

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan osasto

BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

TIG-HITSAUKSEN KÄYTTÖ MIKROSILLOITTAMISESSA  
USING TIG-WELDING IN MICROTACKING

Lappeenrannassa 24.4.2008

Antti Selonen

Katajakatu 8 A 1

53810 Lappeenranta

puh. 044 535 4379

# SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	1
1.1	TAUSTAA .....	1
1.2	TAVOITTEET JA RAJAUS .....	1
1.3	YRITYSESITTELYT .....	1
2	TIG-HITSAUS JA SEN SOVELLUKSET .....	2
2.1	MENETELMÄKUVAUS .....	2
2.1.1	KÄYTTÖKOHTEET .....	3
2.1.2	TIG-HITSAUKSEN EDUT JA HAITAT .....	4
2.2	MENETELMÄSOVELLUKSET .....	5
2.2.1	TIG-pulssihitsaus .....	5
2.2.2	TIG-kapearailohitsaus .....	6
2.2.3	TIG-kylmälanka- ja TIG-kuumalankahitsaus .....	7
2.2.4	A-TIG-hitsaus .....	8
2.3	LAITTEISTOT .....	9
2.3.1	Hitsausvirtalähde .....	9
2.3.2	Ohjauksyksikkö ja sytytyslaite .....	10
2.3.3	Hitsain .....	11
2.4	LIITOS- JA RAILOMUODOT .....	12
2.5	TUOTTAVUUS, TALOUDELLISUUS JA LAATU .....	14
3	SILLOITTAMINEN .....	15
3.1	SILLOITTAMISEN PERIAATE JA TARVE .....	15
3.2	SILLOITTAMISTEKNIIKAT .....	15
3.2.1	Puikkosilloittaminen .....	17
3.2.2	TIG-silloittaminen .....	17
4	KEMPPI OY: MICROTACKi -SILLOITUSTOIMINTO .....	19
4.1	SILLOITUSTOIMINNON KUVAUS .....	19
4.2	LAITTEISTO JA PARAMETRIT .....	19
5	TUTKIMUSSUUNNITELMA JA KOE OHJELMA .....	20
5.1	HITSATTAVA TUOTE .....	20
5.2	HITSAUKSEN SUORITUS .....	21
6	TULOKSET JA NIIDEN ANALYYSINTI .....	25
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	28
8	JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSIA .....	29
9	YHTEENVETO .....	30

LÄHDELUETTELO

# 1 JOHDANTO

## 1.1 TAUSTAA

Hitsauksen esivalmistelut vievät paljon aikaa suhteessa hitsaukseen. Hitsattavat kappaleet on kiinnitettävä toisiinsa ennen varsinaista hitsausta joko silloittamalla tai hitsauskiinnittimillä. Silloitus on oleellinen osa hitsattavan tuotteen valmistamista. Silloitus pitää suorittaa samoja laatukriteerejä noudattamalla kuin varsinainen hitsauskin. Hitsausvirheet siltahitseissä huonontavat yleensä varsinaisen hitsin laatua. Kemppi Oy on kehittänyt uuden mikrosilloitustoiminnon, joka helpottaa silloittamista ja vähentää siihen kuluva aikaa.

## 1.2 TAVOITTEET JA RAJAUS

Kandidaatin työn tarkoituksena oli kerätä tietoa TIG-hitsauksesta ja silloittamisesta sekä kokeellisesti selvittää Kemppi Oy:n kehittämän MicroTack-silloitustoiminnon käyttökohteita. Käyttökohteita selvitettiin erityisesti laadun ja tehokkuuden mittaamisen avulla. Aika- ja laatuvertailua suoritettiin MicroTackin ja perinteisen TIG-silloittamisen kesken.

## 1.3 YRITYSESITTELYT

Kandidaatin työn pääyhteistyökumppanina oli Kemppi Oy, jolle kandidaatin työ tehtiin. Kemppi Oy toimitti TIG-hitsauslaitteiston. Hitsauskokeet suoritettiin Hakaniemen Metall Oy:ssä.

Kemppi Oy on vuonna 1949 perustettu suomalainen perheyritys. Kemppi Oy:n tuotteita ovat hitsauslaitteet, automaattioratkaisut, hitsauspolttimet ja muut lisävarusteet kuten hitsauskypärät, kaukosäätimet ja kaapelit. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Lahdessa. Kemppi Oy:llä on tytäryhtiöitä 13 maassa, myyntikonttoreita ja jälleenmyyjä yli 70 maassa. Yrityksen liikevaihto on yli 120

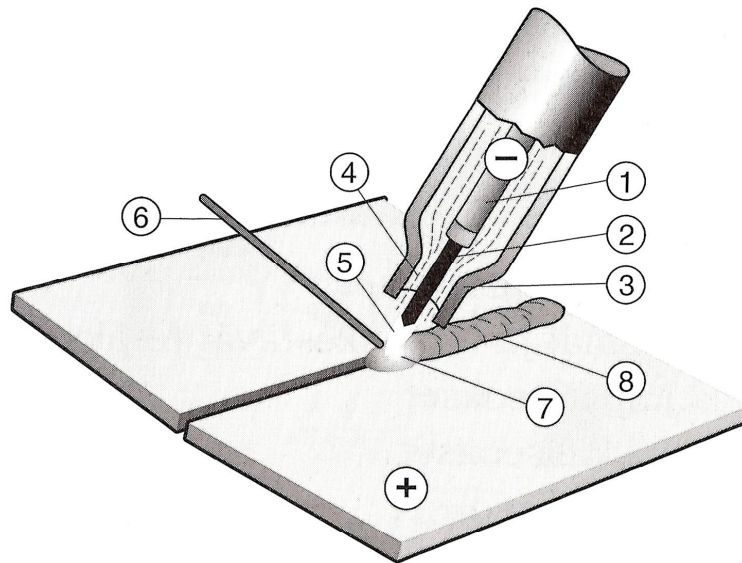
miljoonaa euroa. Kansainvälisen myynnin osuus on noin 90 %. Henkilöstöä yrityksellä on noin 700.

Hakaniemen Metalli Oy on vuonna 1949 perustettu yritys, joka käsittelee ja jatkojalostaa ruostumatonta terästä. Yritys suunnittelee, valmistaa ja toimittaa hygieenisii ja korroosion kestäviä laitteita ja järjestelmiä teollisuudelle. Hakaniemen Metalli Oy:n liikevaihto on noin 4 miljoonaa euroa. Yrityksellä on henkilöstöä noin 40.

## 2 TIG-HITSAUS JA SEN SOVELLUKSET

### 2.1 MENETELMÄKUVAUS

TIG-hitsaus (prosessinnumero 141) eli volframi-inerttikaasuhitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin ja työkappaleen välillä suojakaasun ympäröimänä (kuva 1). Valokaaren lämpö sulattaa perusainetta, johon muodostuu hitsisula. TIG-valokaarella voidaan myös lämmittää ja hitsata sulattamalla perusainetta ilman lisäainetta. Käsinhitsauksessa mahdollinen lisäaine tuodaan erikseen toisella kädellä hitsisulaan. Lisäaine on yleensä suora 1000 mm:n pituinen hitsauslanka. Hitsaustapahtumaa ja elektrodin kuumaa kärkeä suojaa ilman hapelta hitsaimen kaasusuuttimen kautta johdettu suojakaasu. Suojakaasuina käytetään argonia, argon-helium seoskaasua tai heliumia. TIG-hitsauksen tärkein periaatteellinen ero muihin kaarihitsausprosesseihin (paitsi plasmahitsaukseen) on sulamaton elektrodi. Muissa kaarihitsausprosesseissa lisäainelanka tai puikko toimii sulavana elektrodina. (Lepola & Makkonen 2006, s. 159; Lukkari 1997, s. 249)



- |                  |             |
|------------------|-------------|
| ① Kosketussuutin | ⑤ Valokaari |
| ② Elektrodi      | ⑥ Lisäaine  |
| ③ Kaasusuutin    | ⑦ Hitsisula |
| ④ Suojakaasu     | ⑧ Hitsi     |

Kuva 1. TIG-hitsauksen periaate (Lepola & Makkonen 2006, s. 159).

Hyvä sulan ja tunkeuman hallinta on tyypillistä TIG-hitsaukselle. Tämä johtuu siitä, että lämmönlähde eli valokaari ja lisäaineen tuonti ovat erillään toisistaan. Tämän ansiosta hitsausenergiaa ja lisäaineen syöttöä voidaan säätää erikseen. Lisäksi TIG-hitsauksessa hitsausvirta voi olla pienimmillään vain muutamia ampeereja. Nämä ominaisuudet tekevät usein TIG-hitsauksesta ylivoimaisen verrattuna muihin hitsausprosesseihin pohjapalkojen ja ohuiden aineenpaksuuksien hitsauksessa. Hitsausarvot voidaan helposti valita sellaisiksi, että pystytään hallitsemaan hitsisula ja läpihitsautuminen. (Lepola & Makkonen 2006, s. 159)

### 2.1.1 KÄYTTÖKOHTEET

TIG-hitsaus soveltuu melkein kaikkien metallien hitsaukseen. Prosessia voidaan käyttää seuraavien metallien hitsaukseen:

- alumiini ja alumiiniseokset
- ruostumattomat ja haponkestävät teräkset

- kupari ja kupariseokset
- nikkeli ja nikkeliseokset
- titaani ja titaaniseokset
- magnesium ja magnesiumseokset.

Sillä voidaan myös hitsata seostamattomia ja niukkaseosteisia teräksiä, sekä valurautaa. Suurin käyttökohde on ruostumattomien- ja haponkestävien terästen sekä alumiinien hitsaus. (Lepola & Makkonen 2006, s. 160)

Tärkeimmät käyttöalueet ovat vaativien, ohutseinäisten putkien ja putkistojen hitsaus, paksuseinäisten putkien pohjapalkojen hitsaus, pituushitsattujen putkien ja putkipalkkien valmistus sekä ohutlevyjen hitsaus. Menetelmää käytetään myös putkien päittäishitsauksessa ja putkien hitsauksessa putkilevyyn. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 357)

### 2.1.2 TIG-HITSAUKSEN EDUT JA HAITAT

TIG-hitsaus tarjoaa useita etuja laajalle alalle käyttökohteita, erittäin laadukkaista hitseistä normaaleihin korjaushitseihin (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 357; Lepola & Makkonen 2006, s. 160; Welding Handbook 2004, s. 105):

- soveltuu useiden metallien hitsaukseen
- soveltuu hitsaukseen kaikissa asennoissa
- hitsausarvojen säätö on helppoa
- lämmöntuonti hyvin säädettävissä
- sula ja tunkeuma ovat hyvin hallittavissa
- voidaan hitsata ilman lisäainetta
- hitsi on kuonaton ja roiskeeton
- voidaan hitsata ohuitakin aineita
- helppous ja kätevyys
- hitsaustapahtuma on hyvin nähtävissä
- hyvä lopputulos.

