

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

HITSAUSPROSESSIN MUUTOS KONEPAJALLA

TEKIJÄ Tanita Miettinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Tanita Miettinen			
Työn nimi Hitsausprosessin muutos konepajalla			
Päiväys	12.4.2025	Sivumäärä/Liitteet	53/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) SKM Stainless Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli tutkia hitsausprosessin muutoksen mahdollisuus SKM Stainlessin konepajalla. Hitsausprosessin muutos käsitti vaihdoksen täytelankahitsausprosessista 136 umpilankahitsausprosessiin 135 kirkkaiden teräksien erikoistuneeseen konepajaan. Työn tavoitteena oli tutkia muutoksen mahdollisuus mahdollisimman monesta näkökulmasta, sekä tarkastella molempien hitsausprosessien kustannuksia.</p> <p>Tutkimus suoritettiin konepajalla tutkien hitsausympäristöä, hitsattavia tuotteita sekä materiaaleja. Yrityksen hitsaavan tuotannon työntekijöitä haastateltiin sekä heidän mielipiteitään ja kokemuksia kuunneltiin. Eri hitsausprosessien ja materiaalien koehitsauksia suoritettiin sekä järjestetyissä koulutustapahtumissa että satunnaisissa hitsauslisäaineen ja hitsauskoneen testaustilanteissa. Yrityksen noudattamia laatustandardeja seurattiin tarkasti hitsausprosessin muutosta koskevissa kohteissa ja hitsauksissa.</p> <p>Lopputuloksena todetaan hitsausprosessin muutoksen olevan mahdollinen konepajalle, sekä tuloksien valossa se olisi myös suositeltava toimenpide, erityisesti kustannuksien takia. Jatkotoimille opinnäytetyöstä olisi seuraava vaihe siirtyä konkreettisesti umpilankahitsausprosessiin, ja laatia muutoksen jälkeiset toteutuneet hitsauksen työajat sekä niiden kustannukset. Myöhemmässä vaiheessa uuden hitsausprosessin vieminen mekaniointiin osittain tai kokonaan on vaihtoehtoinen, mutta kannattava jatkotoimenpide.</p>			
Avainsanat hitsaus, umpilankahitsaus, täytelankahitsaus, MAG-hitsaus, hitsausprosessi			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn tausta ja tavoitteet	6
1.2	SKM Stainless Oy	6
2	NYKYTILANNE.....	7
3	HITSAUS	8
3.1	Hitsauksen historiaa	8
3.2	MAG-umpilankahitsaus	8
3.3	MAG-täytelankahitsaus	11
3.4	Pulssihitsaus ja erikoishitsausprosessit.....	11
3.4.1	Pulssihitsaus.....	11
3.4.2	Erikoishitsausprosessit	12
4	LAADUNHALLINTA.....	14
4.1	Hitsaushenkilöstö	14
4.2	Laitteet	14
4.3	Hitsaustoiminnot.....	15
4.4	Hitsausaineet.....	15
4.5	Muut standardin määrittämät osa-alueet	16
5	HITSAUSPROSESSIN VAIHTO	17
5.1	Hitsauksen laatu	18
5.1.1	Lämmöntuonti	18
5.2	Hitsausmenetelmä- ja päteväntikokeet	18
5.3	Konekanta	18
5.4	Lisäaineiden vertailu hitsaavassa tuotannossa.....	18
5.4.1	Lisäaineet.....	18
5.4.2	Tunkeuma.....	18
5.4.3	Hitsaushuurut.....	18
5.4.4	Juuren suojaus	18
5.5	Hitsauskaasut	18
5.6	Varastointi.....	18
5.7	Materiaalien valinta	18
5.8	Koulutus.....	18

5.9	Hitsaavan tuotannon kanta	18
6	TARKASTELTAVAT HITSAUSKOHTEET	18
6.1	Ensisijaiset kohteet	19
6.2	Mahdolliset korvattavat kohteet	19
7	HITSAUSPROSESSIN VAIKUTUS TYÖAIKAAN	19
7.1	Hitsauskohdekohtainen työaika	20
7.2	Lisätyön vaikutus työaikaan	20
8	KUSTANNUKSET	20
8.1	Hitsauskaasut	20
8.2	Lisäaineet.....	20
8.3	Menetelmä- ja hitsauspätevyyskokeet	20
8.3.1	Menetelmäkokeiden kustannukset	20
8.3.2	Hitsauspätevyyskokeiden kustannukset	20
8.3.3	Kokonaiskustannukset pätevyys- ja menetelmäkokeiden osalta	20
8.4	Muut hitsausprosessikohtaiset kustannukset	20
8.5	Kustannuksien vertailu	20
9	LOPPUTULOKSET JA POHDINTA	21
9.1	Ennakkoluulot ja muutosvastarinta.....	21
9.2	Visuaalinen onnistuminen	21
9.3	Erikoishitsausprosessien tuomat mahdollisuudet	21
9.3.1	Mekanisoinnin yhdistäminen erikoishitsausprosessiin.....	21
9.4	Hitsaavan tuotannon negatiivinen asenne jälkikäsitteilyyn	21
9.5	Kustannuskatselmointi.....	21
9.6	Neutraali lopputulos	21
	LÄHTEET	22

KUVALUETTELO

KUVA 1.	MIG/MAG-hitsauksen toimintaperiaate (Lukkari, 1997).	9
KUVA 2.	Taulukko lyhyt-, seka- ja kuumakaarialueiden parametreistä (Lukkari, 1997).	10
KUVA 3.	Kuvaleike Kempin sivulta Weld Assist (Kemppi, n.d.).	13
KUVA 4.	TIG-hitsausmenetelmällä hitsattu hitsisauma (Miettinen 2024, SS BY-SA).....	18

