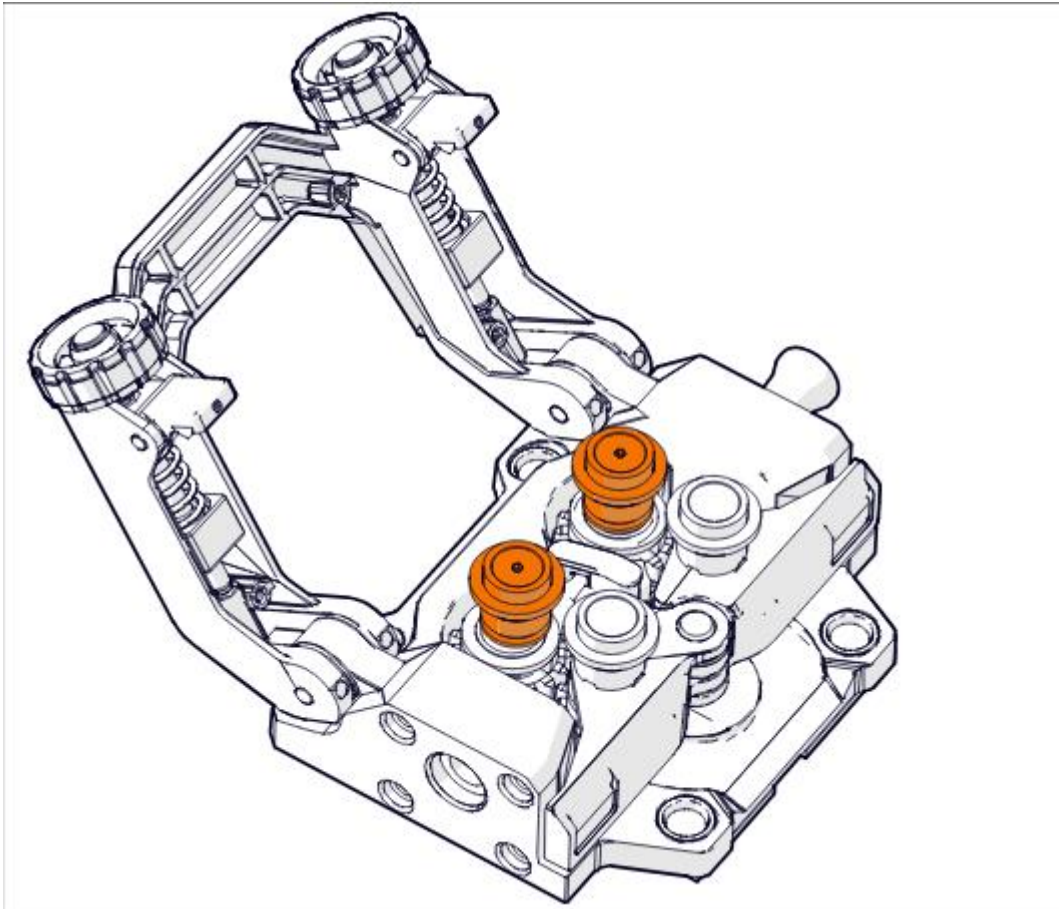
MIG/MAG-hitsauksessa aineiden yhteenliittyminen saavutetaan valokaaren lämmön avulla. Valokaari on ionisoituneen kaasun, eli plasman muodostama sähkövirran purkauma, joka johtaa hitsausvirtaa perusaineen ja elektrodin välissä sekä sulattaa aineet yhteen. Valokaari muodostuu, kun avoimen hitsausvirtapiirin muodostama sähköinen kenttä vaikuttaa virtapiirin napojen välissä olevan kaasuun irrottaen niistä elektroneja. Kaasusta irtoavat vapaat elektronit mahdollistavat hitsausvirran johtumisen virtapiirin läpi, ja niiden törmäysenergia vapauttaa sulamisen aikaansaavan lämmön. Hitsausvalokaaren jännite eli jännitealenema elektrodin kärjen sekä perusaineen välissä sekä virran määrä määrittävät valokaaressa lämmöksi muuttuvan sähköisen tehon, sekä aineensiirtymisen muodon.

MIG/MAG-hitsaus on puoliautomaattinen hitsausprosessi, joka tarkoittaa sitä, että hitsauslaite syöttää lisäainelankaa automaattisesti hitsisulaan, sekä ylläpitää valokaarta.

	Manual	Semi-automatic	Mechanized	Automatic	Robotic	Adaptive control
Activities						
Arc start and maintenance	Human	Machine	Machine	Machine	Machine	Machine (with sensor)
Wire feeding	Human	Machine	Machine	Machine	Machine	Machine (with sensor)
Heat control to obtain penetration	Human	Human	Machine	Machine	Machine	Machine (with sensor)
Arc motion along the joint	Human	Human	Machine	Machine	Machine (robot)	Machine (with sensor)
Guide the arc along the joint	Human	Human	Human	Machine (with pre programmed track)	Machine (robot)	Machine (with sensor)
Torch manipulation to direct the arc	Human	Human	Human	Machine	Machine (robot)	Machine (with sensor)
Arc corrections to compensate errors	Human	Human	Human	Do not occurs	Do not occurs	Machine (with sensor)

Kuva 2. Hitsauksen automatisoinnin asteet (American Welding Society, 2001, p. 452)

Hitsauslisäaineen, MIG/MAG-hitsauksen tapauksessa lisäainelangan, syöttäminen tapahtuu syöttöpyörästä avulla. Syöttöpyörästä koostuu yhdestä tai useammasta pyöräparista, joihin kuuluu moottoroitu vetävä syöttöpyörä sekä puristava syöttöpyörä. Pyöriessään syöttöpyörät syöttävät lisäainelankaa jatkuvasti hitsisulaan.



Kuva 3. Kemppi X8 Wire Feeder-langansyöttölaitteiston syöttöpyörästä. (Kemppi, ei pvm)

2.2 MIG/MAG-hitsauslaitteen sähköiset ominaisuudet

Ensimmäiset MIG/MAG-virtalähteet olivat muuntajia, joiden perässä oli diodisiltaan perustuva tasasuuntaaja sekä mahdollisesti induktorikäämi. Jännitettä voitiin säätää kytkemällä virtapiiri muuntajan ensiö- ja toisiokäämien eri kierroksille asennettuihin kytkimiin. Virtaa säädettiin langansyöttökoneiston nopeutta ohjaavalla potentiometrillä. Induktorikäämissä saattoi olla eri kierrosten välille tehdyt kytkennät, tai sitä voitiin säätää muuttamalla sen pituutta kokoon puristamalla tai venyttämällä.

Tyypillisesti hitsauslaitteiden virtalähteistä käytetään termejä (tasa)jännite- tai (tasa)virtalähde. MIG/MAG- sekä jauhekaarihitsaukselle hyvät ominaisuudet saavutetaan jännitelähteellä. TIG- sekä puikkohitsausprosesseille hyvät valokaaren ominaisuudet saavutetaan virtalähteellä. Jännitelähde pyrkii tuottamaan napojensa väliin tasaisen

jännitteen virran muuttuessa sähköisen kuorman mukana. MIG/MAG-hitsauksessa sähköiseen kuormaan eli resistanssiin vaikuttavat monet tekijät kuten perus- ja lisäaineen ominaisresistanssi sekä läpimitta, suojakaasun ionisaatiopotentiaali, vapaalangan mitta eli virtasuuttimen sekä valokaaren välinen etäisyys. Suurin osa näistä tekijöistä kuitenkin pysyy vakiona hitsauksen aikana, ja mekaaninen langansyöttö pitää lisäaineen syötön tasaisena. Tämän seurauksena hitsauksen teho pysyy tasaisena läpi hitsauksen.

Kuvattaessa jännitelähteen virranpurkua puhtaan sähköisen kuorman funktiona, nähdään syntyvästä ominaiskäyrästä, että napojen välinen jännite laskee vain vähän. Tämä jännitelähteen ominaisuus on edullinen MIG/MAG-hitsaukseen siksi, että jännite on suoraan verrannollinen valokaaren mittaan. TIG- ja puikkohitsausprosesseissa käytetyssä virtalähteessä ominaiskäyrä on jyrkästi laskeva. Näissä hitsausprosesseissa valokaaren mitta on käsin hallittavissa, ja siksi on hitsauksen aikana muuttuja. Laskeva ominaiskäyrä kompensoi pidentyvän valokaaren aiheuttamaa muutosta valokaaren sulatustehoon sillä virran määrä laskee kaaren pidentyessä ja näin jännitteen kasvaessa.

2.3 MIG/MAG-hitsauksen aineensiirtymisen muodot sekä mukautetut valokaarityypit

MIG/MAG-hitsauksessa lisäaine siirtyy suurimaksi osaksi sähkömagneettisten voimien sekä pintajännityksen yhteisvaikutuksesta. Muita aineensiirtymään vaikuttavia voimia ovat maan vetovoima sekä valokaaren plasman virtausvastus. Lisäaine siirtyy valokaaren läpi eri tavoin riippuen suurimmaksi osaksi valokaaren pituudesta. MIG/MAG-hitsauksen aineensiirtyminen on jaoteltu tyypillisesti kolmesta seitsemään eri aineensiirtymisen muotoon, joita kutsutaan myös kaarityypeiksi. Kaarityyppi, eli aineensiirtymisen muoto on tärkeä muuttuja MIG/MAG-hitsauksessa sillä se vaikuttaa voimakkaasti hitsausprosessin käytettävyyteen eri sovelluskohteissa kuten erilaiset hitsausasennot ja railomuodot. Lisäksi jotkin valokaaren tyypit, kuten välikaari, ovat usein epätoivottuja ja herkkiä hitsausvirheiden syntymiselle.