TIG-prosessilla on luonnollisesti hyvien puolien lisäksi myös haittoja ja ongelmia (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 357; Lepola & Makkonen 2006, s. 160; Welding Handbook 2004, s. 106):

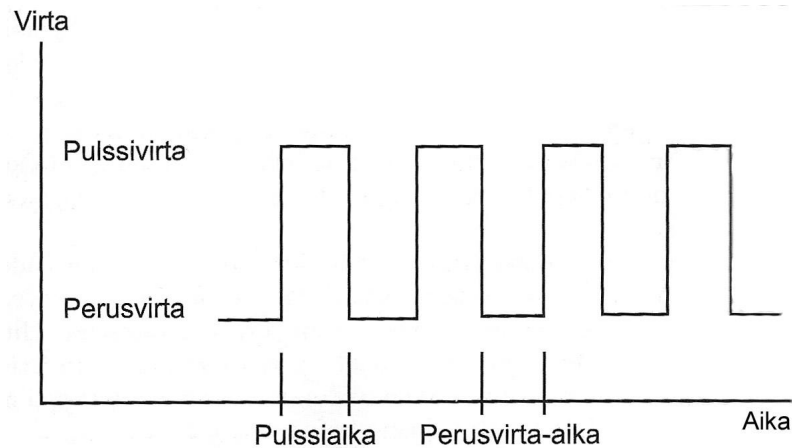
- tehoton isojen railojen täyttämässä
- herkkyys metallissa oleville epäpuhtauksille
- arkuus tuulelle ja vedolle
- juuren suojaustarve
- valokaaren puhallus tai taipuminen
- vaatii tarkkaa ja näppärää hitsaria.

## 2.2 MENETELMÄSOVELLUKSET

TIG-hitsauksesta on kehitetty useita menetelmäsovelluksia, kuten TIG-pulssihitsaus, TIG-kapearailohitsaus, TIG-kylmälanka- ja TIG-kuumalankahitsaus sekä A-TIG-hitsaus. Ruostumattomien putkien valmistuksessa on käytössä myös useita TIG-hitsaussovellutuksia, esimerkiksi TIG-hitsaus usealla elektrodilla ja erilaisia plasma- ja TIG-hitsauksen yhdistelmiä. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 355; Lukkari 1997, s. 262)

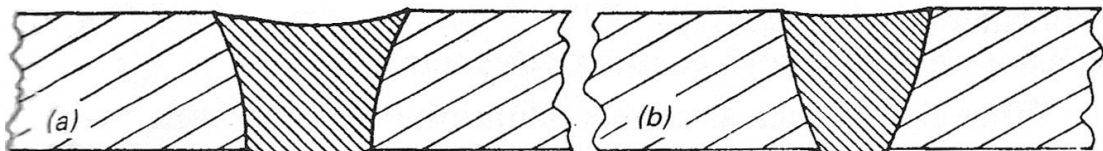
### 2.2.1 TIG-pulssihitsaus

TIG-pulssihitsauksessa hitsausvirta vaihtelee kahden virta-arvon välillä, perusvirran (taustavirta) ja pulssivirran (huippuvirta) välillä (kuva 2). Hitsisula ja tunkeuma muodostuvat pulssivirran aikana ja perusvirran aikana hitsisula jäähtyy ja osittain myös jähmettyy. Käsinhitsauksessa pulssitaajuus on normaalisti melko pieni, noin 1-10 Hz. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 352)



Kuva 2. Hitsausvirta vaihtelee taustavirran ja huippuvirran välillä (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 352).

Pulssihitsauksen avulla voidaan säännöstellä lämmöntuontia, tunkeumaa ja hitsisulan kokoa paremmin kuin jatkuvalla virralla. Pulssihitsauksella saavutetaan sama tunkeuma kuin jatkuvalla virralla, mutta lämpöä tarvitaan vähemmän (kuva 3). Pulssihitsausta käytetään erityisesti ruostumattomien terästen hitsauksessa. Käyttökohteita ovat muun muassa ohuiden aineiden hitsaus sekä ohuen ja paksun aineen hitsaus toisiinsa. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 352)



Kuva 3. TIG-pulssihitsauksen (b) tunkeuman muoto eroaa normaalien TIG-hitsauksen (a) tunkeumasta (Cornu 1988, s. 69).

### 2.2.2 TIG-kapearailohitsaus

Railomuoto kapearailohitsauksessa on U-railo. Railon leveys on materiaalin ja ainepaksuuden mukaan 6-10 mm. Tavanomaista hitsainta voidaan käyttää noin 20 mm:iin asti. Suuremmilla ainepaksuuksilla joudutaan käyttämään erikoisrakenteista hitsainta kärkiosineen, koska railo on niin kapea. Kapearailohitsauksessa käytetään aina lisäainetta, joka syötetään hitsisulaan langansyöttölaitteen avulla. Yleensä käytetään myös pulssitusta ja suojakaasuna

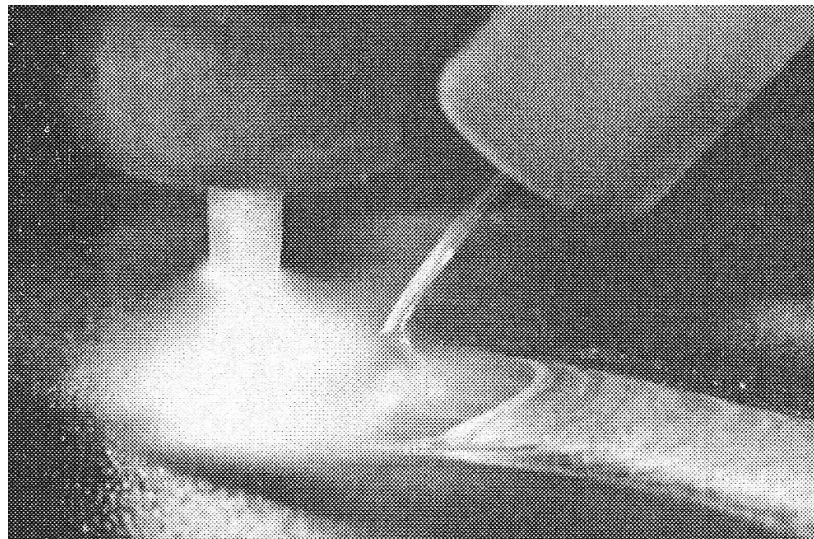


argon-helium seoskaasuja. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 354; Lukkari 1997, s. 262)

Kapearailohitsausta käytetään yleensä paksuseinäisten putkien ja lieriöiden päittäishitsauksessa. Kapearailohitsaus on hyvä vaihtoehto, kun hitsataan suuria aineenpaksuuksia. Etuina ovat esimerkiksi pieni railotilavuus, matala lämmöntuonti, edullinen jäännösjännitystila ja pienet muodonmuutokset. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 354; Lukkari 1997, s. 262)

### 2.2.3 TIG-kylmälanka- ja TIG-kuumalankahitsaus

TIG-hitsausta pidetään hitaana ja pienituottoisena prosessina, kun on kyse isojen raijien hitsauksesta. Mekanisoituun TIG-hitsaukseen voidaan yhdistää myös langansyöttölaite. Langan lämpötila kertoo, onko kyseessä kuuma- vai kylmälanka-TIG-hitsaus. Kuumalangan syöttö tehdään yleensä hitsisulan takareunaan valokaaren taakse (kuva 4), kun taas kylmälangan syöttö tapahtuu sulan etureunaan. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 353; Lukkari 1997, s. 262)



Kuva 4. Kuumalanka syötetään yleensä hitsisulan takareunaan (Cary & Helzer 2005, s. 76).

Kylmälankahitsauksessa langansyöttölaite syöttää lisäainelankaa yleensä hitsisulan etuosaan, johon se sulaa. Langanhalkaisija on yleensä 0,8-1,2 mm. Kylmä lisäainelanka jäädyttää sulaa aiheuttaen liitosvirhevaaran. Langansyöttöä on rajoitettava, koska syöttönopeudet ovat huomattavasti pienempiä kuin esimerkiksi MIG/MAG-hitsauksessa. TIG-kylmälankahitsausta käytetään lähinnä mekanisoidussa putkien hitsauksessa. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 353; Lukkari 1997, s. 262)

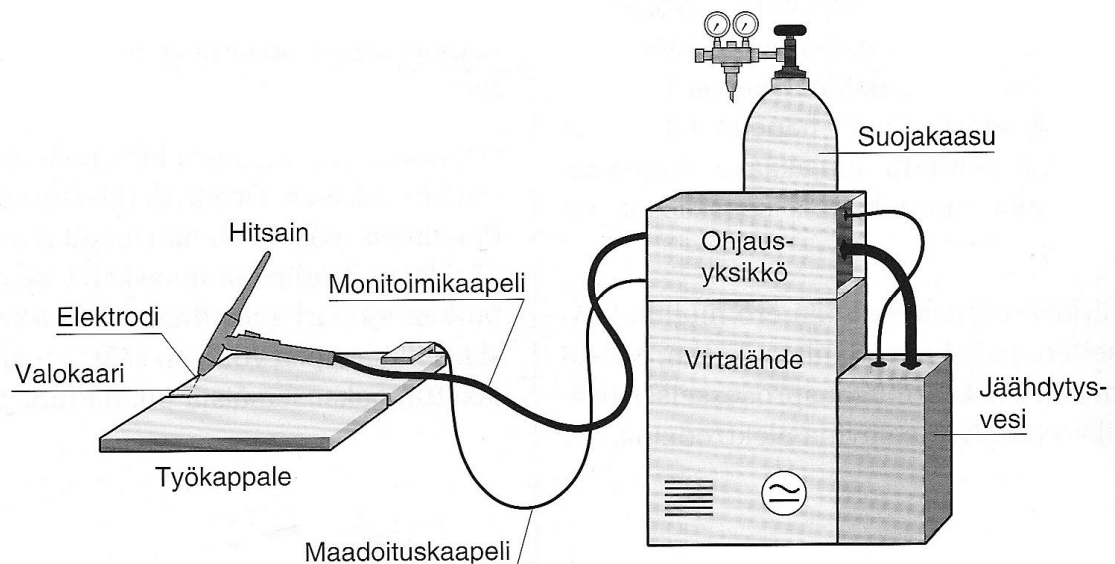
Langansyöttölaitteen syöttämä hitsauslanka voidaan myös kuumentaa erillisen virtalähteen avulla kuumaksi ennen hitsisulaa. Kuumeneminen tapahtuu vastuskuumene misena. Koska kuuma lanka ei jäähdytä sulaa, sitä voidaan syöttää suuremmalla langansyöttönopeudella kuin kylmälankaa. Hitsiaineentuotto on monikertaista kylmälangan käyttöön verrattuna. Tätä menetelmää käytetään eniten paksuseinämaisten putkien ja lieriöiden hitsaukseen. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 353; Lukkari 1997, s. 262)