KUVA 5. Hitsisaumoihin jää jälkiä mekaanisesta puhdistuksesta (Miettinen 2024, CC BY-SA).....	18
KUVA 6. Havainnekuva jälkikäsitteilyn jäljistä ruiskuopeittauksen jälkeen (Miettinen 2024, CC BY-SA.).....	18
KUVA 7. Kuvaleike Hitsaustekniikka -verkkolehdestä 2/22 (Dick Skarin, 2016).....	18
KUVA 8. Kuvaleike Hitsaustekniikka -verkkolehdestä 1/22 (Lahti, n.d.)	18
KUVA 9. Hapettunut juurenpuoli, jota ei ole suojattu juurikaasulla tai kuonalla. (Miettinen 2025, CC BY-SA)	18
KUVA 10. Kuvassa nähtävissä juuren ero käytettäessä juuritukea. (Miettinen 2025, CC BY-SA)	18
KUVA 11. Hapettunut juurenpuoli ylemmässä kuvassa, alemmassa suojautunut juuri on kirkkaampi ja selkeämpi. (Miettinen 2025, CC BY-SA)	18
KUVA 12. Kuvaleike Linden verkkosivulta Käytännön ohjeita MIG/MAG -hitsaukseen (Kuusisto, n.d.).....	18
KUVA 13. Täytelankahitsauslisäaineiden varastointi tapahtuu erillisessä lämmitetyssä tilassa. (Miettinen 2024, CC BY-SA).....	18
KUVA 14. Varastointialue lisäaineille, jotka eivät vaadi erityisiä lämpötiloja säilytykseen. (Miettinen 2024, CC BY-SA)	18
KUVA 15. Duplex täytelangalla hitsatun hitsisauman kuonat vaativat jälkikäsitteilyä. (Miettinen 2024, CC BY-SA)	18
KUVA 16. MAG-umpilankahitsausprosessilla saavutettiin visuaalisesti TIG-hitsausprosessilla hitsattua saumaa lähentelevä hitsisauma. (Miettinen 2024, CC BY-SA).....	18
KUVA 17. Hitsaavan tuotannon työntekijät kannattavat osittain hitsausprosessin vaihtoa konepajalla.	18
KUVA 18. Kuvassa säiliön yleisimmät pienahitsit, katkoviivalla merkitty sisäpuolinen hitsi.....	19
KUVA 19. Käsinhitsattavia asentohitsauksia suoritetaan erityisesti kohteissa, missä valmistus on siirretty kokonaan asennustyökohteeseen. (Natunen 2024, CC BY-SA)	19
KUVA 20. Kuvan yhteissä olisi mahdollista hyödyntää enemmän MAG-umpilankahitsausta. (Miettinen 2025, CC BY-SA)	19
KUVA 21. Tapauksen 1. hitsisauma. Kuvassa nähtävillä roiskeita sekä kuonaa. (Miettinen 2024, CC BY-SA)	20
KUVA 22. Tapauksen 2. hitsisaumaa (Miettinen 2024, CC BY-SA)	20
KUVA 23. Tapauksen 3. hitsisaumaa, jota suoritettiin lattian tasalla. (Miettinen 2024, CC BY-SA)	20
KUVA 24. Hitsissä nähtävissä jatkosvirhe (Miettinen 2024, CC BY-SA).....	20

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on mahdollistaa hitsausprosessin vaihto konepajalla MAG-täytelankahitsauksesta MAG-umpilankahitsaukseen. Opinnäytetyössä tutkitaan ja kartoitetaan kaikki hitsausprosessin vaihtoon vaadittavat seikat, sekä vertaillaan menetelmiä keskenään ajankäytön ja kustannusten valossa.

Yrityksen laatustandardit asettavat tiettyjä vaatimuksia hitsaustyölle, joita seuraamalla opinnäytetyö etenee testauksista tuloksiin. Tällä hetkellä yrityksessä käytetään MAG-täytelanka- sekä TIG-hitsausmenetelmiä, jotka ovat osoittautuneet ajoittain hitaiksi ja työläiksi. Hitsausprosessin vaihdolla haetaan visuaalisesti parempaa hitsiä sekä läpimenoajan parantamista ja tehokkuutta.

Työ toteutettiin Leppävirtalaiselle konepajalle SKM Stainlessille, jolla on vahva tahtotila edistää ja nykyaikaistaa hitsaustuotantoaan parempien lopputuloksien valossa.

1.2 SKM Stainless Oy

SKM Stainless Oy on vuonna 2018 perustettu Leppävirtalainen konepaja, jonka osaamisalaan kuuluvat erikokoiset säiliöt, siilot ja reaktorit sekä putkistot kirkkaista teräksistä sekä kirkkaista erikoisteräksistä valmistettuna. Konepajavalmistuksen lisäksi yritys tekee myös asennuspalveluita Suomessa ja ulkomailla. SKM Stainless tarjoaa teollisuuden kunnossapitoa kemiantehtaisiin, paperiteollisuuteen, lämpölaitoksiin sekä pienempäänkin teollisuuteen. Terästuotteiden ohessa osaamista löytyy muovituotteiden parista, kuten esimerkiksi prosessiputkistot.

SKM Stainlessin juuret ulottuvat 1950-luvulle Hackmanin aloittaessa toimintansa Leppävirran Sorsakoskella ruostumattomien säiliöiden valmistuksella. Toiminnan laajentuessa yritys siirtyi nykyiselle paikalleen Leppävirralle, josta se jatkoi yritysnimillä YIT ja myöhemmin Caverion, aina nykyiseen SKM Stainlessiin asti.

Tänä päivänä SKM Stainless on yksi vahvimmista toimijoista tarjoamallaan palvelusegmenteillä. Yritys työllistää liki 50 ammattilaista, mukaan lukien tuotantotyöntekijät sekä toimihenkilöt ja päälliköt (SKM Stainless, 2020.)

2 NYKYTILANNE

Toimeksiantaja on halunnut salata sisällön.

3 HITS SAUS

MIG/MAG-hitsaus tunnetaan käytetyimpänä hitsausmenetelmänä hitsaavassa tuotannossa. Kyseessä on osittain mekanisoitu hitsaustapahtuma. Mekanisoidun siitä tekee langansyöttökoneisto, joka syöttää lisäainetta koneellisesti. Itse hitsaaminen suoritetaan käsin liikuttamalla hitsauspoltinta sekä painettaessa hitsauspolttimen liipaisinta (Lukkari 1997, 160.)