Virtalähteen ominaiskäyrän voidaan katsoa näyttävän tapahtumia staattisesti pitkän aikajakson aikana. Tosiasiassa hitsausvirtapiirissä voi tapahtua oikosulkuja jopa 200Hz taajuudella. Valokaaren dynaaminen ominaiskäyrä kuvaa valokaareissa tapahtuvia sähköisiä muutoksia niiden syklisen aikajänteen tarkkuudella. Aikaisimmissa, diodisiltatasasuuntaajaan perustuvissa hitsauslaitteissa dynaamisiin ominaisuuksiin pyrittiin vaikuttamaan säätämällä induktanssia käämin pituutta muuntamalla. Tyristoriohjattua

tasasuuntaajaa voitiin jo säätää elektronisesti, joka mahdollisti monia lisäominaisuuksia, sekä portaattoman jännitteen säädön. Ennen transistoriohjattuja vaihtosuuntaajia säätö perustui kuitenkin proaktiiviseen toimintaan. Virtaa pystyttiin säätämään riittävän nopeasti mahdollistamaan pulssikaarihitsaus. Nopeus ei kuitenkaan riitä muuttamaan hitsausvirtaa tietyn mittaussignaalin perusteella saman virtasyklin aikana. Nykyaikaiset aaltomuoto-ohjatut hitsausprosessit perustuvat reaktiiviseen säätöön, jossa hitsausvirtaa säädetään perustuen virran reaaliaikaiseen mittaukseen sekä siinä esiintyviin ilmiöihin.

2.4 Kaupallisten jaksottaisten MIG/MAG-hitsausprosessien vertailu

Taulukossa *Taulukko 1* on vertailtu 11 eri jaksottaista MIG/MAG-prosessia, jotta voidaan havainnollistaa, mitkä ovat saatavilla olevien kaupallisten jaksottaisten MIG/MAG-hitsausprosessin määritelmät, laitetoimittajan kuvaamat edut ja mahdollisuudet sekä mahdolliset tunnistetut rajoitteet. Vertailtavat kaupalliset sovellukset ovat seuraavat:

- Kemppi DProcess
- Fronius PMC MIX
- PMC MIX Drive
- Lorch SpeedUp
- EWM PositionWeld
- EWM SuperPuls
- Migatronic SequenceRepeat
- Merkle HighUp
- Merkle ProSwitch
- CEA Vision.Pulse-UP
- ESAB SuperPulse

Taulukko 1. Jaksottaisten MIG/MAG-prosessien vertailu

Kaupallinen MIG/MAG-prosessi	Tunnistetut edut																Tunnistetut rajoitteet						
	Helpottaa asentohitsausta	Mahdollistaa hitsaamisen pienellä lämmöntuonnilla	Tuottaa tasaisen tunkeuman	Kasvattaa tuottavuutta	Roiskeettomuus	Mahdollistaa hitsajalle suuremman hitsausnopeuden hallinnan	TIG-hitsausprosessille ominainen hitsin ulkonäkö MIG/MAG-prosessilla	Parempi pinnanlaatu	Soveltuu hyvin mekanoimittin	Kasvattaa paksumpien lisäainelankojen toiminta-aluetta	Vähemmän herkkä ilmaraoon muutoksille	Vähemmän herkkä epätasaiselle lämmönsiirtymiselle	Ylös päin hitsaus suoralla polttimen liikkeellä	Kaarijuottomahdollisuus	Railomuodot, joissa on suuri ilmarako	Ruostumattoman teräksen hitsaus	Alumiinin hitsaus	Asetukset voi viedä ulkoiselle tallennusmedialle	Yksinkertaistaa hitsausprosessia	Rajoitteena vain yksi prosessikombinaatio	Rajoitteena vain kolme prosessikombinaatiota	Käytettävät prosessit jakavat parametrit	Rajoitteena jaksonajan suhde
Kemppi Dprocess	X											X											
Fronius PMC MIX		X		X				X											X				
PMC MIX Drive		X		X				X								X			X				
Lorch SpeedUp			X	X		X													X		X		
EWM PositionWeld		X	X	X	X			X															
EWM SuperPuls												X							X				
Migatronic SequenceRepeat	X		X											X				X	X				
Merkle Proswitch																							
Merkle HighUp	X	X	X					X											X				X
CEA Vision.Pulse-Up		X				X						X	X	X	X				X				
ESAB SuperPulse	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X							X			

2.4.1 ESAB SuperPulse

ESAB SuperPulse on ruotsalaisen ESABin kehittämä jaksottainen hitsausprosessi. SuperPulse on määritelty hitsausprosessina, joka yhdistää kaksi hitsausprosessia. SuperPulse voi yhdistää hitsausprosesseja seuraavalla tavalla

- Pulssikaari-pulssikaari
- Pulssikaari-lyhytkaari
- Kuumakaari-pulssikaari

ESABin kaupallinen materiaali ei erittele, mitkä parametrit SuperPulse-hitsausprosessissa ovat muutettavissa, mitkä ohjaavia ja mitkä kiinteitä. Prosessin eduiksi ESAB mainitsee seuraavat kohdat

- Helpottaa asentohitsausta
 - Mahdollistaa hitsaamisen pienellä lämmötuonnilla
 - Tuottaa tasaisen tunkeuman
 - Mahdollistaa hitsaajalle suuremman hitsausnopeuden hallinnan
 - TIG-hitsausprosessille ominainen hitsin ulkonäkö MIG/MAG-prosessilla
 - Soveltuu hyvin mekanisointiin
 - Kasvattaa paksumpien lisäainelankojen toimintaväliä
 - Vähemmän herkkä ilmaraon muutoksille
 - Vähemmän herkkä epätasaiselle lämmönsiirtymiselle
- (ESAB AB, 2006)

Kaupallisessa materiaalissa mainitaan prosessille erityissovellutuskohteiksi

- Ohutlevyjen hitsaus
- Alumiinin ylöspäin hitsaus pystyasennossa suoralla polttimen liikkeellä
- Ohutlevyjen kaarijuotto

SuperPulse-prosessia rajoittaa esimääritellyt hitsausprosessikombinaatiot. Muiden parametrien muokattavuudesta ei löytynyt enempää informaatiota kirjallisuuskatsauksella.

2.4.2 CEA vision.PULSE-UP

CEA vision.PULSE-UP on italialaisen CEA COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE ANNETTONI S.P.A:n kehittämä jaksottainen hitsausprosessi. Kaupallisessa materiaalissaan CEA määrittelee vision.PULSE-UP:in ”MIG pulssin sekä erityisen MIG-prosessin hienovirititetyksi sekä hyvin tasapainotetuksi yhdistelmäksi” (CEA COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE ANNETTONI S.P.A., 2019). Materiaali ei määrittele, mitkä parametrit prosessissa ovat hallittavia, mitkä ohjaavia ja mitkä kiinteitä.

Prosessin eduiksi CEA on luokitellut seuraavat kohdat

- Nopeampi hitsausnopeus ja loistava suorituskky pystyasennossa ylös hitsattaessa

- Suora polttimen johdatus 'jouluukuusi'-tekniikan sijaan
- Matala lämmöntuonti ohuilla materiaaleilla
- TIG-prosessia nopeampi juuripalkojen hitsaus
- Täydellinen lämmöntuonnin hallinta
- Helppokäyttöinen myös kokemattomimmille hitsareille

Prosessin erityissovellutuskohteiksi on mainittu seuraavat kohdat

- Kaikkien materiaalien pystyasennossa ylös hitsaaminen
- Keskikokoisten ja ohuiden ainevahvuuksien asentohitsaus
- Railomuodot, joissa on suuri ilmarako
- Kaarijuotto
- Ruostumattoman teräksen hitsaaminen
- Petrokemian teollisuus
- Elintarviketeollisuus

vision.PULSE-UP-prosessin rajoitteena on sen kiinteä kaarityyppikombinaatio. Muut rajoitteet eivät selviä kirjallisuuskatsauksesta.

2.4.3 Migatronic SequenceRepeat

SequenceRepeat on tanskalaisen Migatronic A/S:n kehittämä jaksottainen hitsausprosessi. Migatronicin kaupallinen materiaali määrittää SequenceRepeat:in prosessiksi, joka ”jaksottaa esimääritetyn hitsausvirran ja pulssituksen esimääritettyjen aikajaksojen ajaksi” (Migatronic A/S, 2019). SequenceRepeat-prosessi toistaa 2-9 esimääritellyn vapaasti ohjelmoitavan hitsausprosessin jaksoja automaattisesti.

Migatronicin kaupallinen materiaali määrittelee prosessin eduiksi seuraavat edut

- Luo toistuvasti tasaisen hitsin kuvun ja optimaalisen tunkeuman
- Vähentää vaivaa pysty- ja lakiasentohitseissä
- Yksinkertaistaa työprosessia
- Asetukset voi tallentaa SD-kortille ja viedä toisiin Migatronic hitsauslaitteisiin (Migatronic A/S, 2019).

Prosessin erityissovellutuskohteiksi on mainittu seuraavat kohdat:

- Pienahitsit pysty- ja lakiasennossa
- Päittäishitsit avoimella railolla
- Yli 3mm ainevahvuudet
- Kaikki materiaalit
- Manuaalinen ja automaattinen hitsaus

(Migatronic A/S, 2019).

2.4.4 EWM SuperPuls

EWM SuperPuls on saksalaisen EWM AG:n kehittämä jaksottainen hitsausprosessi. SuperPuls on määritetty kaupallisen materiaalin mukaan jaksoittain EWM:n coldArc ja coldArc pulse-hitsausprosessien välillä vaihtavana prosessina (EWM AG, 2019). EWM Titan XQ-hitsauslaitetta esittelevä kaupallinen materiaali esittelee SuperPuls-hitsausprosessin vapaasti säädettäväksi, mutta kaupallisista tai tieteellisistä lähteistä ei löydy tietoa prosessin säädettävistä tai ohjaavista parametreista.