#### 2.2.4 A-TIG-hitsaus

A-TIG-hitsauksessa hitsattavalla pinnalla käytetään aktiivista jauhetta, joka lisää TIG-hitsauksessa saavutettavaa tunkeumaa. Ennen hitsausta hitsauspinnalle levitetään joko pensselillä tai spraynä ohut kerros asetoniin sekoitettua jauhetta. Asetonin höyrystyessä pois, levyn pinnalle jää erittäin ohut kerros ainetta. Aine vaikuttaa valokaareen kuroen sitä kapeammaksi. Tällöin virtatiheys ja kaaripaine kasvavat. Tunkeuma kasvaa normaaliin TIG-hitsaukseen verrattuna 1,5. 2,5 - kertaiseksi ja mahdollistaa samalla suuremman hitsausnopeuden. A-TIG-hitsauksessa voidaan hitsata päittäisliitos I-railoon ilman ilmarakoa ja saada siihen jopa 10 mm:n tunkeuma. Menetelmällä saavutetaan hyvä tunkeuma myös huonon tunkeuman omaavassa teräksessä. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 354-355)

## 2.3 LAITTEISTOT

TIG-hitsauslaitteistoja on useanlaisia. Yleensä TIG-hitsauslaitteisto koostuu virtalähteestä, ohjauksyksiköstä sytytyslaitteineen, mahdollisesta jäähdytysvedenkierrolaitteesta, suojakaasulaitteistosta ja monitoimikaapelista hitsaimineen (kuva 5). Suurilla virroilla (yli 150-200 A) käytetään vesijäähdytteisiä hitsaimia. Ohjauksyksikkö voi olla kiinteäksi asennettuna virtalähteen yhteyteen tai ohjauksyksikkö voi olla irrallisena virtalähteestä ja siten erikseen liikuteltavissa. TIG-hitsausvirtalähde soveltuu usein myös puikkohitsaukseen. Virtalähteenä voi olla tasavirtalähde tai kaksoisvirtalähde, joka soveltuu sekä tasa- että vaihtovirtahitsaukseen. (Lepola & Makkonen 2006, s. 160; Lukkari 1997, s. 258)

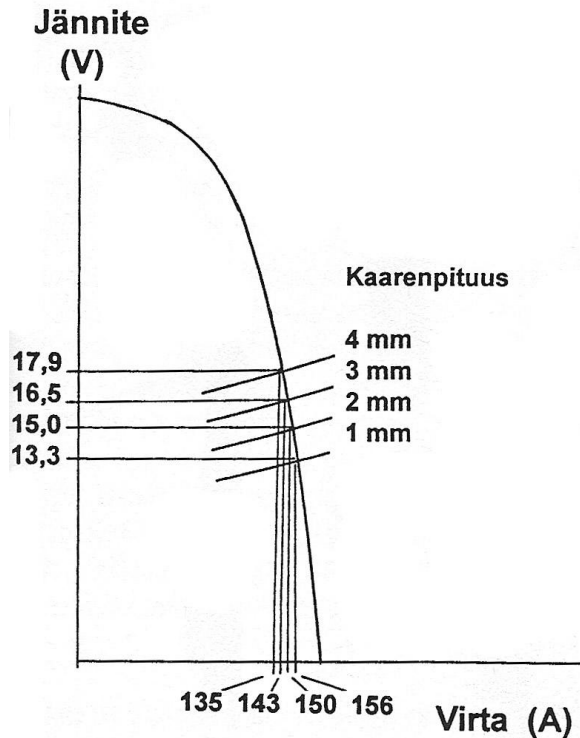


Kuva 5. TIG-hitsauslaitteisto (Lepola & Makkonen 2006, s. 160).

### 2.3.1 Hitsausvirtalähde

TIG-hitsauksen virtalähde voi olla joko tasavirta-, vaihtovirta- tai kaksoisvirtalähde. Kaksoisvirtalähteestä voidaan kytkintä kääntämällä valita käytetäänkö vaihtovirtaa vai tasavirtaa. Kaksoisvirtalähde on kätevä, jos hitsataan alumiinia ja teräksiä, sillä alumiini vaatii vaihtovirtaa ja teräkset tasavirtaa. Virtalähde on samanlainen kuin puikkohitsausvirtalähde ja sen ominaiskäyrä on jyrkästi laskeva. Käsinhitsauksessa kaarenpituus vaihtelee helposti johtuen elektrodin ja

työkappaleen etäisyyden vaihtelusta. Jyrkästi laskeva ominaiskäyrä pyrkii estämään kaarenpituuden vaihtelusta johtuvat voimakkaat vaihtelut hitsausvirrassa, koska ne haittaavat hitsausta (kuva 6). (Lukkari 1997, s. 259)

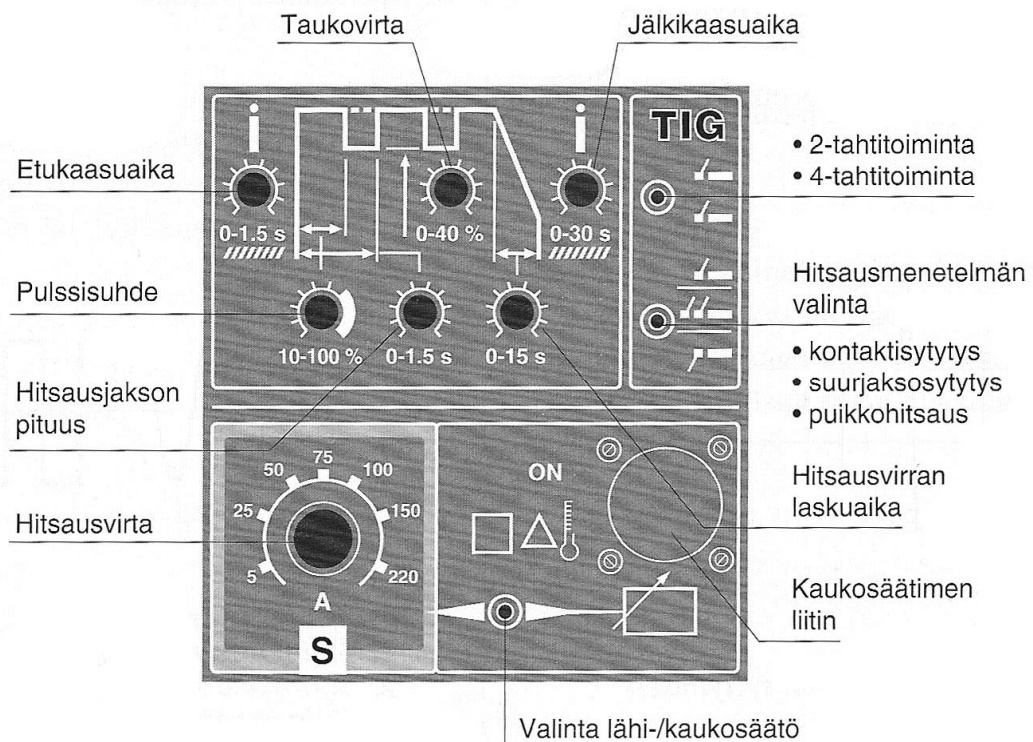


Kuva 6. Kaarenpituuden vaihteluiden aiheuttamia muutoksia hitsausvirrassa pystytään rajoittamaan jyrkästi laskevan ominaiskäyrän avulla (Lukkari 1997, s. 259).

### 2.3.2 Ohjausyksikkö ja sytytyslaite

Ohjausyksikön tarkoituksena on nimensä mukaan virtalähteen ohjaaminen, valokaaren sytyttäminen, suojakaasun virtauksen ohjaaminen ja jäähdytysjärjestelmän valvonta. Ohjausyksikössä on myös säätimet aloitus- ja lopetusvirroille, suojakaasun etu- ja jälkivirtausajoille sekä tauko- ja pulssitoiminnoille (kuva 7). Ohjausyksikköön liitetään virtalähteestä tulevat virtakaapelit, maattokaapeli, hitsaimen monitoimikaapeli, suojakaasuletku, mahdolliset jäähdytysvesiletkut ja kaukosäädin. Hitsauksen ohjaus tapahtuu hitsaimessa olevalla liipaisimella. Hitsausvirtaa ja suojakaasun virtausta säädetään ohjausyksiköllä. Ohjausyksikköön kuuluu myös sytytyslaite valokaaren

sytyttämiseen. Valokaari voidaan sytyttää TIG-hitsauksessa kolmella eri tavalla: raapaisu-, kontakti- tai kipinäsytytyksellä. TIG-hitsauslaitteissa on nykypäivänä kytkimet, joilla voidaan valita haluttu sytytystapa. Raapaisu- sytytyksessä valokaari sytytetään koskettamalla jännitteiselle elektrodin kärjellä työkappaletta. Kontaktisytytyksessä työkappaletta kosketetaan virrattomalla elektrodilla ja painetaan hitsaimen liipaisinta. Kipinäsytytyksessä valokaari sytytetään suurjännitekipinällä pitämällä elektrodia muutaman millimetrin etäisyydellä työkappaleesta. (Lepola & Makkonen 2006, s. 163)



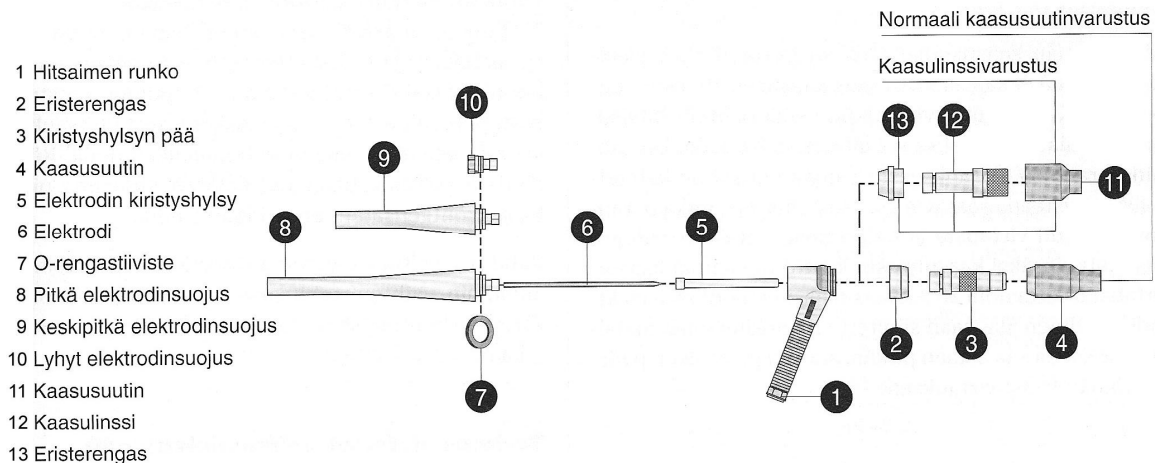
Kuva 7. Ohjausyksikön toimintapaneeli (Lepola & Makkonen 2006, s. 163).