3.1 Hitsauksen historiaa

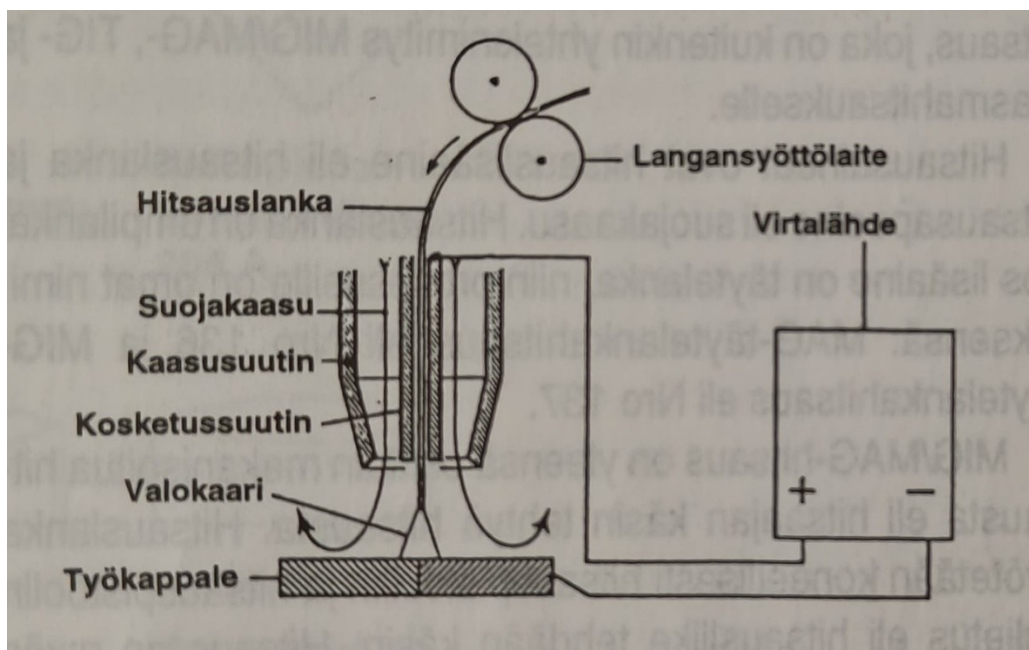
Hitsaamisen juuret ulottuvat vuosituhansia taaksepäin, kun hitsauksen esimuotoa pajahitsausta toteutettiin Kiinassa ja Intiassa. Kovajuotettuja esineitä, mitkä ovat arviolta yli 5000 vuotta vanhoja, on löydetty Galileasta. Nykymuotoisempaan hitsaukseen on siirrytty kuitenkin vasta 1800-luvun loppupuolella, kun jo tutuksi tullut fysikaalinen ilmiö, valokaari, oli käytössä mm. valaistuksessa. Varsinainen valokaarihitsaustapahtuma rekisteröitiin 1885 Venäjällä, kun yhdistettiin hiilipuikko sekä erillinen lisäainelanka sulamaan valokaarella ja näin ollen saatiin metallikappaleet sulamaan toisiinsa kiinni (Lukkari 1997, 14.)

Nykyisin yksi tunnetuimmista sekä käytetyimmistä menetelmistä, MIG/MAG-hitsaus, näki päivänvalon vuonna 1948 Yhdysvalloissa. Suojakaasuna toimiva helium toi prosessille nimen S.I.G.M.A. (Shielded Inert Gas Metal Arc). Vasta tämän jälkeen, 1953, löydettiin hiilidioksidin käytettävyys MIG/MAG-hitsauksessa (Lukkari 1997, 14.)

Täytelankahitsauksen ensimmäiset versiot, "Dualshield" ja "Innershield" tuotiin markkinoille 1957. Tällöin käytössä olivat molemmat muodot, sekä suojakaasun kanssa hitsattava, että ilman suojakaasua hitsaaminen. Ensimmäiset täytelangat olivat halkaisijoiltaan suuria, jopa 2,4-3,2 mm. Vuonna 1972 kuitenkin Alloy Rods kehitti ohuet 1,2-1,6 mm vahvuiset lisäainelangat, joita kyettiin käyttämään asentohitsauksissa nopeasti jäähtyvän kuonansa ansiosta. Asentohitsauslangat kehittyivät 1980-luvun loppupuolella ruostumattomien teräksien hitsaukseen, joka oli itsessään merkittävä edistysaskel hitsauslisäaineissa. Tänä päivänä, lisäainevalmistajat ympäri maailmaa panostavat erityisesti täytelankojen parantamiseen ja kehittämiseen (Lukkari 1997, 229.)

3.2 MAG-umpilankahitsaus

Toimintaperiaatteena prosessissa on langansyöttölaitteisto, mikä syöttää lisäainelankaa hitsauspis-
tooliin, jossa sijaitsevaan virtasuuttimeen hitsausvirta johdetaan virtalähteestä. Virtasuuttimesta virta siirtyy lisäainelankaan, joka syttyy koskettaessaan työkappaletta (kuva 1). (Kuusisto 2014, luku 1.1).



KUVA 1. MIG/MAG-hitsauksen toimintaperiaate (Lukkari, 1997).

MAG-umpilankahitsausprosessi kulkee numerotunnuksella 135, jossa luku 13 tarkoittaa metallikaasukaarihitsausta, sekä numero 5 jolla viitataan käytössä olevaan aktiiviseen kaasuun sekä lisäaineena käytössä olevaan umpinaiseen lankaan. MIG- ja MAG-hitsaus eroavat toisistaan käytettävän kaasun mukaan. MIG (Metal-arc Inert Gas) -prosessissa on käytössä inertti kaasu, jolla tarkoitetaan, että kaasu ei osallistu hitsaustapahtumaan muuten kuin suojaamalla valokaarta ympäröiviltä epäpuhtauksilta. Tällaisia kaasuja ovat esimerkiksi argon ja helium. MIG-hitsaus on yleisemmin käytössä hitsattaessa esimerkiksi alumiinia (ei-rautametallit). MAG (Metal-arc Active Gas) -hitsaus on yleisempää hitsattaessa mustia tai kirkkaita teräksiä, joita ei ole runsaasti seostettu. Tässä tapauksessa kaasu toimii aktiivinen kaasu joka on yleensä hiilidioksidia ja/tai hiilidioksidin ja argonin kaasuseoksia. Aktiivisella kaasulla tarkoitetaan hitsaustapahtumaan osallistuvaa kaasua, joka mm. vakauttaa valokaaren käyttäytymistä (Lukkari 1997, 159 - 200.)

Umpilangan paksuus vaihtelee 0,6–1,2 mm, riippuen hitsattavasta kohteesta sekä materiaalista. Umpilankahitsausta voidaan suorittaa lyhyt-, seka- ja kuumakaarialueella, jotka tarkoittavat virta- ja jännitearvojen tasoa. Kuvassa 2 eri langanpaksuuksille parametrit lyhyt-, seka- ja kuumakaarialueella hitsattaessa (Lukkari 1997, 160 - 170.)