EWM SuperPuls-hitsausprosessin eduksi mainitaan kaupallisissa materiaaleissa ”Henkilökohtaisesti sovitettu saumapinta” (EWM AG, 2018, p. 50) sekä ”Erinomainen ja helppo hitsaus pystysuuntaan hitsatessa kytkiessä SuperPuls:in päälle, ilman ’kuusipuu’-tekniikkaa” (EWM AG, 2019)

2.4.5 EWM PositionWeld

EWM PositionWeld on saksalaisen EWM AG:n kehittämä jaksottainen hitsausprosessi. EWM:n kaupallinen materiaali ei määrittele PositionWeld-prosessin toimintaperiaatetta, eikä hallittavia parametreja. EWM:n kaupallinen materiaali määrittelee prosessin erityissovellutusalueeksi hitsauksen ”hankalissa asennoissa ilman kuusipuutekniikkaa seostamattomille, niukka- ja runsasseosteisille” (EWM AG, 2018, p. 41)

Prosessin eduksi kaupallinen materiaali mainitsee seuraavat asiat:

- Parempi tuottavuus
- Luotettavampi tunkeuma, juuren ja reunan kiinnittyminen
- Vähemmän tai ei ollenkaan hitsausroiskeita

- Kontrolloitu lämmontuonti
- Siisti sauman pinta
- Helppo käsittely
- Joustavuus tuotannossa

Prosessin rajoitteisiin ja parametrien hallintaan ei löytynyt kirjallista tietoa tieteellisistä tai kaupallisista lähteistä.

2.4.6 Lorch SpeedUp

Lorch SpeedUp on saksalaisen Lorch Schweißtechnik GmbH:n kehittämä jaksottainen hitsausprosessi. Lorch SpeedUp-prosessi on määritelty Lorch Schweißtechnik GmbH:n mukaan kahden MIG/MAG-hitsausprosessin yhdistelmäksi. (Lorch Schweißtechnik GmbH:n, 2019) Lorchin kaupallinen materiaali kertoo prosessin käyttävän erityyppisiä valokaaria, riippuen hitsattavasta perusaineesta, mutta yhtiön edustaja korjasi väitteen. SpeedUp-prosessi yhdistää synergisen 1-MIG-prosessin pulssikaaren kanssa (Dercourt, 2019). SpeedUp-prosessia esittävästä kaupallisesta materiaalista ilmenee, että SpeedUp-prosessin hallittavia muuttujia ovat

- Pääasetus: keskimääräinen langansyöttönopeus
- Johdetut ohjaavat asetukset: Perusaineen vahvuus, virta, jännite
- Korjaavat asetukset: Kaaren pituus (jännite, langansyöttönopeus), prosessien jaksonaikojen suhde sekä jaksonaika.

Prosessin eduiksi kaupallinen materiaali määrittelee seuraavat

- Helppous verrattuna tavanomaiseen, kolmiomaiseen vaaputustekniikkaan
- Nopeus verrattuna tavanomaiseen, kolmiomaiseen vaaputustekniikkaan
- Tasainen lämmöntuonti
- Z-mitaltaan kapeampi ja pinnanlaadultaan tasaisempi hitsi. Z-mitalalla tarkoitetaan hitsin poikkileikkauksen sisään piirretyn tasakylkisen kolmion kateetin mitta

Rajoitteena SpeedUp-Prosessissa on yhdistettävien hitsausprosessien määrä sekä tyyppi. Lisäksi SpeedUp-prosessin parametrit ovat yhteiset/normalisoidut käytettävien prosessien välillä.

2.4.7 Kemppi DProcess

Kemppi Dprocess on suomalaisen Kemppi Oy:n kehittämä jaksottainen hitsausprosessi. Dprocess määritetään kahden itsenäisesti ohjatun MIG/MAG-prosessin jaksottaisena yhdistelmänä. Dprocessin avulla voi jaksottaa kahta seuraavista hitsausprosesseista: 1-MIG, Pulse, WiseRoot+ ja WiseThin+. WiseFusion-toimintoa voi käyttää, jos käytössä on 1-MIG tai Pulse tai niiden yhdistelmä. (Kemppi Oy, ei pvm). Dprocess-hitsausprosessissa molempien käytettävien hitsausprosessien langansyöttönopeutta, hitsausjännitteen hienosäätöä sekä dynamiikkaa voidaan säätää itsenäisesti. Lisäksi hitsausprosessien jaksotuksen taajuutta sekä jaksonaikojen suhdetta voidaan säätää.

Sovelluskohteeksi Dprocess-hitsausprosessille mainitaan teräksen asentohitsaus umpilangalla sekä pienahitsit PF ja PD asennoissa suoralla polttimen liikkeellä.

Rajoitteena Dprocess-hitsausprosessilla on WiseFusion-lisäominaisuuden käyttö vain tietyllä kombinaatiolla.

2.4.8 Fronius PMC Mix

Fronius PMC Mix on itävaltalaisen Fronius International GmbH:n kehittämä jaksottainen hitsausprosessi. PMC Mix määritellään kahden MIG/MAG-prosessin jaksottaiseksi yhdistelmäksi. Froniuksen kaupallinen materiaali määrittää PMC MIX-hitsausprosessin jaksottavan PMC (Pulse Multi Control) sekä LSC (Low Spatter Control) hitsausprosesseja. Kaupallisesta materiaalista selviää, että PMC-Mix hitsausprosessin vapaasti säädettäviä parametrejä ovat korjaukset valokaaren pituuteen, pulssitukseen sekä dynamiikkaan. Lisäksi muutettavissa ovat korjaukset prosessien jaksonaikoihin. (Fronius International GmbH, 2017)

Prosessin eduiksi mainitaan artikkelissa suurempi hitsausnopeus mitä valmistajan SynchroPulse tai TIG-hitsausprosesseilla voidaan saavuttaa. PMC Mix esitetään ideaaliksi ratkaisuksi automatisoituihin hitsaussovellutuksiin.

Fronius PMC Mix Drive poikkeaa PMC Mix-sovelluksesta yhdeltä osalta. PMC Mix Drive-prosessissa on PMC Mix-prosessiin lisätty lisäainelangan mekaaninen oskillointi LSC-prosessin vaiheessa. Artikkelin mukaan lisäainelangan takaisin vetäminen parantaa aineensiirtymistä oikosulkuvaiheessa. PMC Mix Drive-hitsausprosessia suositellaan alumiinin hitsaamiseen.

PMC Mix-prosessin rajoitteet ovat sen esiasetettu prosessikombinaatio sekä määrä. Lisäksi kaupallisista materiaaleista ei käynyt ilmi, onko valokaaren hienosäädöt itsenäisesti hallittavissa, vai yhtenäisiä.

2.4.9 Merkle ProSwitch

ProSwitch on saksalaisen Merkle Schweissanlagen-Technik GmbH:n kehittämä jaksottainen hitsausprosessi. Merkle Proswitch-prosessi määrittellään eri MIG/MAG-hitsausprosessien jaksottaisena yhdistelmänä. (MERKLE Schweißanlagen-Technik GmbH, ei pvm).

Merklen kaupallisessa materiaalissa, internet-sivujen uutissyötteessä, mainitaan ProSwitch-prosessilla olevan mahdollista yhdistää kaikkia hitsauslaitteen MIG/MAG-prosesseja: lyhytkaari, kuumakaari, pulssikaari, PulseArc, DeepArc sekä ColdMig. Jaksotettujen prosessien määrän, järjestyksen ja jaksonaikojen mainitaan olevan vapaasti määritettävissä.

Merklen kaupallisessa materiaalissa prosessin sovellutuskohteeksi kerrotaan esimerkiksi v-railon pohjapalon hitsaaminen ilman juuritukea jaksottaen PulseArc sekä ColdMig-prosesseja.

Merklen kaupallinen materiaali lupaa ProSwitch-prosessille seuraavat edut:

- Täydellinen hitsaustulos
- Helppo sovellutus

Arvolupaukset ovat itsenäisiä internet-sivun elementtejä ilman lisäselvityksiä.

2.4.10 Merkle HighUp

HighUp on saksalaisen Merkle Schweissanlagen-Technik GmbH:n kehittämä jaksottainen hitsausprosessi. Merkle HighUp-prosessi määrittellään kahden MIG/MAG-hitsausprosessin

jaksottaiseksi yhdistelmäksi, jonka jaksoissa toistuu korkean hitsausvirran pulssikaari (Merkle PulseArc, noin 75% jaksonaikasuhde) sekä synerginen 1-MIG (noin 25% jaksonaikasuhde). (Merkle Schweissanlagen-Technik GmbH, ei pvm)

Merklen kaupallisessa materiaalissa HighUp-hitsausprosessin sovellutuskohteiksi mainitaan PF hitsausasento eli pystysuuntaan hitsattu pienahitsi.

Merklen kaupallinen materiaali lupaa tuotteella saavutettavan seuraavat edut

- Lisääntynyt käytön helppous

HighUp-prosessin esitteessä todetaan, että korvaamalla tavanomaisen 1-MIG-prosessin PF-asennolle tyypillinen hitsauspolttimen kolmiomainen vaaputus HighUp-prosessilla ja suoralla polttimen liikkeellä saavutetaan 100% lisäys käytön helppouteen.

- Lisääntynyt nopeus

Esitteessä luvataan suoran polttimen liikkeen HighUp-prosessilla tuovan 100% lisäyksen hitsausnopeuteen PF-asennossa.

- Lisääntynyt tunkeuma

Esitteessä luvataan 100% turvallisempi tunkeuman saavuttaminen verrattuna kolmiomaiseen, vaaputtavaan hitsaustyyliin

- Parempi laatu

Esitteessä luvataan HighUp-prosessin poistavan erityisesti ongelmat vajaan hitsautumissyvyyden railon kyljissä sekä reunahaavan osalta.

Materiaalia tulkitsemalla voidaan olettaa, että HighUp-prosessi on vain PF-asennon hitsaamiseen tarkoitettu prosessi. HighUp-prosessissa on rajoitettu yhdistettävät prosessit sekä jaksonajan suhde. Varsinainen jaksonaika ei selviä myyntimateriaalista, joten se voi olla joko kiinteä tai hitsausvirran funktiona muuttuva.