### 2.3.3 Hitsain

Hitsain toimii elektrodin pitimenä (kuva 8). Hitsain johtaa virtaa elektrodiin ja ohjaa suoja kaasun virtauksen valokaaren ja hitsisulan alueelle suojaten elektrodia ja hitsisulaa. Hitsaimia on monenlaisia ulkomuodoltaan ja kooltaan. Päätyyppejä hitsaimissa on kaksi:

- kaasujäähdytteiset
- vesijäähdytteiset.

Kaasujäähdytteiset hitsaimet kestävät virtaa noin 150 . 200 A. Suojakaasu ja osittain myös ympäröivä ilma huolehtivat hitsaimen jäähdytyksestä. Suuremmat virrat edellyttävät vesijäähdytteisen hitsaimen käyttöä. Vesijäähdytyksen pääasiallinen tarkoitus on lämmön siirtäminen pois hitsaimesta. Hitsaimen tuleva jäähdytysvesi kiertää rungon vesikanavassa ja virtakaapelia ympäröivässä letkussa. (Lepola & Makkonen 2006, s. 167)



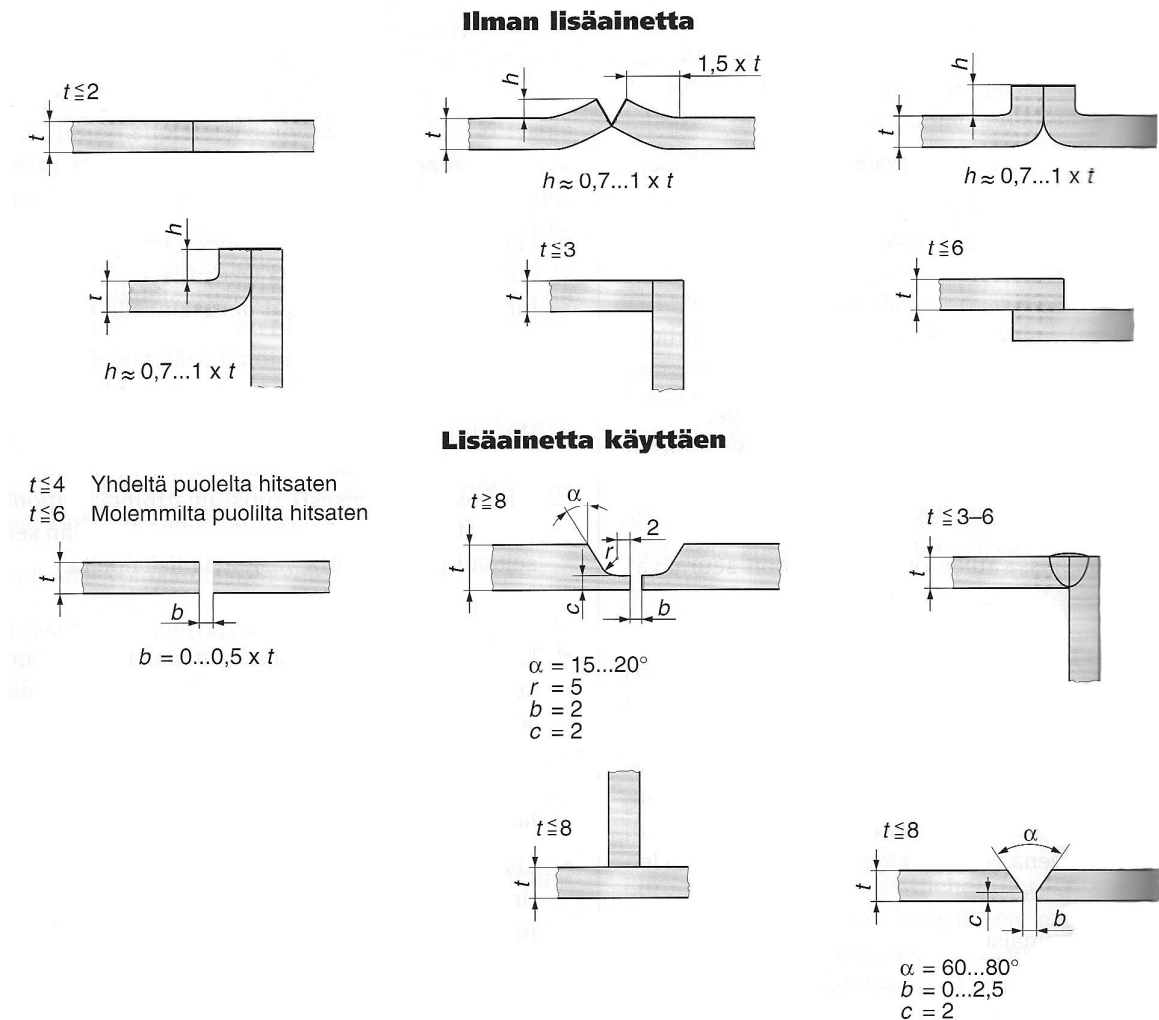
Kuva 8. TIG-hitsaimen osat (Lepola & Makkonen 2006, s. 167).

## 2.4 LIITOS- JA RAILOMUODOT

Hitsausrailojen valinta ja valmistus ovat oleellinen osa hitsausliitosten tekemisessä ja hitsatun rakenteen valmistuksessa. Railonvalinta on myös tärkeä tekijä hitsien laadun varmistuksessa ja railomuodolla voidaan vaikuttaa oleellisesti hitsauskustannuksiin. Railomuodolla on suora vaikutus hitsiaineen ja myös hitsaustyön määrään. Railomuotoon vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa hitsausprosessi ja aineenpaksuus. (Kyröläinen & Lukkari 1999, s. 254)

TIG-hitsauksessa voidaan käyttää samoja railomuotoja kuin muissakin hitsausprosesseissa (kuva 9). Perusaine ja TIG-hitsauksen suoritustekniikka on otettava huomioon valittaessa liitos- ja railomuotoja. TIG-prosessia käytetään yleensä alumiinin ja ruostumattomien terästen hitsaukseen. Koska näiden aineiden lämpölaajenemiskertoimet ovat kovin suuret, on liitos muotoiltava siten, ettei lämpölaajeneminen vaikeuta hitsausta eikä vahingoita hitsattavaa kappaletta.

Liitos- ja railomuotoa valittaessa on otettava huomioon se, että TIG-prosessilla voidaan hitsata ilman lisäainetta tai lisäainetta käyttäen. (Lepola & Makkonen 2006, s. 177)



Kuva 9. Ruostumattomien terästen TIG-hitsauksessa käytettäviä railomuotoja (Lepola & Makkonen 2006, s. 176).

TIG-hitsauksessa käytettävien railomuotojen valintaan ja mitoitukseen vaikuttavat useat tekijät (Vestama 1980, s. 46):

- perusaineen laatu ja paksuus
- hitsaus lisäaineella tai ilman
- asentohitsausvaatimukset
- yhdistelmähitsaus
- hitsauksen samanlaisen suoritus railon molemmilla puolilla

- hitsauksen mekani sointi/robotisointi
- juurituen tai juurikaasun käyttö.

Ohuita aineenpaksuuksia voidaan hitsata lisääineettomasti I-railoon ilman ilmarakoa. Viistettyä railoa tarvitaan aineenpaksuuden kasvaessa. Tavallisesti käytetään viistetyistä railomuodoista V-railoa. Railokulman tulee olla hiukan normaalia suurempi. U-railo on suositeltavin railomuoto, jos pohjapalkko hitsataan ilman lisäainetta. Railomuotosuosituksista on myös olemassa standardi SFS-EN 29692; Puiikko ja kaasukaarihitsaus. (Lepola & Makkonen 2006, s. 177)

## 2.5 TUOTTAVUUS, TALOUDELLISUUS JA LAATU

Hitsauksessa tuottavuus tarkoittaa sitä, että kuinka paljon aikaansaadaan valmista hitsiä tai hitsausliitosta käytetyillä työ-, materiaali-, laite ym. panoksilla. Tuottavuus voi olla esimerkiksi hitsimetriä tai hitsattuja kappaleita tietyssä ajassa, esimerkiksi yhdessä työvuorossa. Tuottavuuden vertailu on usein hankalaa muihin tuotteisiin tai yrityksiin. Tuottavuudesta käytetään myös synonyymiä tehokkuus. (Martikainen 2006, s. 12)

Yleensä tuottavuuteen vaikuttavat tehokkaasti esimerkiksi töiden järjestely ja hitsauksen mekanisointi/robotisointi. Vertailuissa on muistettava tällöin ottaa huomioon myös valmistelutyöt, esimerkiksi silloitukset. Yleisiä tuottavuuden tunnuslukuja ovat sulatusteho ja kaariaika suhde. Sulatusteho tarkoittaa hitsiaineentuottoa eli sulatetun lisäaineen määrää tietyssä aikayksikössä, tavallisesti kg/h. Sulatustehoa tarkkailemalla voidaan selvittää esimerkiksi ovatko hitsausparametrit valittu oikein ja onko käytössä oikeanlainen lisäaine. Kaariaikasuhde (%) tarkoittaa kaariaikaa suhteutettuna hitsaustyön kokonaisaikaan. Näitä molempia tuottavuuden mittareita on osattava tulkita oikein ja suhteuttaa luvut kokonaisuuteen, jotta ei tulla johdetuksi harhaan. (Martikainen 2006, s. 12)

Taloudellisuuteen liittyy tiiviisti ulkoiset markkinat. On otettava huomioon esimerkiksi työn ja materiaalien hinta sekä koneiden ja laitteiden hankinta- ja



takaisinmaksukustannukset. Käytännössä tarkastellaan kuinka paljon esimerkiksi yhden hitsimetrin hitsaaminen maksaa eri vaihtoehdoilla. Tuottavuuden ja taloudellisuuden tutkimisessa ei ole tärkeää tunnuslukujen määrä, vaan se että on käytössä sellaiset tunnusluvut, jotka kuvaavat mahdollisimman tarkasti yrityksen kokonaistoimintaa ja joihin yritys itse voi vaikuttaa parantaessaan kokonaistuottavuutta- ja kannattavuutta. (Martikainen 2006, s. 12)