Langan- halkaisija (mm)	Suojakaasu	Lyhytkaari (min-max)	Sekakaari (min-max)	Kuumakaari ¹⁾ (min-max)
0,8	Ar + 8 % O ₂	50 A / 15 V – 140 A / 18 V	128 A / 20 V – 168 A / 22 V	155 A / 24 V – 220 A / 29 V
0,8	Ar + 5 % CO ₂ + 5 % O ₂	50 A / 14 V – 142 A / 19 V	130 A / 22 V – 170 A / 24 V	165 A / 25 V – 220 A / 31 V
0,8	Ar + 10 % CO ₂	50 A / 15 V – 150 A / 20 V	140 A / 22 V – 175 A / 23 V	168 A / 25 V – 220 A / 31 V
0,8	Ar + 18 % CO ₂	50 A / 16 V – 160 A / 22 V	145 A / 25 V – 193 A / 25 V	176 A / 28 V – 225 A / 34 V
0,8	Ar + 25 % CO ₂	50 A / 16 V – 148 A / 20 V	135 A / 23 V – 173 A / 25 V	165 A / 27 V – 215 A / 36 V
0,8	CO ₂	50 A / 16 V – 113 A / 21 V	92 A / 24 V – 135 A / 24 V	128 A / 26 V – 195 A / 36 V
1,0	Ar + 8 % O ₂	65 A / 15 V – 170 A / 18 V	155 A / 20 V – 210 A / 23 V	195 A / 25 V – 280 A / 32 V
1,0	Ar + 5 % CO ₂ + 5 % O ₂	65 A / 14 V – 168 A / 19 V	155 A / 21 V – 200 A / 24 V	192 A / 25 V – 280 A / 33 V
1,0	Ar + 10 % CO ₂	65 A / 15 V – 175 A / 20 V	160 A / 22 V – 215 A / 25 V	205 A / 27 V – 280 A / 32 V
1,0	Ar + 18 % CO ₂	65 A / 15 V – 177 A / 21 V	160 A / 24 V – 220 A / 26 V	215 A / 29 V – 280 A / 34 V
1,0	Ar + 25 % CO ₂	65 A / 16 V – 172 A / 20 V	160 A / 23 V – 215 A / 27 V	210 A / 29 V – 280 A / 39 V
1,0	CO ₂	60 A / 16 V – 140 A / 20 V	125 A / 23 V – 165 A / 23 V	155 A / 26 V – 265 A / 37 V
1,2	Ar + 8 % O ₂	80 A / 14 V – 207 A / 17 V	185 A / 20 V – 247 A / 23 V	232 A / 25 V – 355 A / 34 V
1,2	Ar + 5 % CO ₂ + 5 % O ₂	80 A / 14 V – 195 A / 18 V	182 A / 21 V – 227 A / 23 V	218 A / 25 V – 350 A / 34 V
1,2	Ar + 10 % CO ₂	80 A / 15 V – 195 A / 20 V	180 A / 22 V – 252 A / 26 V	243 A / 28 V – 350 A / 32 V
1,2	Ar + 18 % CO ₂	80 A / 15 V – 193 A / 20 V	175 A / 23 V – 258 A / 26 V	245 A / 29 V – 350 A / 35 V
1,2	Ar + 25 % CO ₂	80 A / 16 V – 195 A / 20 V	180 A / 23 V – 257 A / 28 V	247 A / 30 V – 350 A / 36 V
1,2	CO ₂	75 A / 17 V – 165 A / 18 V	150 A / 22 V – 197 A / 22 V	180 A / 25 V – 330 A / 38 V

¹⁾ CO₂: pitkäkaari

Suutinetäisyydet: 12 mm (0,8 ja 1,0 mm) ja 16 mm (1,2 mm)

KUVA 2. Taulukko lyhyt-, seka- ja kuumakaarialueiden parametreistä (Lukkari, 1997).

Lyhytkaarella hitsausta käytetään enimmäkseen ohutlevyjen ja pohja/juuripalkojen hitsaukseen sekä asentohitsauksessa. Sekakaarella hitsattaessa kohteita ovat pystyhitsit ylhäältä alaspäin sekä erityiskohteet, mutta nykypäivänä sekakaari on käytetyin kaarimuoto hitsattaessa sekä ohutlevy- että paksumpia teräsrakenteita pienahitseissa, joissa ei vaadita suurta tunkeumaa. Kuumakaarialue toimii poikkeuksetta hyvän tunkeuman alueena, joten sitä käytetään paksumpiin levyihin erityisesti jalko- ja alapienä asennoissa (Lukkari 1997, 160.)

Lukkarin (1997, 160) mukaan umpilankahitsauksen etuihin on lueteltu

- jatkuva lisäaine; ei lisäaineen vaihtokohtia hitsissä, helppo mekanisoida
- lisäaine kuonaa muodostamaton
- hyvä tuottavuus
- hitsaus kaikissa asennoissa
- tunkeuma säädettävissä virran avulla
- ohutlevyjen hitsaus
- hinnaltaan edullinen lisäaine
- laaja hitsausarvojen säätömahdollisuus (kts. kuva 2)
- soveltuu hyvin pulssikaarihitsaukseen

Haittojen osalta verrattuna täytelankahitsaukseen, umpilanka on herkempi vedolle ja tuulelle sekä lisäainevalikoima suppeampi, erityisesti runsaasti seostetuissa teräksissä. (Lukkari 1997, 177.)

3.3 MAG-täytelankahitsaus

Täytelankahitsaus muistuttaa toimintaperiaatteiltaan hyvin paljon MAG-umpilankahitsausta, mutta hitsauslankana oleva umpilanka on korvattu täytelangalla. MAG-täytelankahitsausprosessin numerotunnus on 136, jossa numero 6 viittaa käytössä olevaan täytelankaan (Lukkari, 228)

Täytelanka on putkimainen kelalla oleva lanka, jonka teräskuoren sisällä on (täyte)jauhe. Jauheen tehtävänä on kaasujen ja kuonan muodostaminen, deoksidointi, kaaritilan ionisointi sekä seostaminen. Kuori toimii suojana jauheelle, antaa muodon lisäaineelle, sulaessaan tuottaa hitsausainetta sekä toimii virtajohtimena. Yleisimmät käytössä olevat täytelankahalkaisijat ovat 1,0, 1,2, 1,4 ja 1,6 mm. (Lukkari 1997, 258-259.)