2.4.11

Jaksottaisten hitsausprosessien vertailutaulukko

Taulukossa 1 on kuvattu kaupallisessa ja tieteellisessä materiaalissa havaittuja etuja, rajoitteita, eroja sekä yhtäläisyyksiä. Taulukossa esitetyt edut perustuvat suoraan lähdemateriaalissa esiintyviin tekstimuotoihin.

3 KOEJÄRJESTELYT

Täydentämään kaupallisista materiaaleista koottuja jaksottaisen MIG/MAG-hitsausprosessin vertailutietoa tässä tutkimuksessa suoritettiin kuusi hitsauskoetta kohdeyrityksen tavoitteen asetannasta lähtien. Hitsauskokeilla selvitettiin kohdeyrityksen kehittämän jaksottaisen Dprocess-MIG/MAG-hitsausprosessin mahdolliset edut ja eroavaisuudet verrattuna modifioimattomaan MIG/MAG-prosessiin. Lopputulosta vertaillaan makrohiekuvien sekä hitsauslaitteen tallentamien hitsausparametrien avulla.

3.1 Käytetty hitsauslaitteisto

Hitsauskokeet suoritettiin Kemppi X8 MIG-Welder-hitsauslaitteella. X8 on Kemppi Oy:n kehittämä ja valmistama moniprossihitsauslaite.



Kuva 4. Kemppi X8 Mig Welder-moniprossihitsauslaite (Kemppi, ei pvm)

3.2 Suojakaasu, perus- ja lisäaine.

Suojakaasuna käytettiin AirLiquide Arcal Force-suojakaasua, joka on EN ISO 14175-M21-ArC-18-standardin mukainen suojakaasu hitsaussovellutuksiin. (Air Liquide, 2016). Suojakaasun koostumus on kuvattu Taulukko 2.

Taulukko 2. Arcal Force-suojakaasun tuotetiedot (Air Liquide, 2016)

Components (% Vol.abs)	Impurities (ppm v/v)
CO₂ 18 % ±1.8 %	H ₂ O (5 bar) ≤ 40
Ar Balance	O ₂ ≤ 50
	N ₂ ≤ 200

Hitsauksen perusaine on 200mm pitkä ja 10mm paksu S355-rakenneteräslevy. Levy on leikattu polttoleikkaamalla 45° railokulmaan.

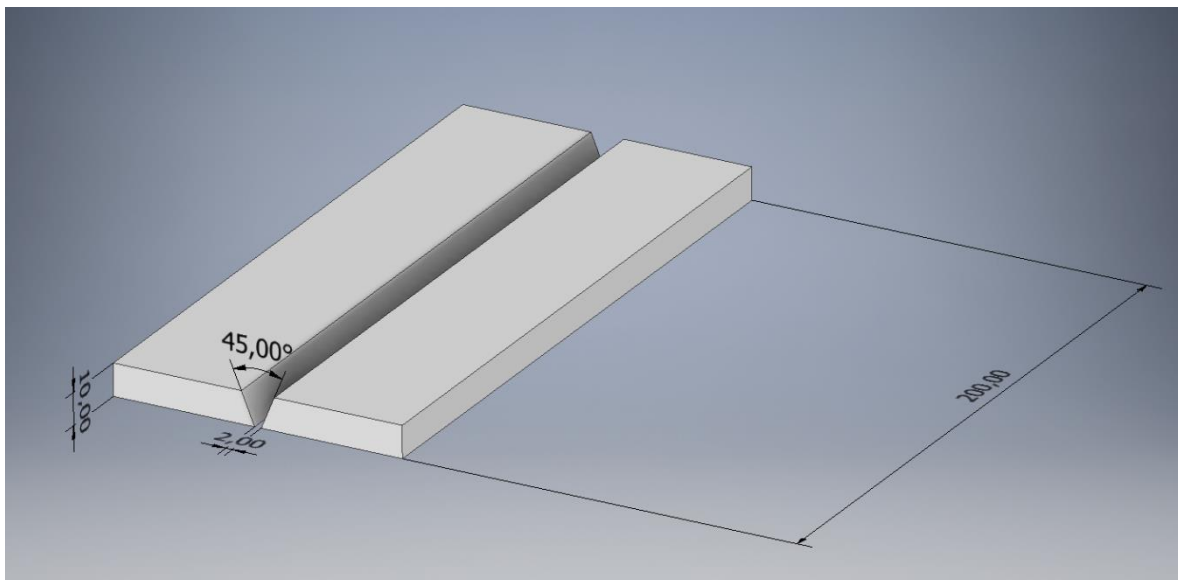
Hitsauslisäaineena käytettiin ESAB Ok Autrod 12.51-lisäainelankaa, joka on standardin EN ISO 14341-A mukainen hitsauslisäainelanka. OK Autrod 12.51 on kuparoitu, seostamaton yleislanka seostamattomien rakenneterästen ja hienoraeterästen MAG-hitsaukseen. (ESAB, ei pvm). Kokeessa käytetyn hitsauslangan halkaisija on 1,0mm

3.3 Hitsausmenetelmä ja käytetyt parametrit

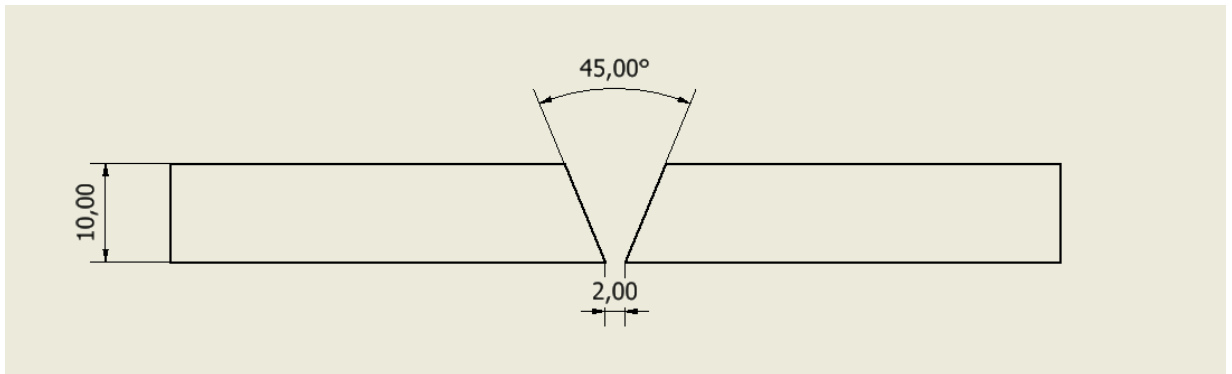
Hitsauskokeita suoritettiin kuusi kappaletta kahdessa sarjassa. Kokeet hitsattiin käsinhitsauksena kolmella palolla. Juuripalko hitsattiin kaikkiin kappaleisiin WiseRoot+ -hitsausprosessilla PG-asennossa, langasyöttönopeus 5m/min. 1-MIG-prosessin langansyöttönopeus oli 4,5m/min sekä täyttö- että pintapalkojen hitsaamisessa. Dprocess-parametriyryhminä käytettiin (#1)PMIG- sekä (#2)WiseRoot+ -ohjelmia seuraavin arvoin

Taulukko 3. Dprocess-asetukset

	Dprocess-jakson taajuus [Hz]	Parametriryhmän 1 suhteellisen ajan osuus [%]	Parametriryhmän 1 langasyöttönopeus [m/min]	Parametriryhmän 1 Hienosäätö [V]	Parametriryhmän 2 langasyöttönopeus [m/min]	Parametriryhmän 2 Hienosäätö [V]
Täyttöpalko	1	30	7,5	-1,0	3	0,0
Pintapalko	1	15	8,5	0,0	3	0,0



Kuva 5. Koekappaleen muoto ja mitat.