Laatu on kuuma puheenaihe hitsaavassa teollisuudessa. Laadun tulee olla jokapäiväinen käytännön kilpailutekijä. Käytännössä laadulla tarkoitetaan, että:

- tehdään hyviä asioita hyvin
- on yhdessä mielletty ja sovittu järkevä tapa toimia
- sovitut asiat kirjataan muistiin ja kirjaukset ovat kaikkien tiedossa ja saatavilla
- virheistä opitaan. (Martikainen 2006, s. 21)

### 3 SILLOITTAMINEN

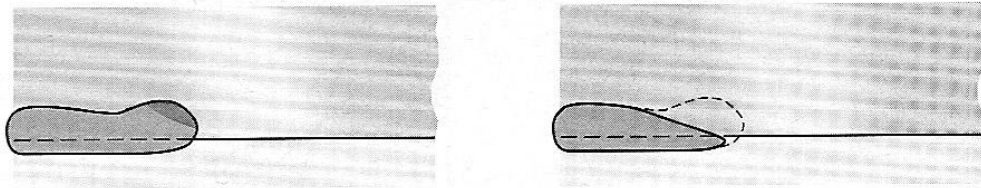
#### 3.1 SILLOITTAMISEN PERIAATE JA TARVE

Hitsattavat kappaleet on kiinnitettävä paikoilleen hitsausta varten joko kiinnittimellä tai siltahitseillä. Silloitushitsauksen tarkoituksena on liittää hitsattavat kappaleet yhteen lyhyillä siltahitseillä varsinaista hitsausta varten. Siltahitsit pitävät kappaleet keskenään oikeassa asennossa kunnes varsinainen hitsaus on suoritettu. Siltahitsien on kestettävä hitsauksessa syntyvät jännitykset, joten silloitushitsaus on suoritettava huolellisesti. Siltahitseillä on samat laatuvaatimukset kuin varsinaisella hitsilläkin. (Lepola & Makkonen 2006, s. 93; Lukkari 1997, s. 265)

#### 3.2 SILLOITTAMISTEKNIIKAT

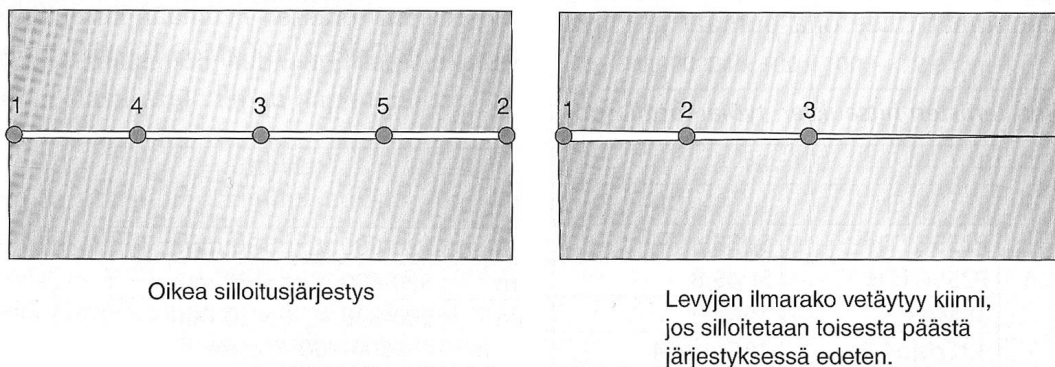
Ohuilla aineenpaksuuksilla käytetään tavallisesti pieniä ja riittävän tiheään hitsattuja siltahitsejä, jotka sulatetaan uudelleen varsinaisessa hitsauksessa.

Uudelleensulattaminen ei yleensä tuota minkäänlaisia ongelmia. Suuremmilla aineenvahvuuksilla tarvitaan kestävämpi silloitus kuin ohuemilla aineilla, koska paksun aineen hitsaukseen tarvitaan enemmän lämpöä, mikä aiheuttaa enemmän jännityksiä rakenteeseen. Siltahitsit hitsataan vahvoiksi ja ne jätetään osaksi pohjapalkoa. Siltahitsien päiden on oltava riittävän ohuet, jotta niiden ja pohjapalon yhtymiskohdat saadaan virheetömiksi (kuva 10). Siltahitsin päät ohennetaan hiomalla. (Lepola & Makkonen 2006, s. 93; Lukkari 1997, s. 265)



Kuva 10. Siltahitsin päät ohentaminen (Lepola & Makkonen 2006, s. 93).

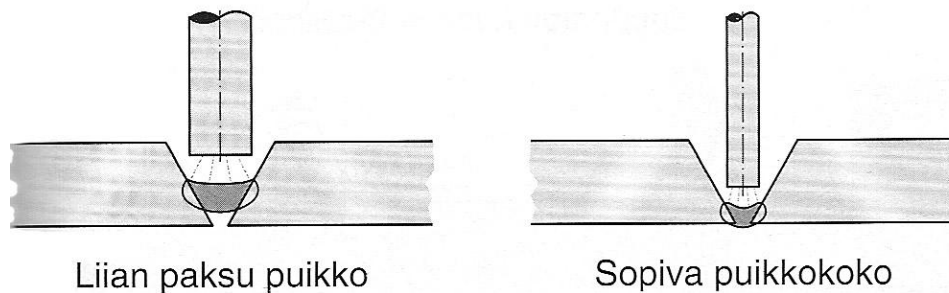
Silloituksia hitsattaessa tulee huomioida materiaalien lämpölaajenemiskerroin. Esimerkiksi ruostumattoman teräksen lämpölaajenemiskerroin on noin 1,5-kertainen verrattuna rakenneteräkseen. Ilmarakoa asetettaessa silloituksen yhteydessä tulee huomioida tämä seikka ja ennakoida suuri kutistuminen siltahitsien jäähtyessä. Silloitus aloitetaan työkappaleiden päädyistä, jonka jälkeen edetään kuvan 11 mukaisessa järjestyksessä. Jos silloitus suoritetaan aloittaen toisesta päädyistä ja lopettaen toiseen päätyyn niin ilmarako on kutistunut kiinni. Paikallisten kutistumien ja hitsausjännitysten tasoittamiseksi levyjen siltahitsejä voidaan vasaroida. Samalla saadaan tarkennettua myös kohdakkaisuutta. (Lepola & Makkonen 2006, s. 199)



Kuva 11. Silloitusjärjestys (Lepola & Makkonen 2006, s. 199).

### 3.2.1 Puikkosilloittaminen

Siltahitsien täytyy olla tarpeeksi suuria, jotta ne kestävät niille kohdistuvat rasitukset. Puikon koko pitää olla sopiva, jotta voidaan hitsata lyhyellä valokaarella ja riittäväällä hitsausvirralla (kuva 12). Siltahitsin lopetus tulee tehdä asianmukaisesti, ettei sillan lopetuspäähän jää lopetuskraateria tai halkeamaa. Oikealla lopetustekniikalla pystyy välttämään nämä virheet. Pienen pysähtymisajan jälkeen kaari sammutetaan hitsin päälle. (Lepola & Makkonen 2006, s. 92)



Kuva 12. Hitsauspuikon koko silloituksessa (Lepola & Makkonen 2006, s. 93).

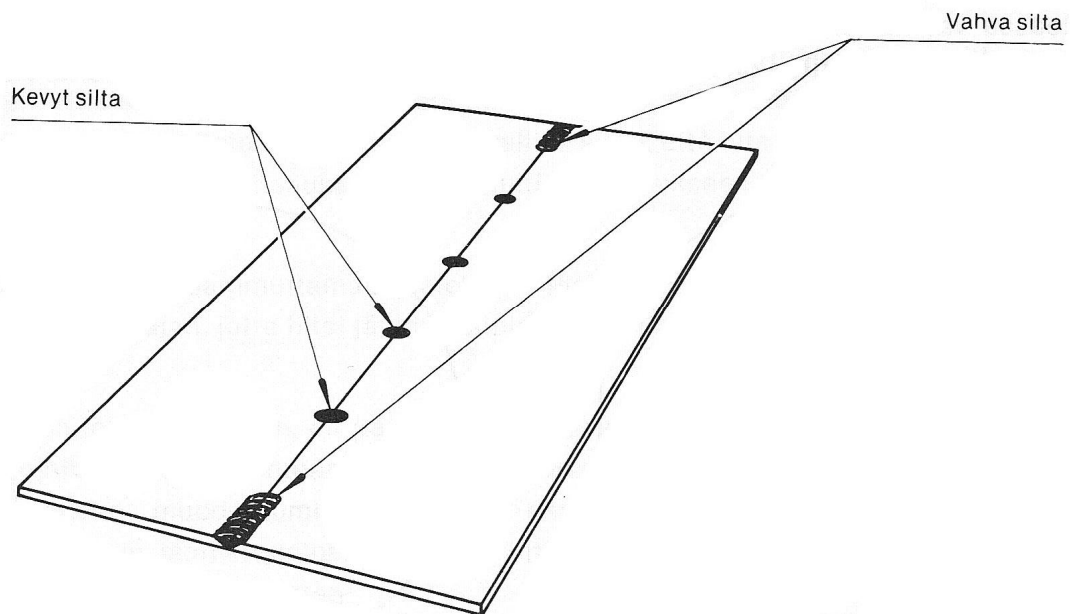
Silloituksessa on olemassa karmenemisvaara, koska paksu perusaine jäädyttää siltahitsin nopeasti. Karmenemishalkeaman syntyminen silloitushitsauksessa estetään käyttämällä tavallisesti emäspäällysteisiä hitsauspuikkoja. (Lepola & Makkonen 2006, s. 93)

Silloituksia ei saa hitsata rakenteen nurkka- eikä risteyskohtiin, vaan 20 . 200 mm:n päähän niistä. Siltahitsin pituus on 5 . 50 mm riippuen aineenpaksuudesta, syntyvistä hitsausjännityksistä ja railomuodosta. Siltahitsien väli on noin 20 . 35 kertaa aineenpaksuus, riippuen railomuodosta ja aineenpaksuudesta. (Lepola & Makkonen 2006, s. 93)

### 3.2.2 TIG-silloittaminen

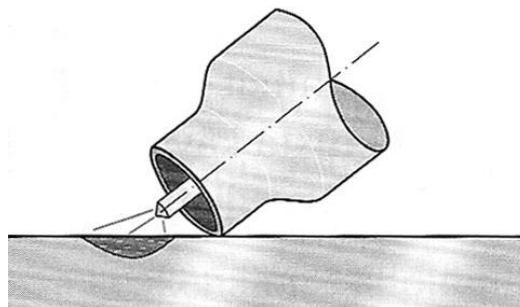
Siltahitsit (kuva 13) ovat lyhyitä pistemäisiä lisäaineella tai ilman hitsattuja hitsejä. Niitä ei tarvitse yleensä avata tai poistaa, vaan ne sulatetaan valokaarella

uudelleen niiden ylihitsauksen aikana. Levyjen päihin hitsataan vahvemmat sillat ja välisuudelle vain kevyet pistehitsit. Ohutlevyrakenteissa siltahitsit hitsataan tavallisesti noin 25 . 30 mm välein. (Vestama 1980, s. 55)



Kuva 13. Siltahitsejä (Vestama 1980, s. 55)

Kevyt pistemäinen siltahitsi hitsataan yksinkertaisemmin nojaamalla kevyesti hitsaimen kaasusuuttimella työkappaleen pintaan rillon kohdalla (kuva 14). Hitsain pidetään sopivasti kallistettuna siten, ettei elektrodi kosketa työkappaleen pintaa. Hitsisulan muodostuttua kaari sammutetaan, mutta hitsain nostetaan pois vasta siltahitsin jäähtyttyä tarpeeksi suojakaasun jälkivirtauksen pituisen ajan. (Vestama 1980, s. 55)



Kuva 14. Siltahitsin hitsaaminen (Lepola & Makkonen 2006, s. 183).