Täytelankahitsauksessa on lukuisia etuja verrattuna umpilankahitsaukseen (Lukkari 1997, 258-159)

- hyvä tuottavuus, erityisesti asentohitsauksessa
- helppo mekanisoidavuus
- hitsaus kaikissa asennoissa
- hyvä tunkeuma
- monipuolinen lisäainevalikoima
- hitsiaineen hyvät mekaaniset ominaisuudet
- pohjamaalattun levyn hitsaus varmempaa (kuin umpilangalla)
- hyvä tiiviysvarmuus
- vähän roiskeita

Havaittuja haittoja yleisesti (Lukkari 1997, 232)

- ulottuvuus, luoksepäästävyys ja siirrettävyys rajoitetumpaa (kuin esim. puikkohitsauksessa)
- lisäaineiden hinnat korkeita, verrattuna umpilankojen hintoihin
- erityisesti rutiiliasentolankojen kostuminen herkempää
- ei voida yhdistää pulssikaarihitsaukseen

3.4 Pulssihitsaus ja erikoishitsausprosessit

Viime vuosina MIG/MAG-hitsausprosessin kantavaksi voimaksi on noussut pulssihitsaus. Synerginen hitsausohjelma on syrjäyttänyt perinteisen manuaalisen (puhekielessä 2-nuppisäätöinen) hitsauksen, jolla tarkoitetaan hitsauskoneen säätämistä kahdella eri säätimellä, joista toisella asetetaan jännite (V) ja toisella langansyötön nopeus (m/min). Rinnalle on myös noussut muita laitevalmistajien laitekohtaisia erikoishitsausohjelmia kuten Kempin Wise-ohjelmat, MaxSpeed sekä kaksoispulssihitsaus.

3.4.1 Pulssihitsaus

Pulssihitsaus on MIG/MAG-hitsauksen kaltainen tapahtuma, mutta tässä menetelmässä hitsausvirtaa pulssitetaan. Virta vaihtelee automaattisesti pohjavirran ja pulssivirran välillä. Lisäaine siirtyy suuripisaraisena ja säännöllisesti vakaassa valokaassa sekä hitsausvirran pulssittamisella lämmöntuonti pysyy maltillisena. Pulssihitsauksen kohteita ovat vaativat asentohitsaukset umpilangalla, joissa vaaditaan tasaista tunkeumaa ilman roiskeita. (Kuusisto 2014, luku 5.2.4.)

Lukkarin (1997, 172) mukaan pulssihitsauksessa on paljon etuja verrattuna perinteiseen MIG/MAG-hitsaukseen, joista alla mainittuna tärkeimpiä

- suurempi hitsausnopeus ja hitsiaineentuotto verrattuna lyhytkaarihitsaukseen
- pienempi hitsausenergia ja lämmön aiheuttamat teräksen vääntymiset/vetelyt verrattuna kuumakaarihitsaukseen
- vähemmän tai ei ollenkaan roiskeita
- vähemmän hitsaushuuruja
- visuaalisesti parempi hitsin ulkomuoto
- helpottaa hitsausta vaikeasti hitsattavilla lisäaineilla, mm. runsaasti seostetut nikkelivaltaiset lisäaineet

Pulssihitsauksen muihin etuihin katsotaan huokos- ja halkeamavapaa hitsi sekä mahdollisuus käyttää paksuja lisäainelankoja ilman hitsausparametrien säätämistä korkeammalle. (Kuusisto 2014, luku 5.2.4.)

3.4.2 Erikoishitsausprosessit

- Kaksoispulssihitsaus on pulssihitsauksen muoto, jossa myös langansyöttönopeutta pulssiteataan. Langansyöttönopeus vaihtelee hitsauksen aikana, riippuen hitsaajan säätämistä vaihtelun amplitudista ja taajuudesta. Kaksoispulssihitsauksen etuina on alhaisempi lämmöntuonti kuin tavallisella pulssihitsauksella sekä hitsisulan parempi hallittavuus mm. asentohitsauksessa (Industria Center, n.d.)
- Synerginen hitsausohjelma eli 1-MIG hitsausprosessi säätää jännitettä automaattisesti langansyöttönopeutta valittaessa. Ohjelma laskee tarvittavan jännitteen käytössä olevan hitsausohjelman perusteella. 1-MIG-ohjelman hyötynä on helpottaa hitsauskoneen säätämistä parametreihin vs. perinteinen manuaali/2-nuppisäätö (Kempfi, n.d.)
- Kempfin MAX Speed on kehitetty erityisesti suuren hitsausnopeuden saavuttamiseen. Ohjelma käyttää hyödykseen MIG/MAG-hitsauksen kuumakaarialuetta sekä pulssihitsausta umpilangalla. MAX Speed-hitsausohjelman avulla pystytään hitsausnopeutta lisäämään 50-70% verrattuna pelkkään kuumakaarihitsaukseen tai pulssihitsaukseen (Kempfi, n.d.)
- Kempfi WiseRoot on suunniteltu ilman juuritukea tehtävään juuripalon hitsaukseen umpilangalla. Ohjelma käyttää hyödykseen lyhytkaariprosessia sekä hitsaustapahtuman aikana tapahtuvaa seurantaa hitsausjännitteestä, hitsausvirrasta sekä lisäaineen siirtymisestä säädellen näitä reaaliaikaisesti. WiseRootin avulla hitsattaessa käytettävää railon tilavuutta pystytään pienentämään, ilmarakojen muutokset eivät vaikuta hitsaukseen sekä roiskeiden määrä vähenee (Kempfi, n.d.)
- WiseFusion Kempiltä mahdollistaa alhaisen lämmöntuonnin hitsauksessa kuitenkin nopeuden pysyessä suurena. Ohjelma hyödyntää kuumakaarihitsausta sekä pulssihitsauksen oikosulkuominaiskäyrää, jolla hallitaan valokaaren pituutta. Etuina hitsausohjelmalla on alhaisen lämmöntuonnin tuomat edut hitsattavan kappaleen muodonmuutosten ja hitsin mekaanisten ominaisuuksien suhteen (Kempfi, n.d.)
- Kempfin WiseThin on tarkoitettu ohutlevyhitsaukseen teräkselle ja ruostumattomille teräksille. WiseThin hyödyntää hitsausohjelmassa kylmäkaariprosessia ja soveltuu umpilangalla

hitaamiseen. Ohjelman etuja ovat suuri nopeus ja pieni lämmöntuonti, roiskeiden vähyyt sekä langanpaksuuden säilyttäminen vakiona muiden hitsausohjelmien rinnalla (Kempfi, n.d.)