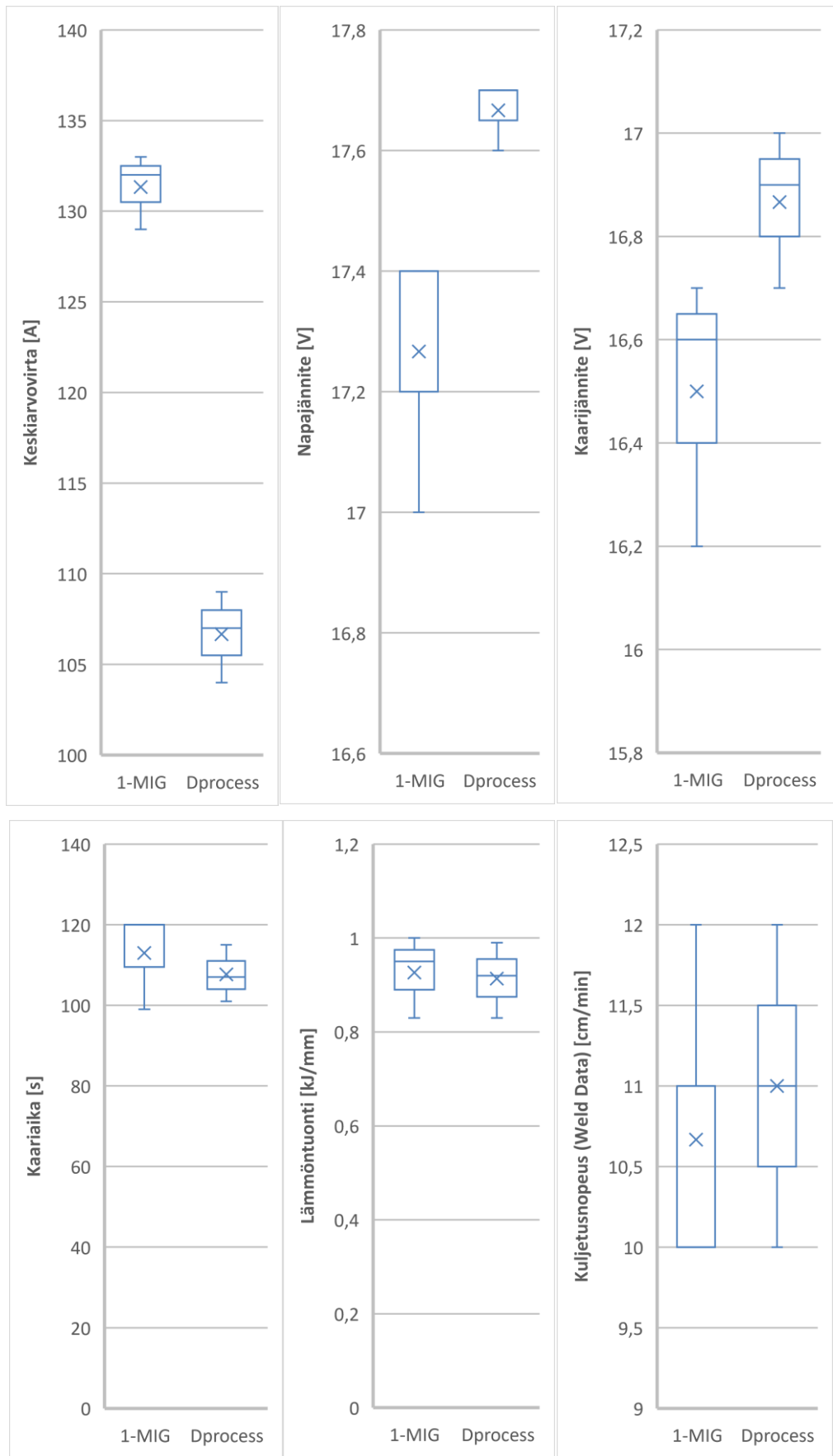
Kuva 6. Railomuoto

4 TULOKSET

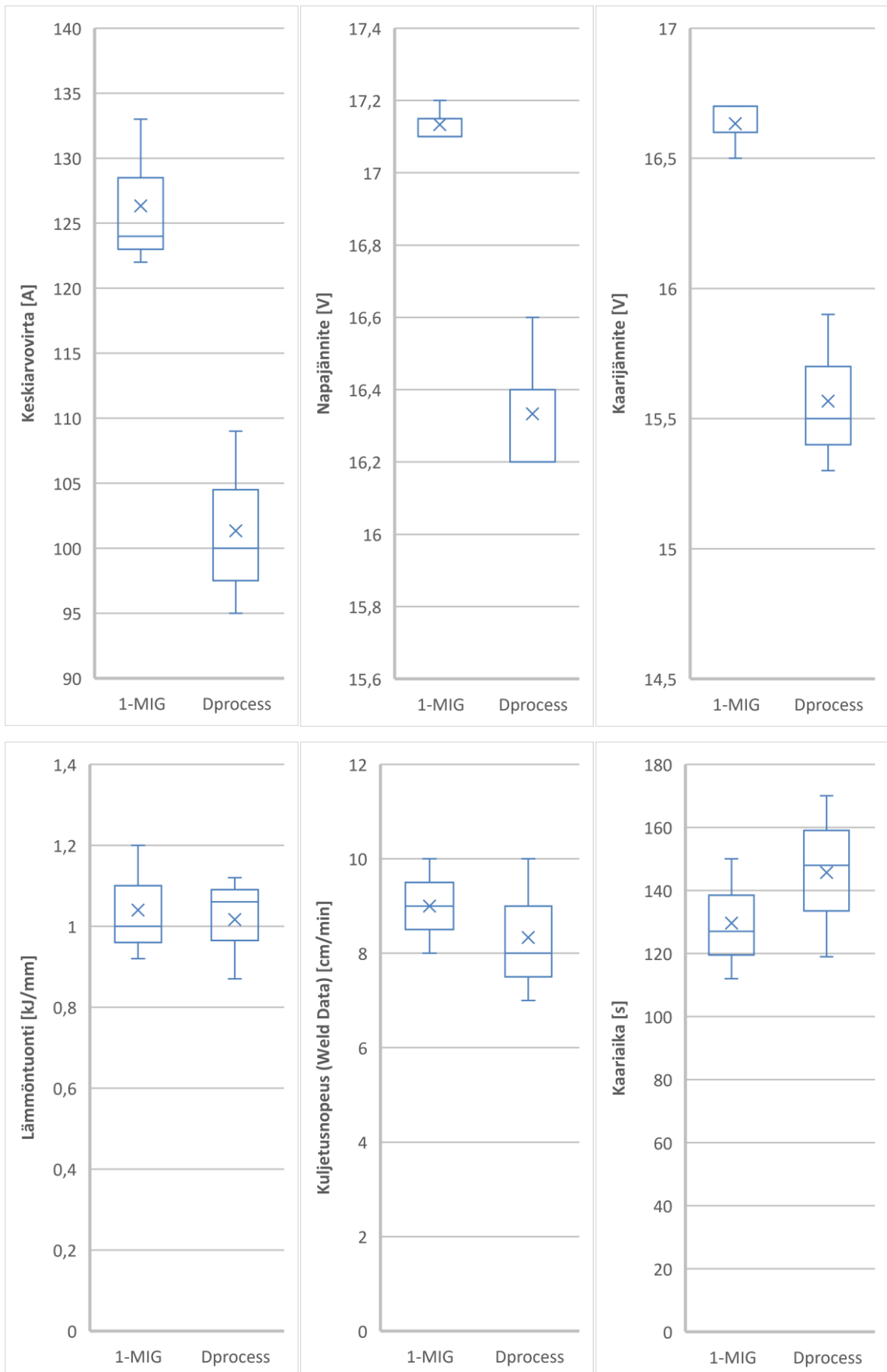
Suoritettujen hitsauskokeiden tulokset on esitetty taulukossa 5. Hitsausparametreina olivat keskiarvovirta. Napajännite, kaarijännite, kaariaika, lämmöntuonti sekä kuljetusnopeus ovat hitsauslaitteesta mitattuja arvoja.

Vaikka taulukkoon on merkitty hitsari tunnuksin A ja B, ei hitsarin henkilöllä ole merkittävää vaikutusta saatuihin tuloksiin.

Analysointia varten on kustakin mittausarjasta taulukkoon *Taulukko 6 - Taulukko 9* laskettu keskiarvot ja keskihajonnat. Tulosten havainnollistamiseksi mittaus tulokset on esitetty kuvissa **Kuva 7** ja **Kuva 8** ruutu- ja jänakaavioina. Kaavioista selviää vaihteluväli, tulokset kvartiileittain sekä mediaani- ja keskiarvot.