Hitsauskiinnittimiä käytettäessä silloitus ei välttämättä ole tarpeellinen tai silloitus tehdään apupaloilla, jotka sijoitetaan levyn päihin. V-railoin silloituksessa juuren puoli säilyy ehjänä, jos silloitus suoritetaan apupaloilla, jotka poistetaan hitsauksen edetessä. Putkihitsauksessa siltahitsit tavallisesti sulatetaan uudelleen hidastettua kuljetusta käyttäen tai muuten siltahitsit on hiottava pois työn edistyessä. (Lepola & Makkonen 2006, s. 183)

## 4 KEMPPI OY: MICROTACKi -SILLOITUSTOIMINTO

### 4.1 SILLOITUSTOIMINNON KUVAUS

MikroTack-silloitustoiminto muistuttaa pääperiaatteiltaan pistehitsausta. MicroTack antaa hyvin korkean virtapulssin, joka sulattaa materiaalit toisiinsa kiinni. Silloitustoiminnolle on ominaista pieni lämmöntuonti ja laadukas hitsi. Vähäinen lämmöntuonti perustuu erittäin lyhyeen pisteaikaan, jolloin lämpöä ei ehdi syntyä yhtä runsaasti kuin normaalissa pistehitsauksessa. MicroTackissa piste aika on suuruusluokkaa muutamia kymmeniä millisekunteja ja pistehitsauksessa puhutaan muutamasta sekunnista. Toimintoa käytetään enimmäkseen ruostumattoman teräksen silloitukseen.

Silloitus tapahtuu samalla tavalla kuin normaali TIG-hitsaus/pistehitsaus. Hitsain asetetaan oikealle kohdalle työkappaleeseen ja painetaan liipaisinta. Siltahitsi on valmis yhdellä painalluksella. MicroTack-silloitustoiminto on helppokäyttöinen ja erityisen nopea.

### 4.2 LAITTEISTO JA PARAMETRIT

Kemppi Oy:n kehittämä MicroTack-silloitustoiminto esiteltiin ensimmäistä kertaa MasterTig MLSi 3000/3003 ACDC . hitsauslaitteissa (kuva 15). Hitsauskokeet suoritettiin MasterTig MLSi 3003 ACDC . hitsauskoneella, johon oli yhdistetty Mastercool 30 jäähdytyslaite. Silloitustoiminnossa hitsausvirtaa on mahdollista

säätää 3 . 300 A:n välillä ja pisteaikaa 1 . 200 ms:n välillä. Hitsausvirran nousu- ja laskuajat asettuvat nolliksi, kun MicroTack-toiminto on valittuna. Kaasun esi- ja jälkivirtausta voidaan myös säätää normaalin TIG-hitsauksen tapaan. MicroTack-toimintoa on mahdollista käyttää kontaktisytyksellä ja kipinäsytytyksellä.



Kuva 15. MasterTig MLSi 3003 ACDC .hitsauslaite ja Mastercool 30 jäähdytyslaite.

## 5 TUTKIMUSSUUNNITELMA JA KOEOHJELMA

### 5.1 HITSATTAVA TUOTE

Hitsauskokeet suoritettiin astianpalautuslinjan altaaseen (kuva 16). Altaan materiaalina oli ruostumaton AISI 304 teräslevy hiotulla pinnalla, jonka vahvuus oli 1,5 mm. Allas koostui kahdesta runko-osasta, kahdesta päädyistä ja 3 mm paksuisesta U-laipasta, joka liitettiin toiseen päädyn. U-laipan ja päädyn liitoksessa tutkittiin eripaksuisten materiaalien silloittamista.



Kuva 16. Astianpalautuslinjan allas.

Astianpalautuslinjan allas silloitettiin ensin perinteisellä tavalla TIG-hitsauksena ja sitten toinen allas silloitettiin MicroTack-toiminnolla. Kaikkia liitoksia ei voitu silloittaa MicroTackilla. Silloituksista kirjattiin ylös hitsausajat, liitospituudet ja -muodot.

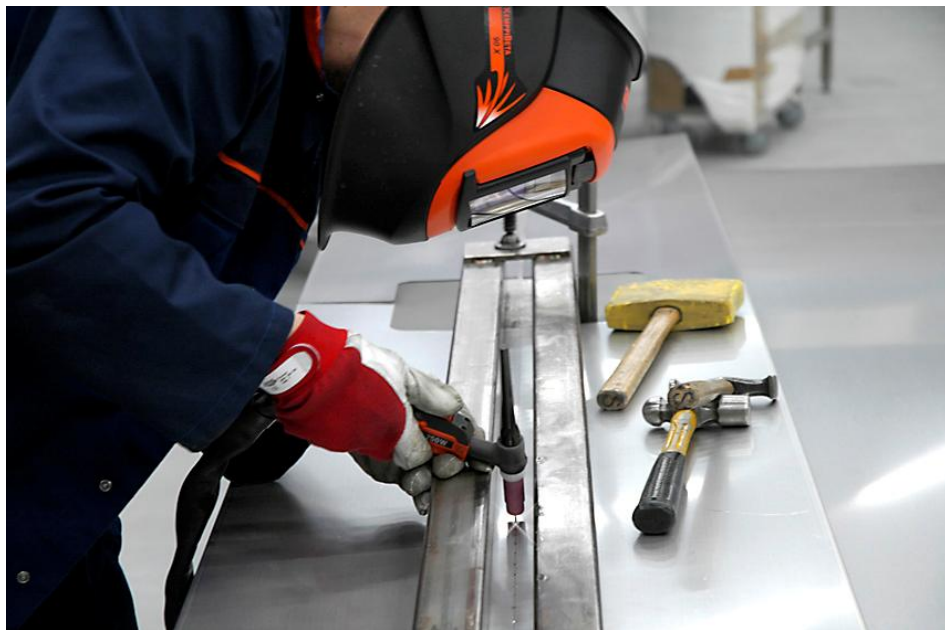
## 5.2 HITSUKSEN SUORITUS

Hitsauskokeissa käytetyt hitsausparametrit silloituksessa ovat esitettyinä taulukossa 1. Silloituksessa ja hitsauksessa käytettiin suojakaasuna puhdasta argonia, jonka virtaus oli 8 l/min. MicroTackissa oli valittuna kipinäsytytys. Elektrodina käytettiin 2,4 mm paksuista toriumseosteista volframielektrodia. MicroTackilla silloitettaessa käytettiin hieman tylpempää elektrodia kuin perinteisessä silloituksessa ja hitsauksessa, koska MicroTackilla käytettiin huomattavasti suurempaa virtaa. Terävällä elektrodilla lämpö olisi ohjautunut pienemmälle alueelle aiheuttaen läpi palamisen vaaran. Hitsauskokeissa ei käytetty apuna mekani sointilaitteita.

Taulukko 1. Hitsauskokeissa käytetyt hitsausparametrit silloituksessa.

Virta: (ko. liitos)	Perinteinen silloitus	MicroTack
- runko, 1160 ja 1200 mm	83 A	300 A
- runko, 130 mm	58 A	-
- päätyjen nurkat	50 A	-
- päädyt	43 A	300 A
- laippa	60 A	300 A
Piste aika	-	25 ms, 50 ms (laippa)

Altaan kokoaminen aloitettiin runko-osien silloittamisella ja hitsaamisella toisiinsa. Rungon pisimmät päittäisliitokset silloitettiin ja hitsattiin altaan ulkopuolelta hitsauskiinnittimen ja alumiinisen juurituen avulla (kuva 17). Hitsauskiinnittimellä varmistettiin levyjen paikoitus toisiinsa nähden silloituksen aikana. Hitsattaessa lämpö johtui levyistä pois alumiinisen juurituen avulla. Rungon kaksi pisintä päittäisliitosta olivat 1160 mm ja 1200 mm pitkiä. Siltahitsien etäisyys toisistaan oli noin 30 mm.

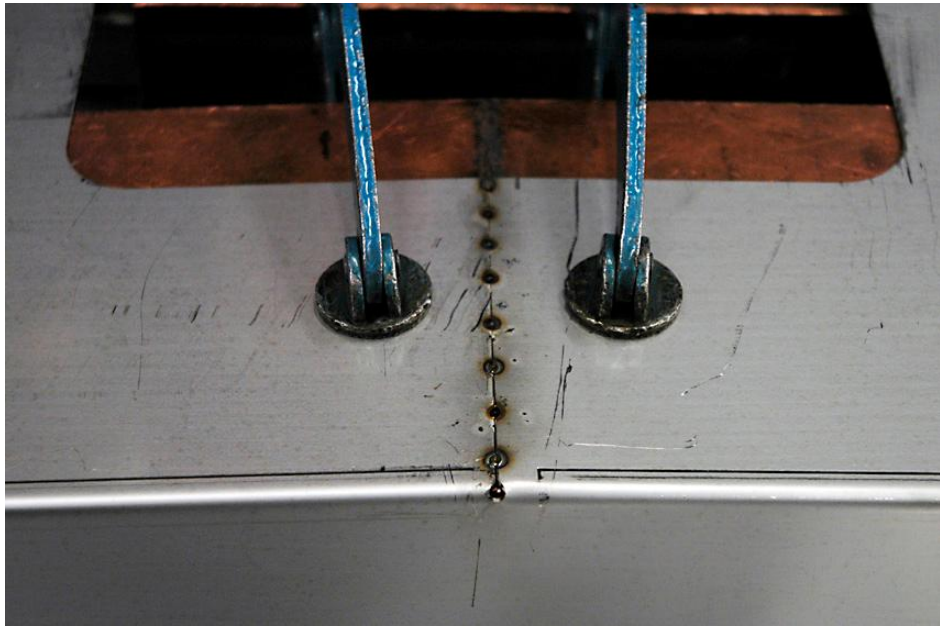


Kuva 17. Rungon silloittamista MicroTackilla.