- Weld Assist on Kempin luoma toiminto, joilla hitsausparametrien valinta on tehty yksinkertaiseksi hitsaajalle. Ohjelman toiminta etenee vaihe vaiheelta läpi selvittäen, mitä hitsataan ja missä asennossa, sekä minkä vahvuista levyä hitsataan. Hitsaajan antamien valintojen perusteella ohjelma laskee oikeat parametrit hitsaustapahtumaan (kuva 3). Ohjelma toimii vain umpilankahitsauksen kanssa, mutta etuina on nopea ja oikea hitsausparametrien säätö eri hitsaustapahtumiin (Kempfi, n.d.)



KUVA 3. Kuvaleike Kempin sivulta Weld Assist (Kempfi, n.d.).

4 LAADUNHALLINTA

SKM Stainlessin hitsauksen laadunhallinta pohjautuu standardin EN-ISO 3834-2 ohjeistukseen koskien hitsauksen laatuvaatimuksia. Kyseinen standardi on tämänhetkinen käytössä oleva laadunhallinnan ohjenuora asiakkaiden vaatimuksien mukaan. Standardissa määritellään metallien sulahitsauksen kattavat laatuvaatimukset konepajoissa sekä asennuspaikoilla. Standardin askelmerkit hitsauksen laadun suhteen käsittävät hitsaushenkilöstön, tarkastus- ja hitsaushenkilöstön, laitteet, hitsaus-toiminnot, hitsausaineet, perusaineen varastointi, hitsien jälkilämpökäsittely, tarkastus ja testaus, poikkeamat ja korjaavat toimenpiteet, mittaus-, tarkastus- ja testauslaitteiden kalibrointi ja kelpuus, tunnistettavuus ja jäljitettävyys sekä laatuasiakirjat. Laadunhallinta standardin mukaisesti näyttelee tärkeää roolia hitsausprosessin vaihdon yhteydessä.

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin standardista kohtia hitsaushenkilöstö, hitsauksen koordinointi-henkilöstö, laitteet, hitsaus-toiminnot, hitsausaineet sekä sivuutetaan muita standardin aihealueita, jotka eivät vaatineet huomiota hitsausprosessin vaihdossa. Hitsauksen laadunhallintaan kuuluu SKM Stainlessilla olennaisesti myös hitsauksien lämmöntuontien seuranta hitsattaessa ruostumattomia teräksiä.

4.1 Hitsaushenkilöstö

Hitsaushenkilöstön on oltava riittävä sekä pätevä hitsaukseen tuotannon suunnitteluun ja suorittamiseen. Hitsaajat pätevoidetään asiaankuuluvalla pätevyyskokeella sekä hitsauksen koordinoitihenkilöstön on omattava riittävät valtuudet, jotta tarpeelliset toimenpiteet kyetään suorittamaan.

Standardin EN-ISO 9606-1 mukaan hitsaajan pätevyittäminen on perusteltu seuraavanlaisesti "Kun hitsaajia pätevoidetään, kiinnitetään huomiota hitsaajan kykyyn kuljettaa käsivaraisesti hitsauspuikkoa, hitsauspistoolia tai hitsauspoltinta, jotta saadaan aikaan hyväksyttävä hitsin laatu." (SFS-EN ISO 9606-1, 2017, 6).

4.2 Laitteet

Standardi sanelee vaatimukset konepajalla hitsaustuotannossa käytössä olevista laitteista. Laitteiden on oltava tarkoitukseensa sopivia sekä uusien ja kunnostettujen laitteiden asennuksien jälkeen on tehtävä sopiva testaus, joilla varmistetaan että laitteet toimivat moitteettomasti. Testit on myös tehtävä ja dokumentoitava sopivien standardien mukaisesti.

Laitteiden huollon osalta on huolehdittava, että huoltosuunnitelma on dokumentoitu, jossa varmistetaan huoltotarkastukset laitteiden niille osille jotka vaikuttavat hitsausohjeessa määrättyihin hitsausparametreihin. Huoltosuunnitelmat rajoitetaan kohtiin, jotka ovat oleellisia varmistettaessa tuotteen laatua. Viallisten laitteiden käyttöä ei standardissa hyväksytä (SFS-EN ISO 3834-2, 2021, 7 – 13.)

Em. standardi määrittelee, että seuraavat laitteet on oltava tarvittaessa saatavissa:

- hitsausvirtalähteet ja muut koneet
- railon valmistuslaitteet, pinnan viimeistelylaitteet, leikkauslaitteet sekä termisen leikkauksen laitteet
- jälkilämpökäsittelylaitteet sekä lämpötilan mittauslaitteet

- ohjaimet ja kiinnittimet
- nosto- ja käsittelylaitteet joita käytetään hitsaustuotannossa
- henkilösuojaimet sekä muut turvalaitteet
- hitsauslisäaineiden säilytys- ja kuivauslaitteet
- pinnan puhdistuslaitteet
- laitteet rikkovaa ja rikkomatonta aineenkoetusta varten

Standardissa 3834-2 on lisäksi määritelty, että valmistajan on pidettävä luetteloa oleellisista tuotannossa käytettävistä laitteista. Luettelo sisältää muun muassa

- nostureiden enimmäisnostokyvyn
- kappaleiden koon, joita konepajassa on mahdollista käsitellä
- mekanisoitujen hitsauslaitteiden suorituskyvyn
- enimmäislämpötilan jälkikäsittelyille
- taivutus- ja leikkauslaitteiden suorituskyvyn

4.3 Hitsaustoiminnot

Hitsaustoiminnoissa tuotantosuunnitelman osalta on määrätty, että valmistajan on tehtävä tarkoitukseenmukainen tuotannon suunnittelu. Standardi SFS-EN ISO 15607 (2019, 5) määrittelemällä tuotannon suunnittelulla tarkoitetaan tässä tapauksessa muun muassa