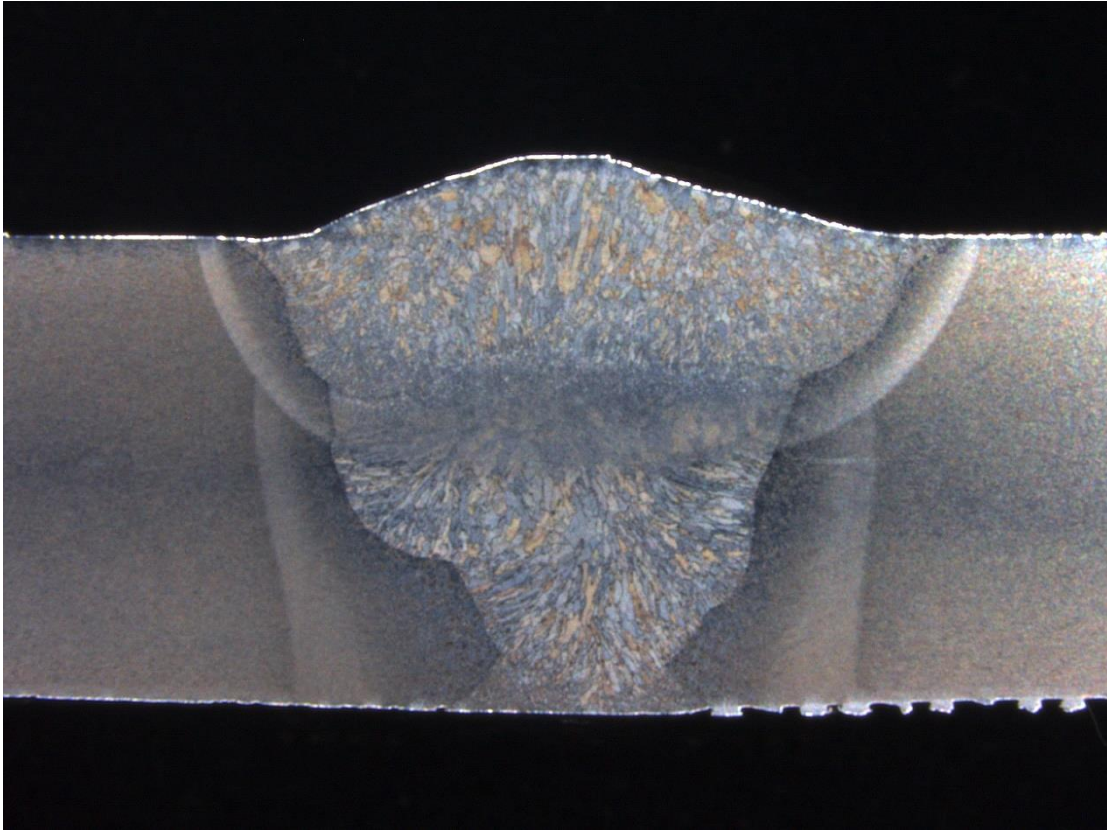


Kuva 7. Ruutu- ja janakaaviot täyttöpalkojen tuloksista

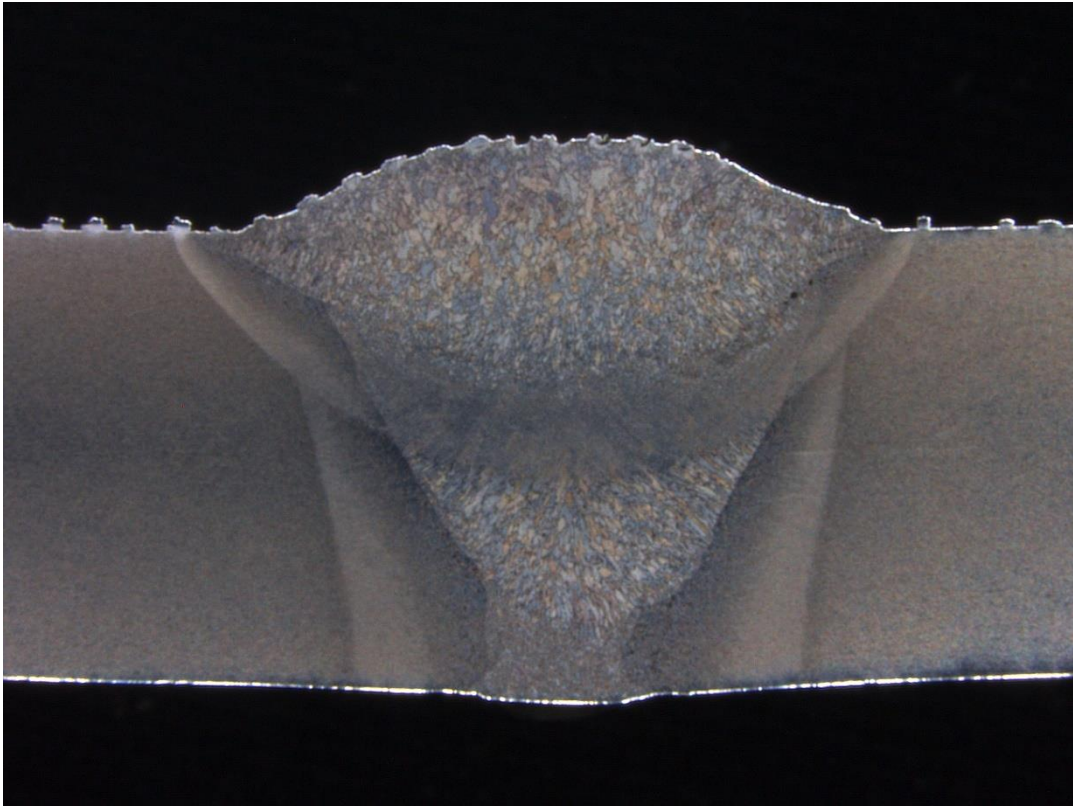


Kuva 8. Ruutu- ja janakaaviot pintapalkojen tuloksista

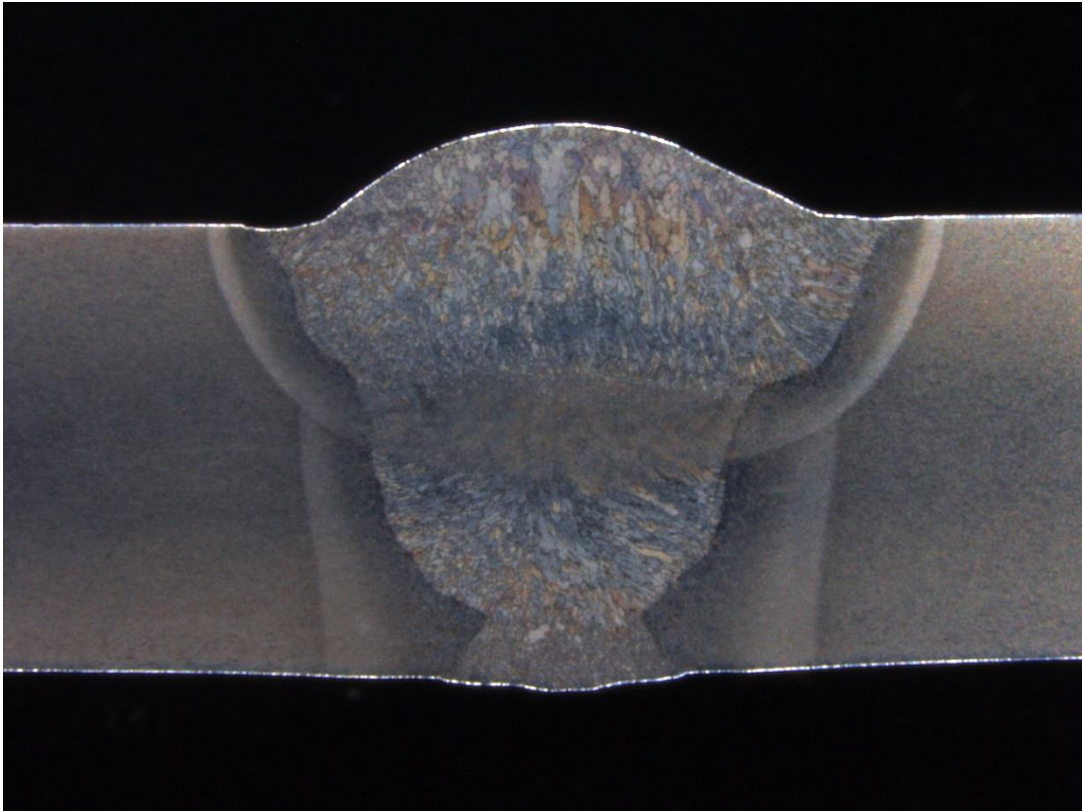
Kustakin koesarjasta otettiin mahdollisten hitsausvirheiden tunnistamiseksi makrohie kuvat.



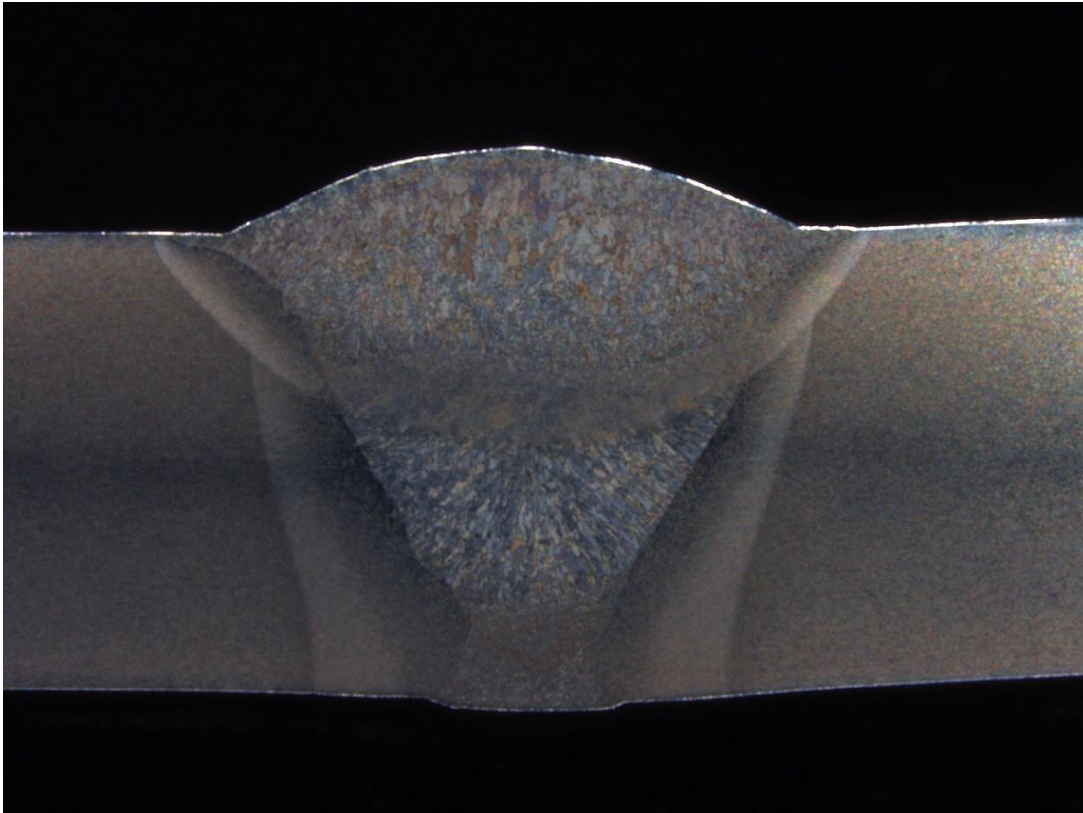
Kuva 9. Makrohiekuva ensimmäisestä koekappaleesta. Juuripalko hitsattu WiseRoot+ - prosessilla, täyttö- ja pintapalot 1-MIG-prosessilla.