Altaan kokoamista jatkettiin kahden lyhyemmän liitoksen (130 mm päittäisliitos) silloittamisella ja hitsaamisella edelleen ulkopuolelta (kuva 18). Levyt puristettiin lukkopihdeillä juuritukena käytettyä kuparilevyä vasten. Liitosten suurista

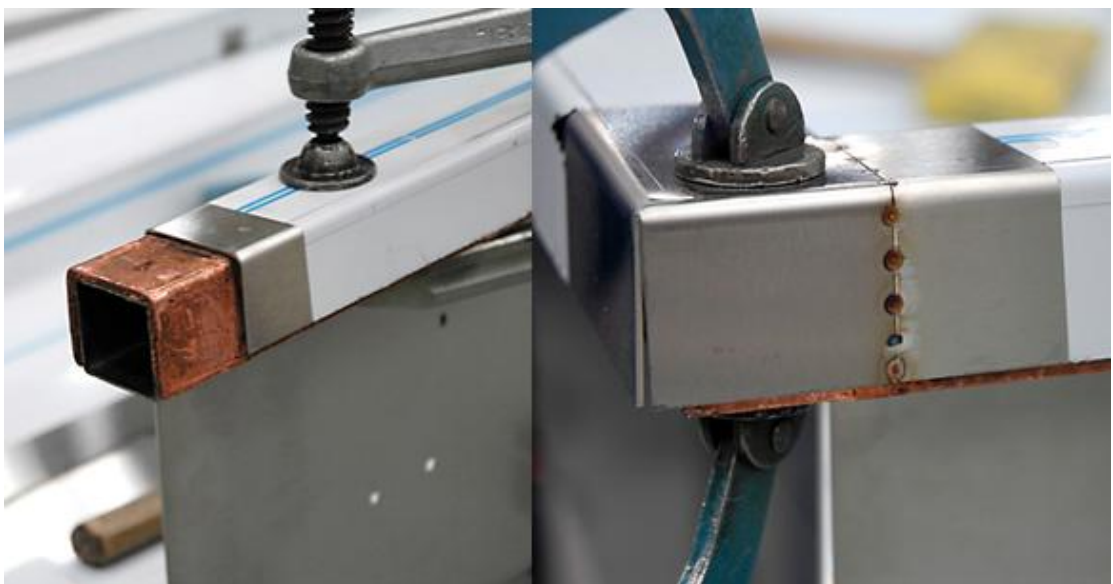


ilmaraoista johtuen niitä ei silloitettu MicroTackilla. Hitsaus suoritettiin lisäainelankaa käyttämällä.



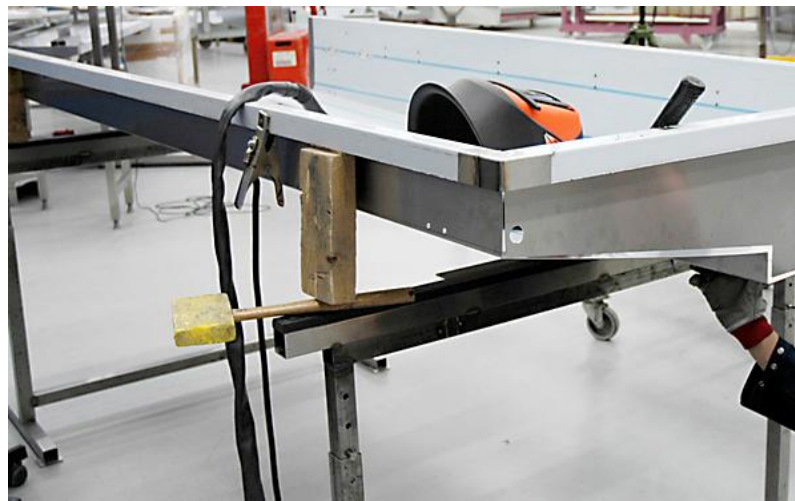
Kuva 18. Rungon silloitus perinteiseen tapaan TIG:llä.

Rungon silloituksen ja hitsauksen jälkeen kokoamista jatkettiin päätyjen nurkkien silloittamisella runkoon. Nurkkien kohdistuksessa käytettiin apuna kuparista juuritukea, jolla pääty pala saatiin sovitettua runkoon (kuva 19). Silloituksessa ei käytetty MicroTackia ja hitsaus suoritettiin lisäainelankaa käyttämällä.



Kuva 19. Päädyn nurkan silloitus.

Päätyjen silloitus tehtiin perinteiseen tapaan TIG:llä sekä MicroTack-silloitustoiminnolla. (kuva 20). Kulmaliitosten pituudet olivat 1500 mm ja 650 mm. Siltahitsit hitsattiin noin 30 mm välein. Päädyt olivat periaatteessa samanmittaiset, mutta toiseen päätyyn jäi aukko laippaa varten. Silloitus ja hitsaus suoritettiin altaan ulkopuolelta lukuun ottamatta nurkkien yläkohtaa, jotka hitsattiin sisäpuolelta niiden huonon luokse päästävyuden takia. Päätyjen hitsauksessa käytettiin Ta-Flux juurisuojatahnaa. Ennen avonaisen päädyn (650 mm) hitsausta, silloitettiin ja hitsattiin samaan päätyyn U:n muotoinen, 3 mm paksuinen, laippa (kuva 21).



Kuva 20. Päätyjen kulmaliitosten silloitus.



Kuva 21. Laiipan silloitus runkoon.

## 6 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

Altaan pohjan päittäisliitosten silloitus tehtiin perinteisellä tavalla TIG:llä ja MicroTackilla. Siltahitsien etäisyys oli noin 30 mm, jolloin heftejä tuli noin 40 kpl / liitos 1160 mm ja 1200 mm pituisiin liitoksiin. Perinteisellä tavalla silloitettuna 1160 mm pituiseen liitokseen meni aikaa 150 sekuntia ja 1200 mm liitokseen 100 sekuntia. Silloitusajan erot suurin piirtein samanmittaisissa liitoksissa johtuvat käsinhitsauksesta. Erot olisivat todennäköisesti tasoittuneet, jos koetta olisi toistettu useamman kerran tai silloitus olisi suoritettu mekanisoidusti. MicroTackilla silloitukseen kului aikaa molemmissa liitoksissa 80 sekuntia. MicroTackilla saavutettu ajansäästö päittäisliitoksissa oli suhteellisen iso verrattuna perinteiseen silloitukseen. Silloitusaikojen vertailu selviää taulukosta 2.

*Taulukko 2. Silloitusaikojen vertailu.*

Liitospituus [mm]	Aika [s] Perinteinen TIG-silloitus	Aika [s] MicroTack	Ajansäästö [s]	Ajansäästö [%]
1160	150	80	70	47
1200	100	80	20	20

MicroTackilla saavutettiin laadukkaampi hitsi kuin tavallisella TIG-silloituksella. Heftit olivat silmämääräisen tarkastelun perusteella samankokoisia ja tasalaatuisia. MicroTackin vähäisen lämmöntonnin vaikutukset ja heftien koko nähdään kuvasta 22. Kuvan 18 siltahitsit silloitettiin normaalisti TIG:llä, mistä johtuu pieni heftien koon vaihtelu ja suuremman lämmöntonnin vaikutukset. MicroTackilla saavutettiin hyvä tunkeuma ilman läpipalamisen vaaraa. Tunkeuman hallinta ja läpipalamisen estäminen oli vaikeampaa tavallisessa TIG-silloituksessa, koska hitsausaika oli hitsaajan kontrolloitavissa eikä siten täysin vakio.



Kuva 22. MicroTackilla silloitettu liitos.

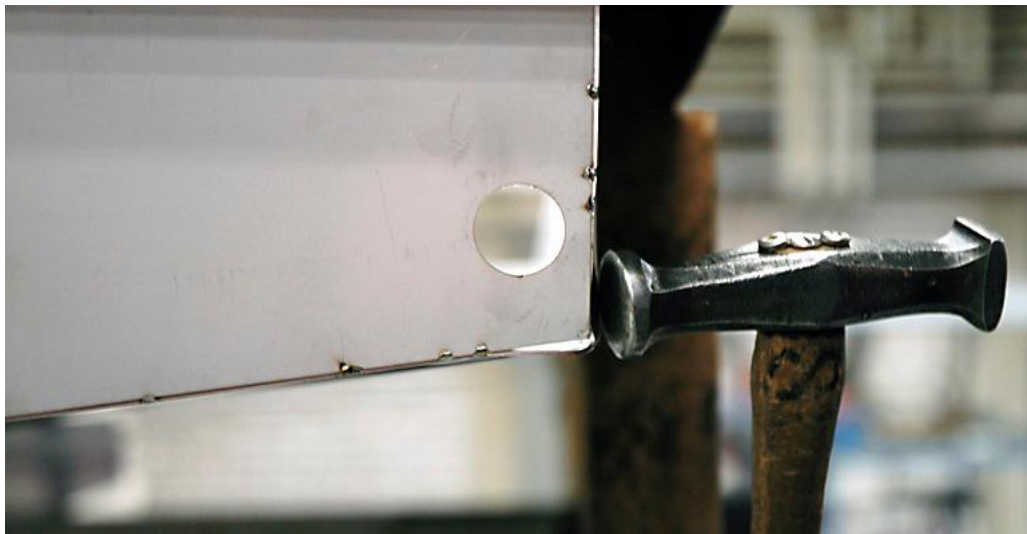
Isot ilmarat ja epätarkat kohdistukset olivat syinä siihen, miksi MicroTackia ei käytetty jokaisessa liitoksessa. Havaittiin, että MicroTack ei kutista isoa ilmarakoa, joten se vaatii tarkat kohdistukset. Tämä johtuu MicroTackin vähäisestä lämmöntuonnista, sillä lämpö ei riitä sulattamaan materiaaleja riittävästi ja kutistamaan ilmarakoa, jos kappaleet ovat liian kaukana toisistaan.