- rakenteen valmistusjärjestyksen suunnittelu
- valmistamiseen tarvittavien yksittäisten työvaiheiden tunnistaminen
- asianmukaisiin hitsausohjeisiin sekä muihin hitsaukseen liittyvien prosessien ohjeisiin viittaaminen
- hitsausjärjestyksen määrittäminen
- yksittäisten prosessien suorittamisjärjestys sekä ajoitus
- tarkastuksien ja testauksien erittelyt sekä kolmannen tarkastusosapuolen mukanaolo
- erä- ja sulanumerosta tunnistaminen
- pätevoitettyjen henkilöiden sijoittaminen asianomaisiin työtehtäviin
- työkokeiden järjestelyt

Hitsausohjeet, käytössä myös lyhenne WPS, on valmistajan laadittava sekä varmistettava että niitä käytetään oikein tuotannossa. Ennen tuotantoon viemistä hitsausohjeet on hyväksyttävä ja varmistettava, että hyväksymistapa on asiaankuuluvien tuotestandardien mukainen. Hitsausohjeita tarvitaan hitsaustöiden suunnittelun perustaksi sekä laadunvalvontaan. Koska hitsaus katsotaan erikoisprosessiksi, vaativat laatu järjestelmästandardit hitsauksen suorittamisen kirjattujen menettelyohjeiden mukaisesti. Hitsausohjeiden laatiminen luo perustan sille, että hitsi täyttää asetetut laatuvaatimukset (SFS-EN ISO 15607, 2019, 5.)

4.4 Hitsausaineet

Hitsausaineiden valvomista varten määritetään vastuut sekä ohjeet. Varastoinnin, käsittelyn ja käytön osalta valmistaja laatii ja toteuttaa ohjeet, joiden avulla varmistetaan, ettei hitsausaineet pääse

kostumaan, hapettumaan tai muutoin vaurioitumaan. Näiden ohjeiden on pohjaututtava hitsausainetoimittajan antamiin suosituksiin.

4.5 Muut standardin määrittämät osa-alueet

Tarkastuksen ja testauksen osalta standardi on listannut tarkastettavat osa-alueet ennen hitsausta, hitsauksen aikana sekä sen jälkeen. Ennen hitsausta tapahtuvia tarkastuksia ovat mm. hitsaajien pätevyystodistukset, hitsausohjeiden soveltuvuus ja railon muodot. Hitsauksen aikana tehtäviä tarkastuksia ovat esimerkiksi hitsausparametrit, välipalkolämpötilat, juuren avaus, hitsausjärjestys sekä mikä tahansa muu välitarkastus, kuten mittojen tarkastaminen. Hitsauksen jälkeen suoritettavia tarkastuksia ovat silmämääräinen tarkastus (VT), rikkomaton aineenkoetus (NDT), mahdollinen rikkova aineenkoetus, rakenteen muoto sekä mahdollinen hitsin jälkilämpökäsittelyn tulokset.

Tunnistettavuus ja jäljitettävyys on määritetty standardissa yksityiskohtaisesti. Yksinkertaisuudessaan jäljitettävyydessä tarkastellaan, että hitsit kyetään tunnistamaan rakenteesta, hitsauslisäaineet tunnistetaan esim. kauppanimellä sekä sulatusnumerolla, perusaineen tunnistettavuus kuten tyyppi ja sulatusnumero ovat näkyvissä, NDT-tarkastajien tunnistettavuus on merkitty sekä tiettyjen hitsien jäljitettävyys käytettyyn hitsausohjeeseen on selvillä (SFS-EN ISO 3834-2, 2021, 7 – 13.)

Edellä mainitun standardin vaatimukseen kuuluu laatuasiakirjojen osalta seuraavia asiakirjoja ja todistuksia säilytettävän vähintään 5 vuotta

- vaatimusten ja teknisen katselmuksen pöytäkirjat
- materiaalitodistukset
- hitsausainetodistukset
- hitsausohjeet
- laitteiden huolto raportit
- hitsausmenetelmien hyväksymispöytäkirjat (WPQR)
- hitsaajien ja hitsausoperaattoreiden pätevyystodistukset
- tuotantosuunnitelma
- NDT-tarkastajien pätevyystodistukset
- lämpökäsittelyohjeet ja -todistukset
- rikkomattoman ja rikkovan aineenkoetuksen ohjeet ja pöytäkirjat
- mittauspöytäkirjat
- korjausten pöytäkirjat ja poikkeamaraportit

5 HITSAUSPROSESSIN VAIHTO

Toimeksiantaja on halunnut salata sisällön.

6 TARKASTELTAVAT HITSAUSKOHTEET

Toimeksiantaja on halunnut salata sisällön.

7 HITSAUSPROSESSIN VAIKUTUS TYÖAIKAAN

Toimeksiantaja on halunnut salata sisällön.

8 KUSTANNUKSET

Toimeksiantaja on halunnut salata sisällön.

9 LOPPUTULOKSET JA POHDINTA

Toimeksiantaja on halunnut salata sisällön.

Lopputuloksena todetaan hitsausprosessin muutoksen olevan mahdollinen konepajalle, sekä tuloksien valossa se olisi myös suositeltava toimenpide, erityisesti kustannuksien takia. Jatkotoimille opinäytetyöstä olisi seuraava vaihe siirtyä konkreettisesti umpilankahitsausprosessiin, ja laatia muutoksen jälkeiset toteutuneet hitsauksen työajat sekä niiden kustannukset. Myöhemmässä vaiheessa uuden hitsausprosessin vieminen mekanisointiin osittain tai kokonaan on vaihtoehtoinen, mutta kannattava jatkotoimenpide.