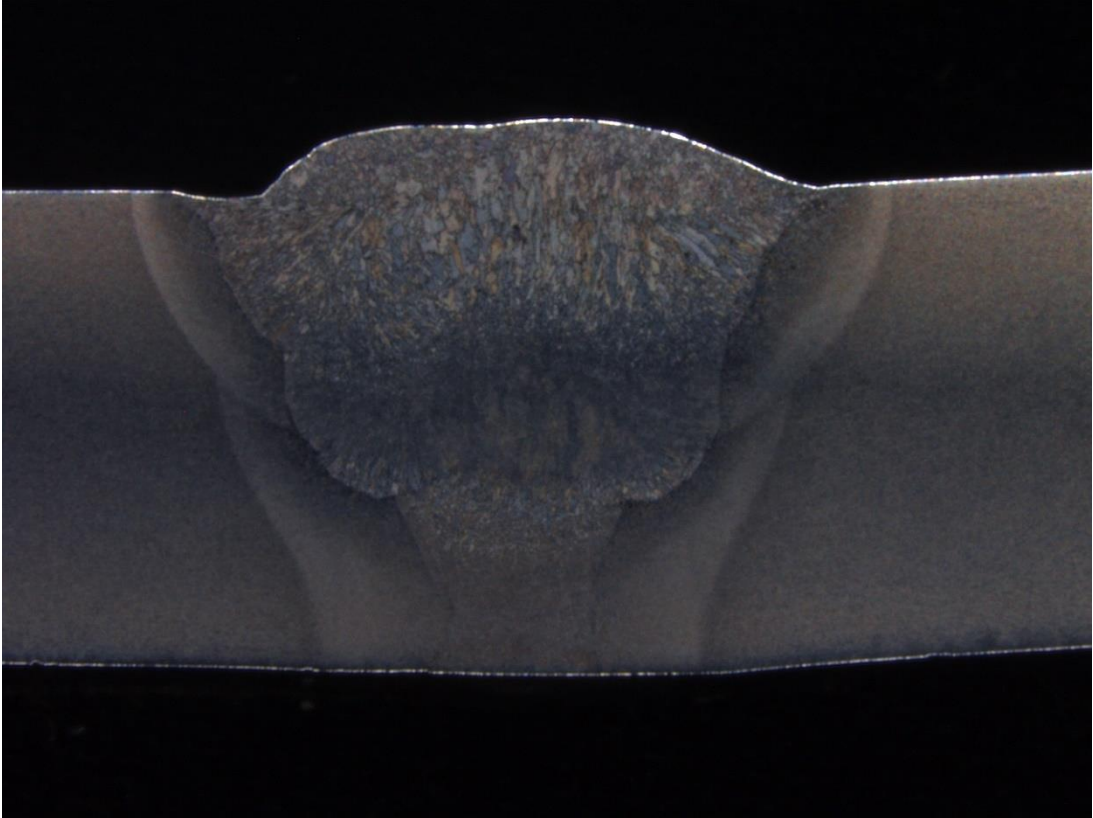
Kuva 10. Makrohiekuva toisesta koekappaleesta. Juuripalko hitsattu WiseRoot+ - prosessilla, täyttö- ja pintapalot Dprocessia käyttäen jaksottamalla 1-MIG sekä Pulse- prosesseja.



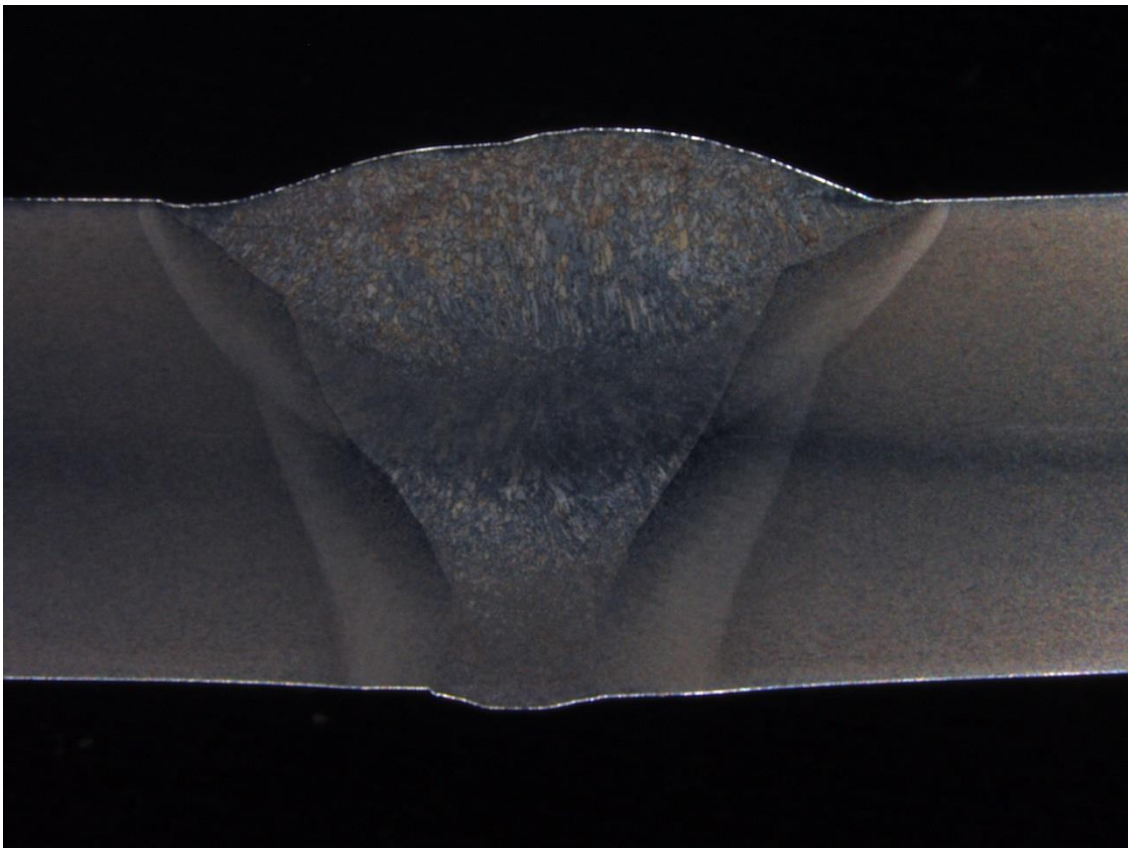
Kuva 11. Makrohiekuva kolmannesta koekappaleesta. Juuripalko hitsattu WiseRoot+ - prosessilla, täyttö- ja pintapalot 1-MIG-prosessilla.



Kuva 12. Makrohiekkuva neljänneestä koekappaleesta. Juuripalkko hitsattu WiseRoot+ -prosessilla, täyttö- ja pintapalot Dprocessia käyttäen jaksottamalla 1-MIG sekä Pulseprosesseja.



Kuva 13. Makrohiekkuva viidennestä koekappaleesta. Juuripalko hitsattu WiseRoot+ - prosessilla, täyttö- ja pintapalot 1-MIG-prosessilla.



Kuva 14. Makrohiekkuva kuudennesta koekappaleesta. Juuripalkko hitsattu WiseRoot+ - prosessilla, täyttö- ja pintapalot Dprocessia käyttäen jaksottamalla 1-MIG sekä Pulse- prosesseja.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tärkeimmät johtopäätökset käsittelevät hitsausnopeuteen liittyviä parametreja, hitsausvirheiden vertailutuloksia sekä hitsausprosessien aiheuttamien lämmöntonin lukuarvojen perusteella tehtyjä päätelmiä.

5.1 Hitsausnopeus

Hitsauskokeiden perusteella voidaan arvioida, että hitsausnopeus Dprocessia käytettäessä oli n. 4,72% suurempi täyttöpalkojen osalta ja 12,34% hitaampi pintapalkojen osalta. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, ettei voida yksikäsitteisesti sanoa, että Dprocess on nopeampi.

5.2 Virheet

Tässä tutkimuksessa hitsausvirheiden havainnointi perustuu makrohiekuvien tarkasteluun. Makrokuvista voidaan havaita, että koehitseissä ei ole havaittavissa reunahaavoja, eikä sulkeumia. Tunkeumassa on pieniä eroja, mutta ei sellaisia, jotka aiheuttavat tehdyn hitsin hylkäämiseen. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, ettei voida yksikäsitteisesti sanoa Dprocess olisi virheettömyyden näkökulmasta parempi.

5.3 Lämmöntuonti

Mittaustulosten avulla lasketuista lämmöntuonnin lukuarvoista havaitaan, että lämmöntuonnissa ei ole virherajat huomioon ottaen merkittävää eroa Dprocess- ja 1-MIG-prosessien välillä.

Virran, nopeuden ja jännitteen mitattujen arvojen variaatiokerroin oli keskimäärin 4,85 prosenttia, jota voidaan pitää hyvänä koesarjan koon rajallisuuden.

6 YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa markkinoilla olevat jaksottaiset MIG/MAG-hitsausprosessit ja niille erityisesti osoitetut sovellutuskohteet. Lähteinä käytettiin sekä tieteellisiä että kaupallisia lähteitä kattavan kokonaiskuvan saamiseksi. Kokeellisessa osuudessa tutkittiin kohdeyrityksen kehittämän jaksottaisen MIG/MAG-hitsausprosessin soveltuvuutta päittäisliitoksen juuripalkojen hitsaamiseen. Hitsauskokeissa verrattiin käsin hitsatuissa koepaloissa Dprocess- sekä 1-MIG-prosessien eroja hitsausnopeuden, asentohitsattavuuden sekä hitsausvirheiden esiintymisen osalta.

Asetettuihin tutkimuskysymyksiin saatiin seuraavat vastaukset:

Tutkimuksessa löydettiin useita jaksottaisen MIG/MAG-hitsausprosessin määritelmiä, mutta kokonaisuutena tarkasteltuna menetelmien erot painottuivat enemmän tapaan, jolla kaupallista sovellusta markkinoidaan.

Tämän tutkimuksen päätuloksena voidaan todeta, että tarkasteltaessa mittaustuloksia ja makrokuvia päätuloksena tutkimuskysymykseen; Saavutetaanko jaksottaisella MAG-hitsausprosessilla päittäisliitosten täyttöpalkojen hitsaamisessa perinteistä 1-MIG-hitsausprosessia parempi lopputulos? Havaitaan, ettei suoritettujen koesarjan puitteissa merkittäviä eroja ole olemassa.

Tutkimustulosten luotettavuuden ja eri prosessien välisten tarkempien erojen tunnistamiseksi, tarvittaisiin laajempi koesarja, joka mahdollisesti sisältäisi eri materiaali- ja liitostapavariaatioita. Objektiivisuutta lisäisi useiden eri valmistajien hitsausprosessien vertailukokeiden toteuttaminen.

LÄHTEET

Air Liquide, 2016. *Arcal Force*. [Online]

saatavissa: <http://aloffshore.com/wp-content/uploads/2016/02/ARCAL-FORCE.pdf>

[Viitattu 6 10 2019].