Päätyjen silloitukseen käytettiin sekä perinteistä TIG-silloitusta että MicroTackia. Perinteisellä TIG-silloituksella tehdyt siltahitsit paloivat yleensä aina läpi eli tulivat näkyviin altaan sisäpuolelta. Kuvasta 23 nähdään, että MicroTackilla silloitettaessa altaan sisäpuolella näkyy vain vähäiset lämpöjäljet. Hitsauskokeiden perusteella voitiin todeta, että MicroTackilla on helppo tehdä silloituksia ilman läpipalamisen vaaraa. Huomattiin myös, että jos siltahitsi ei kiinnitä kappaleita toisiinsa kunnolla, on mahdollista tehdä uusi siltahitsi samaan kohtaan ilman läpipalamista. Tämä ei onnistunut perinteisellä TIG-silloituksella.



Kuva 23. MicroTackilla silloitettu kulmaliitos.

Päätyjen nurkissa esiintyi ongelmia nurkkien sovituksen kanssa. Nurkkia piti vasaroida, jotta ne saatiin kohdistettua kunnolla. Muuten ne olisivat jääneet auki, kuten kuvasta 24 selviää. Perinteisellä tavalla silloitettuna nurkat repesivät useasti vasaroinnin jälkeen. MicroTackilla silloitettuna repeilyä ei esiintynyt, mikä kertoo sillä hitsattujen heftien hyvästä laadusta. Siltahitsit kestivät myös hitsauksesta aiheutuvat jännitykset repeilemättä. Voidaan todeta, että MicroTackilla saadaan kestäviä siltahitsejä.



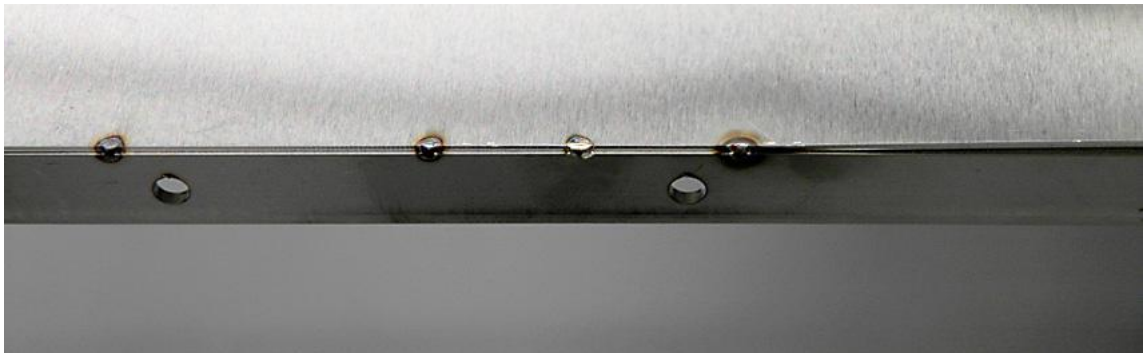
Kuva 24. Nurkkien vasarointia.

Hitsauskokeissa tutkittiin myös eripaksuisten materiaalien silloittamista toisiinsa. 3 mm paksuisen U-laipan silloittaminen 1,5 mm paksuiseen levyyn onnistui hyvin. Silloitusajojen vertailu selviää taulukosta 3. Ajansäästö oli huomattava MicroTackin puolesta.

Taulukko 3. Silloitusaikojen vertailu 3 mm ja 1,5 mm paksuisten materiaalien liittämässä.

Aika [s] Perinteinen TIG-silloitus	Aika [s] MicroTack	Ajansäästö [s]	Ajansäästö [%]
130	60	70	54

Kuvasta 25 nähdään ero perinteisen TIG-silloituksen ja MicroTackin lämmöntuonnissa. MicroTackin lämmöntuonti on selvästi alhaisempaa.



Kuva 25. 3 mm paksui sen U-laipan silloitus 1,5 mm paksui seen levyyn.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Keskimääräinen ajansäästö on 40 % MicroTackin hyväksi verrattuna perinteiseen TIG-silloittamiseen. Silloituskokeen voisi suorittaa mekanisoidusti, jolloin polttimen liike olisi täsmällistä ja siten saataisiin vielä tarkempia tuloksia. Aikavertailun perusteella voidaan kuitenkin todeta, että perinteinen TIG-silloittaminen ei pärjää nopeudessa MicroTackille. MicroTackin nopeus tarkoittaa myös tuottavuuden kasvua ajansäästön ohessa. MicroTack sopisi mekanisoituun silloitukseen erittäin hyvin prosessin nopeuden ja yksinkertaisuuden ansiosta.

MicroTackilla hitsattu siltahitsi on laadukas. Se on pieni ja tasakokoinen ja sillä on hyvä tunkeuma. Siltahitsin voi jättää lopulliseen tuotteeseen ilman päällehitsausta niin kestävyden (huomioiden tuotteelta vaadittavat ominaisuudet) kuin ulkonäönkin puolesta. Perinteiset TIG-siltahitsit ovat hieman epäsäännöllisempiä ulkonäöltään ja eivät ole yhtä klinisen näköisiä kuin MicroTackilla tehdyt.

MicroTackilla hitsatut siltahitsit kestävät rasituksia hyvin. Niitä voidaan esimerkiksi vasaroida ilman repeämistä. Ne kestävät myös hitsauksen aiheuttamat jännitykset hyvin. Vähäisen lämmöntuonnin ansiosta MicroTackilla silloitetut kappaleet eivät vääntyile tai muuta muotoaan.

MicroTack-silloitustoiminto soveltuu parhaiten ohuiden materiaalien liittämiseen. MicroTackilla voidaan liittää myös erivahvuisia materiaaleja toisiinsa ilman ohuemman materiaalin läpipalamista, mikä on haasteellisempaa perinteisellä TIG-silloituksella.

MicroTackin edut:

- vähäinen lämmöntuonti → muodonmuutokset pieniä
- paksun ja ohuen levyn silloitus onnistuu hyvin
- ulkomuodoltaan ja -näöltään hyvännäköinen hitsi
- helppokäyttöinen ja yksinkertainen
- laadukas hitsi
- nopea.

MicroTackin rajoitukset:

- ilmarako ei voi olla kovin suuri
- vaatii tarkat kohdistukset
- materiaalipaksuus.

## 8 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSIA

Tehdyissä hitsauskokeissa MicroTackilla hitsatun siltahitsin laatua tutkittiin vain silmämääräisesti. Esimerkiksi huokosten olemassaoloa olisi tarpeellista tutkia röntgenkuvilla. Tunkeumaa voitaisiin tutkia makrokuvilla. Parametrien optimoinnilla tunkeuma saataisiin maksimaaliseksi pitäen lämmöntuonti kuitenkin vähäisenä. Myös MicroTackilla hitsatun siltahitsin lujuutta tulisi tutkia enemmän.

Suojakaasuna oli hitsauskokeissa puhdas argon ja virtaus 8 l/min. Suojakaasun vaikutusta siltahitsiin (MicroTack) tulisi tutkia lisää. Sillä voi olla vaikutusta mm. tunkeumaan ja huokoisuuteen.

Hitsauskokeissa ilmarako oli MicroTackilla silloitettaessa nolla tai muutama millin kymmenesosa. Lisäkokeilla voitaisiin selvittää kuinka suuren ilmaraon yli MicroTackilla voisi silloittaa siten, että siltahitsi on vielä kestävä.

Eripaksuisten materiaalien silloittamista toisiinsa tulisi tutkia vielä lisää. Kokeissa silloitettiin 1,5 mm ja 3 mm paksuisia levyjä, jolloin paksuuseroksi tuli vain 1,5 mm. Lisäkokeilla voitaisiin tutkia pystyisikö esimerkiksi 1 mm ja 4 mm levyjä silloittamaan laadusta tinkimättä.

## 9 YHTEENVETO

Hitsaavassa teollisuudessa kilpailukyvyyn säilyttäminen tai sen parantaminen edellyttää hitsauksen tehokkuuden nostoa. Uusia ja yhä tehokkaampia menetelmiä kehitetään jatkuvasti. Kandidaatin työssä tutkittiin Kemppi Oy:n kehittämän MicroTack-silloitustoiminnon laatua ja tehokkuutta. MicroTack muistuttaa pistehitsausta, mutta toisin kuin pistehitsauksessa, piste aika on muutamia kymmeniä millisekunteja muutaman sekunnin sijaan. MicroTackin ehdottomina etuina ovat vähäinen lämmöntuonti ja yksinkertainen suoritustekniikka.

Hitsauskokeet suoritettiin tuotannossa olevalla astianpalautuslinjaston altaalla. Altaat silloitettiin sekä perinteisellä TIG-silloituksella että MicroTack-silloitustoiminnolla. Altaassa käytetyn ruostumattoman teräslevyn paksuus oli 1,5 mm ja yhden lisäosan paksuus 3 mm. MicroTack toimi erityisen hyvin näillä aineenpaksuuksilla. Ajansäästö oli huomattava verrattuna perinteiseen TIG-silloitukseen. MicroTackilla hitsatut siltahitsit olivat kestävämpiä ja ulkonäöllisesti parempia kuin perinteisellä TIG-silloituksella tehdyt silloitukset. Tuottavuuteen MicroTack vaikuttaa siis positiivisesti kuten myös lopullisen hitsin laatuun. Parhaiten MicroTack sopii ohuiden ja eripaksuisten materiaalien silloitukseen etenkin ruostumattomille teräksille.



## LÄHTEET

Cornu, J. 1988. Advanced welding systems, vol. 3: TIG & related systems. Bedford, IFS (Publication) Ltd. 369 s. ISBN 0-948507-71-3

Cary, H., Helzer, S. 2005. Modern welding technology. 6th ed. New Jersey, Pearson Education Ltd. 715 s. ISBN 0-13-113029-3

Hyssy, E., Mikkola, S. 1994. TIG-hitsaus. Hitsaustekniikka 4/1994. s. 52-59.

Kyröläinen, A., Lukkari, J. 1999. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. MET-julkaisuja 2/1999. Helsinki, Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 514 s. ISBN 951-817-695-7

Lukkari, J. 1997. Hitsaustekniikka . Perusteet ja kaarihitsaus. 2. painos. Helsinki, Opetushallitus. 292 s. ISBN 951-719-469-2

Lepola, P., Makkonen, M. 2006. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. 2. painos. Helsinki, WSOY. 429 s. ISBN 951-0-27158-6

Martikainen, J. 2006. Luentomoniste. Hitsaustekniikan jatkokurssi. Lappeenranta, Digipaino. 228 s.

Vestama, R. 1980. TIG-hitsaaja. S.I., Myllykosken Kirjapaino Oy. 147 s.

Welding Handbook. 2004. Volume 2, Welding processes, part 1. Ninth edition. Miami, American Welding Society. 720 s. ISBN 0-87171-729-8