LÄHTEET

- SKM Stainless. 2020. Meistä. Verkojulkaisu. <https://www.skmstainless.fi/meista/>. Viitattu 5.8.2024
- Lukkari, J. 1997. Hitsaustekniikka: perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki: Opetushallitus.
- Kuusisto, T. 2014. Käytännön ohjeita MIG/MAG- hitsaukseen. Verkojulkaisu. https://www.linde-gas.fi/fi/images/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20FI_tcm634-122347. Viitattu 25.6.2024
- SFS-EN ISO 3834-2. 2021. Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. 2: Kattavat laatuvaatimukset. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.
- SFS-EN ISO 9606-1. 2017. Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. 1: Teräkset. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.
- SFS-EN ISO 15607. 2019. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Yleisohjeet. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.
- Industria Center. MIG/MAG-hitsaus. Esite. <https://webshop.industriacenter.fi/page/65/migmag-hitsaus>. Viitattu 12.8
- Kemppi n.d. Kemppi M 353, lisätietoja ominaisuuksista. Verkojulkaisu. https://userdoc.kemppi.com/om/mastermig-353-355/fi/content/topics/c_operation/funtions-features/1-mig-355.htm. Viitattu 11.8
- Kemppi n.d. MAX Speed. Esite. <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/max-speed/>. Viitattu 12.8
- Kemppi n.d. WiseRoot. Esite. <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/wiseroot/>. Viitattu 12.8
- Kemppi n.d. WiseFusion. <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/wisefusion/>. Viitattu 12.8
- Kemppi n.d. WiseThin. Esite. <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/wisethin/>. Viitattu 12.8
- Kemppi n.d. Weld Assist. Esite. https://userdoc.kemppi.com/om/x5-fastmig/fi/content/topics/c_operation/display-panel-ap-weldassist.htm. Viitattu 12.8
- SFS-EN ISO 5817. 2023. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.
- SFS-EN 1011-3. 2018. Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset. 3: Ruostumattomien terästen kaarihitsaus. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.
- SFS-EN 1011-1. 1998. Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset. 1: yleisohjeet kaarihitsaukselle. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.
- Industria center n.d. OK Autorod 316LSi. Esite. <https://webshop.industriacenter.fi/product/3150/haponkestava-hitsauslanka-ruostumattomille-teraksille-ok-autrod-316lsi-esab#tuotokuvaus>. Viitattu 14.10
- Industria Center n.d.OK Autorod 2209. Esite. <https://webshop.industriacenter.fi/product/3152/hitsauslanka-ok-autrod-2209-esab>. Viitattu 14.10
- Skarin, D. 2016. Spara pengar på inträngingen. Hitsaustekniikka. Verkkolehti 22 (2), 22-23. Viitattu 18.11.2024
- Lahti, K. n.d. Hitsaustekniikka. Verkkolehti 22 (1), 24-25. Viitattu 19.11.2024

- Taxell, P. & Kiilunen, M. & Johnsson, T. & Hyytinen, E. & Priha, E. 2011. Terästen hitsaussavun/huurun tavoitetasoperustelumuistio. Työterveyslaitos. Verkkojulkaisu. <https://www.ttl.fi/file-download/download/public/885>. Viitattu 28.12.2024
- Lukkari, J. 1997. MIG/MAG-hitsauksen toimintaperiaate. Valokuva. 2024. Kuopio: T. Miettisen kokoelmat.
- Lukkari, J. 1997. Taulukko lyhyt-, seka- ja kuumakaarialueiden parametreistä. Valokuva. 2024. Kuopio: T. Miettisen kokoelmat.
- Kemppi n.d. https://userdoc.kemppi.com/om/x5-fastmig/fi/content/topics/c_operation/display-panel-ap-weldassist.htm. Viitattu 12.8
- Miettinen, T. 2024. TIG-hitsausmenetelmällä hitsattu hitsisauma. Valokuva. Kuvauspäivä tuntematon. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Miettinen, T. 2024. Hitsisaumoihin jää jälkiä mekaanisesta puhdistuksesta. Valokuva. Kuvauspäivä tuntematon. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Skarin, D. n.d. Kuvaleike Hitsaustekniikka -verkkolehdestä 2/22. Viitattu 18.11.2024.
- Lahti, K. n.d. Kuvaleike Hitsaustekniikka -verkkolehdestä 1/22. Viitattu 19.11.2024.
- Kuusisto, T. 2014. Kuvaleike Linden verkkosivulta Käytännön ohjeita MIG/MAG -hitsaukseen. https://www.linde-gas.fi/fi/images/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20FI_tcm634-122347. Viitattu 25.6.2024
- Miettinen, T. 2024. Täytelankahitsauslisäaineiden varastointi tapahtuu erillisessä lämmitetyssä tilassa. Valokuva. Kuvauspäivä tuntematon. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Miettinen, T. 2024. Varastointialue lisäaineille, jotka eivät vaadi erityisiä lämpötiloja säilytykseen. Valokuva. Kuvauspäivä tuntematon. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Miettinen, T. 2024. Duplex täytelangalla hitsatun hitsisauman kuonat vaativat jälkikäsitteilyä. Valokuva. Kuvauspäivä tuntematon. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Miettinen, T. 2024. MAG-umpilankahitsausprosessilla saavutettiin visuaalisesti TIG-hitsausprosessilla hitsattua saumaa lähentelevä hitsisauma. Valokuva. Kuvauspäivä tuntematon. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Natunen, E. 2024. Käsinihitsattavia asentohitsauksia suoritetaan erityisesti kohteissa, missä valmistus on siirretty kokonaan asennustyökohteeseen. Valokuva. Kuvauspäivä tuntematon. Kuopio: E. Natunen kokoelmat.
- Miettinen, T. 2024. Tapauksen 1. hitsisauma. Kuvassa nähtävillä roiskeita sekä kuonaa. Valokuva. Kuvauspäivä tuntematon. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Miettinen, T. 2024. Tapauksen 2. hitsisaumaa. Valokuva. Kuvauspäivä tuntematon. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Miettinen, T. 2024. Tapauksen 3. hitsisaumaa, jota suoritettiin lattian tasalla. Valokuva. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Miettinen, T. 2024. Hitsissä nähtävissä jatkosvirhe. Valokuva. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Miettinen, T. 2025. Hapettunut juurenpuoli, jota ei ole suojattu juurikaasulla tai kuonalla. Valokuva. 19.2.2025. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat.
- Miettinen, T. 2025. Kuvassa nähtävissä juuren ero käytettäessä juuritukea. Valokuva. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat

Miettinen, T. 2025. Hapettunut juurenpuoli ylemmässä kuvassa, alemmassa suojautunut juuri on kirkkaampi ja selkeämpi. Valokuva. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat

Miettinen, T. 2024. Havainnekuva jälkikäsitellyn jäljistä ruiskupeittauksen jälkeen. Valokuva. Siilinjärvi: T. Miettisen kokoelmat

Miettinen, T. 2025. Kuvan yhteissä olisi mahdollista hyödyntää enemmän MAG-umpilankahitsausta. Valokuva. Leppävirta: T. Miettisen kokoelmat

LIITE 1: KUSTANNUSVERTAILU

Toimeksiantaja on halunnut salata sisällön.