American Welding Society, 2001. *Welding Handbook*. Yhdeksäs painos toim. Miami: s.n.
CEA COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE ANNETTONI S.P.A., 2019.
vision.PULSE-UP ARC WELDING. [Online]

saatavissa:

<http://www.ceaweld.com/en/shop/products/arc-welding/mig-en/mig-pulse-inverter-multiprocess/vision-pulse-up-2/>

[Viitattu 7 10 2019].

Dercourt, P., 2019. *Welding Application Specialist* [Haastattelu] (13 3 2019).

ESAB AB, 2006. *SuperPulse™ - An Aristo™ technology feature*. [Online]

saatavissa: <http://assets.esab.com/asset-bank/assetfile/11066.pdf>

[Viitattu 7 10 2019].

ESAB, ei pvm *OK AUTROD 12.51*. [Online]

saatavissa: <https://www.esab.fi/fi/fi/products/filler-metals/mig-mag-wires-gmaw/mild-steel-wires/ok-autrod-12-51.cfm>

[Viitattu 6 10 2019].

EWM AG, 2018. *Welding 4.0 - MIG/MAG-moniprosessihitsauskone Titan XQ puls*. [Online]

saatavissa: https://www.ewm-group.com/downloads/287225/053-100020-00018_TITAN_XQ_BROSCHUERE_FL.PDF

[viitattu 07 10 2019].

EWM AG, 2019. *SCHWEISSVERFAHREN MIG/MA FÜR DAS BESTE STAHL- UND EDELSTAHL-SCHWEISSEN ALLER ZEITE*. [Online]

saatavissa: <https://www.ewm-group.com/de/innovation-forschung/schweissverfahren-mig->

mag.html

[Viitattu 7 10 2019].

Fronius International GmbH, 2017. *Some don't like it so hot..* [Online]

saatavissa: <https://www.linkedin.com/pulse/some-dont-like-so-hot-stephanie-welch/>

[Viitattu 7 10 2019].

Kemppi Oy, ei pvm *DProcessin käyttäminen*. [Online]

saatavissa:

https://userdoc.kemppi.com/fi/mig-mag/x8/welding-processes/topics/processmix_using.html

[Viitattu 26 11 2019].

Kemppi, ei pvm *Kemppi User Documents - Syöttöpyörien vaihto*. [Online]

saatavissa:

https://userdoc.kemppi.com/fi/mig-mag/x8/wire_feeder/topics/wire_feed_roll_replacement.html

[Viitattu 5 4 2019].

Kemppi, ei pvm *X8 MIG Welder*. [Online]

saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/x8-mig-welder/>

[Viitattu 6 10 2019].

Lorch Schweißtechnik GmbH:n, 2019. *Lorch SpeedUp Fact Sheet*. [Online]

saatavissa:

<https://static.lorch.eu/Service/Downloads/FactSheets/Factsheet-SpeedUp-en.pdf>

[Viitattu 7 10 2019].

MERKLE Schweißanlagen-Technik GmbH, ei pvm *ProSwitch*. [Online]

saatavissa: <https://www.merkle.de/en/processes/new-wielding-techniques/proswitch.html>

[Viitattu 7 10 2019].

Merkle Schweissanlagen-Technik GmbH, ei pvm *The Merkle HighUP Process*. [Online] saatavissa:

https://www.merkle.de/fileadmin/user_upload/Produkt_Projekte_Aktuell/English/ME_FL_HighUP_0312_205427_GB_RZ.pdf

[Viitattu 7 10 2019].

Migatronik A/S, 2019. *Sequence Repeat*. [Online]

saatavissa: <https://www.migatronik.com/en/products-and-solutions/migatronik-welding-functions/sequence-repeat/>

[Viitattu 7 10 2019].

Stenbacka, N., 2011. *Hitsaustalous ja tuottavuus*. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen yhdistys.

Weman, K., 2012. *Welding Process Handbook*. Second Edition toim. Cambridge: Woodhead Publishing.

LITTEET

Taulukko 4. Hitsauskokeissa käytetyn lisäainelangan ominaisuudet (ESAB, ei pvm)

Tyypilliset lujuusarvot					
As welded					
Murtolujuus	Myötöraja	Suojakaasu	Venymä	Testausaika	Testauslämpötila
530 MPa	430 MPa	AWS CO ₂ (C1)	30 %	-	-
560 MPa	460 MPa	EN 80Ar/20CO ₂ (M21)	26 %	-	-
Stress relieved					
Murtolujuus	Myötöraja	Suojakaasu	Venymä	Testausaika	Testauslämpötila
495 MPa	370 MPa	EN 80Ar/20CO ₂ (M21)	28 %	15 hr	620 °C
As welded					
Murtolujuus	Myötöraja	Suojakaasu	Venymä	Testausaika	Testauslämpötila
540 MPa	440 MPa	EN CO ₂ (C1)	25 %	-	-
Charpy V -iskutitkeys					
Iskutitkeys	Suojakaasu	Testauslämpötila	Tila	Stress Relieved Testing Temp	Stress Relieved Testing Time
75 J	AWS CO ₂ (C1)	-30 °C	As welded		
130 J	EN 80Ar/20CO ₂ (M21)	20 °C	As welded		
120 J	EN 80Ar/20CO ₂ (M21)	-20 °C	As welded		
100 J	EN 80Ar/20CO ₂ (M21)	-30 °C	As welded		
90 J	EN 80Ar/20CO ₂ (M21)	-40 °C	As welded		
120 J	EN 80Ar/20CO ₂ (M21)	20 °C	Stress relieved	620 °C	15 hr
90 J	EN 80Ar/20CO ₂ (M21)	-20 °C	Stress relieved	620 °C	15 hr
110 J	EN CO ₂ (C1)	20 °C	As welded		
75 J	EN CO ₂ (C1)	-30 °C	As welded		
Hitsimetallin analyysi					
Mn	C	Si			
1.46%	0.078 %	0.85 %			
Hyväksynnät:		ABS; 3YSA; BV; SA3YM; CE; EN 13479; DB; 42.039.06; DNV-GL; III YMS; LR; 3YS H15; PRS; 3YS; RS; 3YMS; VdTÜV; 00899; CWB; PV,ZG; B-G 49A 3 C1 S6; JIS; ZG; YGW12; NAKS/HAKC; PV; 0.8-2.0 mm; NAKS/HAKC; ZG; 1.2-1.6 mm; RINA; PV,ZG; 3YS			
Luokittelut:		EN ISO 14341-A; G 38 3 C1 3Si1; Weld Metal; EN ISO 14341-A; G 42 4 M20 3Si1; Weld Metal; EN ISO 14341-A; G 42 4 M21 3Si1; Weld Metal; EN ISO 14341-A; G 3Si1; Wire Electrode; SFA/AWS A5.18; ER70S-6; Wire Electrode; CSA W48; B-G 49A 3 C1 S6; Wire Electrode; JIS Z 3312; YGW 12(C1); Wire Electrode			

Taulukko 5. Koehitsausten tulokset

Koekappaleen numero	Prosessi	Keskiarvovirta [A]	Napajännite [V]	Kaarijännite [V]	Kaariaika	Lämmöntuonti (Weld Data) [kJ/mm]	Kuljetusnopeus (Weld Data) [cm/min]	Hitsari
Täyttöpalo								
1	1-MIG	129	17,4	16,6	2 min 0 s	1,00	10	A
2	Dprocess	107	17,7	17,0	1 min 55 s	0,99	10	A
3	1-MIG	132	17,4	16,7	2 min 0 s	0,95	10	A
4	Dprocess	104	17,7	16,9	1 min 47 s	0,92	11	A
5	1-MIG	133	17,0	16,2	1 min 39 s	0,83	12	B
6	Dprocess	109	17,6	16,7	1 min 41 s	0,83	12	B
Pintapalo								
1	1-MIG	122	17,1	16,7	2 min 7 s	1,00	9	A
2	Dprocess	100	16,2	15,5	2 min 50 s	1,12	7	A
3	1-MIG	124	17,1	16,7	2 min 30 s	1,20	8	A
4	Dprocess	95	16,6	15,9	2 min 28 s	1,06	8	A
5	1-MIG	133	17,2	16,5	1 min 52 s	0,92	10	B
6	Dprocess	109	16,2	15,3	1 min 59 s	0,87	10	B

Taulukko 6. Täyttöpalkojen keskiarvot

	Keskiarvovirta [A]	Napajännite [V]	Kaarijännite [V]	Kaariaika [s]	Lämmöntuonti (Weld Data) [kJ/mm]	Kuljetusnopeus (Weld Data) [cm/min]
1-MIG	131,3333	17,26667	16,5	113	0,926667	10,66667
Dprocess	106,6667	17,66667	16,86667	107,6667	0,913333	11

Taulukko 7. Täyttöpalkojen keskihajonnat

	Keskiarvovirta [A]	Napajännite [V]	Kaarijännite [V]	Kaariaika [s]	Lämmöntuonti (Weld Data) [kJ/mm]	Kuljetusnopeus (Weld Data) [cm/min]
1-MIG	2,081666	0,23094	0,264575	12,12436	0,087369	1,154701
Dprocess	2,516611	0,057735	0,152753	7,023769	0,080208	1

Taulukko 8. Pintapalkojen keskiarvot

	Keskiarvovirta [A]	Napajännite [V]	Kaarijännite [V]	Kaariaika [s]	Lämmöntuonti (Weld Data) [kJ/mm]	Kuljetusnopeus (Weld Data) [cm/min]
1-MIG	126,3333	17,13333	16,63333	129,6667	1,04	9
Dprocess	101,3333	16,33333	15,56667	145,6667	1,016667	8,333333

Taulukko 9. Pintapalkojen keskihajonnat

	Keskiarvovirta [A]	Napajännite [V]	Kaarijännite [V]	Kaariaika [s]	Lämmöntuonti (Weld Data) [kJ/mm]	Kuljetusnopeus (Weld Data) [cm/min]
1-MIG	5,859465	0,057735	0,11547	19,13984	0,144222	1
Dprocess	7,094599	0,23094	0,305505	25,57994	0,130512	1,527525