

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

OHUTSEINÄMÄISTEN PUTKIEN ORBITAALI-TIG-HITSAUS  
ORBITAL TIG WELDING OF THIN-WALLED TUBES

Lappeenrannassa 24.4.2012

Ollimatti Kosamo

0341292

## SISÄLLYSLUETTELO

### LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO

1 JOHDANTO .....	5
1.1 Työn tausta.....	5
1.2 Työn tavoite ja rajausta.....	5
1.3 Tutkimusmenetelmät .....	5
1.4 Yritysesittely.....	5
2 HITSAUSPROSESSIT .....	6
2.1 TIG-hitsaus .....	6
2.1.1 Käyttökohteet.....	8
2.1.2 Orbitaali-TIG-hitsaus ja laitteisto .....	8
2.1.3 Päittäisliitoksen valmistelu ja kohdistaminen.....	11
2.2 Plasmahitsaus.....	12
3 RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN AISI 304:N HITSATTAVUUS.....	15
3.1 Hitsin kuumahalkeilu.....	16
4 PIVASET OY: OHUTSEINÄMÄISTEN PUTKIEN PÄITTÄISLIITTÄMINEN.....	18
4.1 Orbitaali-TIG-hitsauslaitteisto .....	18
4.2 Hitsattavat tuotteet ja käyttökohteet .....	19
4.3 Putkille ja putkistoille asetetut laatuvaatimukset.....	19
4.4 Esivalmisteluvaiheet .....	19
4.4.1 Putkien katkaisu.....	19
4.4.2 Puhdistus ja purseiden poisto.....	19
4.4.3 Kohdistaminen .....	20
4.5 Hitsauksen suoritus .....	20
4.6 Laadunvarmistus.....	21

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET .....	23
6 YHTEENVETO.....	25
LÄHTEET .....	26

## LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO

AISI 304	Austeniittinen ruostumaton vakioteräs
AISI 316 L	Austeniittinen haponkestävä teräs
Ar	Argon
EN 1.4301	Austeniittinen ruostumaton vakioteräs
HAZ	Lämpövyöhyke, johon hitsauksesta tullut lämpö on aiheuttanut muutoksia perusaineessa
H <sub>2</sub>	TIG- hitsauksessa käytetyn suoja- tai juurikaasun seoskaasuna toimiva vety
MAG-hitsaus	“Metal Active Gas” –welding
MIG-hitsaus	“Metal Inert Gas” –welding
N <sub>2</sub>	TIG- hitsauksessa käytetyn suoja- tai juurikaasun seoskaasuna toimiva typpi
ppm	parts per million
TIG-hitsaus	”Tungsten Inert Gas Arc” –welding
WPS	Hitsausohje

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Työn tausta

Tämä kandidaatintyö käsittelee ohutseinämäisten putkien päittäisliittämistä, siihen liittyvää laitteistoa sekä ohutseinämäisten putkien liittämistä Pivaset Oy:ssä. Ohutseinämäisten putkien päittäisliitokset hitsataan usein TIG- tai plasmahitsauksella. Molempien prosessien tärkeisiin käyttöaloihin lukeutuu ohutseinämäisten putkien ja putkistojen hitsaus. Mekanisoidulla TIG-hitsauksella, orbitaali-TIG-hitsauksella, saadaan aikaa korkea- ja tasalaatuinen hitsi ohutseinämäisten putkien päittäisliitoksissa.

### 1.2 Työn tavoite ja rajaus

Työn tarkoituksena on selvittää ohutseinämäisten putkien liittämiseen käytetyt yleisimmät hitsausmenetelmät, arvioida ruostumattoman teräksen AISI 304 hitsattavuutta sekä tuoda esille orbitaali-TIG-hitsauksen asettamat vaatimukset ja esivalmistelut hitsattavaa materiaalia kohtaan.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Työ on koottu Pivaset Oy:ssä tehdyn yritysvierailulta kerätyn materiaalin sekä yhteistyön antaman tiedon perusteella. Lisäksi työssä on käytetty tiedonhankintaan hitsausalan kirjallisuutta, julkaisuja sekä valmistajien julkaisemaa materiaalia.

### 1.4 Yritysesittely

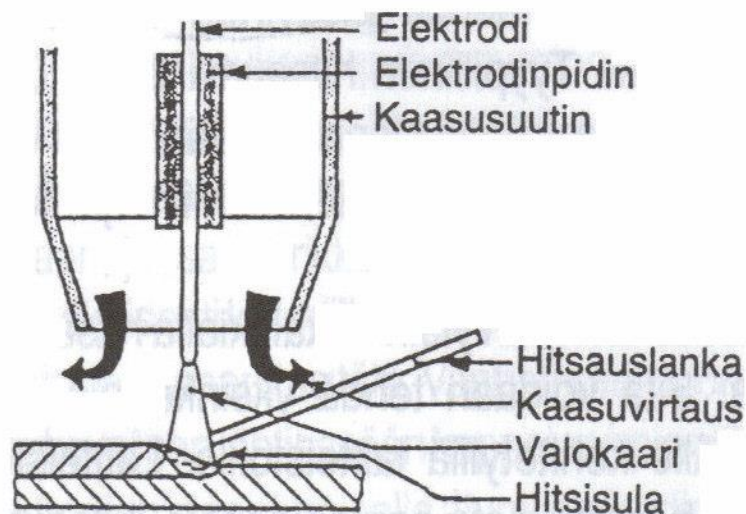
Pivaset Oy on perustettu vuonna 1990. Alkuvaiheessa Pivaset Oy valmisti pumppuohjauskeskuksia. Vuonna 1993 perustettiin Palovaruste Oy, jossa aloitettiin alkusammutuskaluston valmistus. Vuonna 2004 saman perheen omistuksessa olleet yhtiöt fuusioitiin Pivaset Oy:ksi, jonka henkilöstö koostuu yli 40 työntekijästä. Pivaset Oy valmistaa alkusammutuskalustoa, energiavaraajia sekä tuottaa erilaisia palveluita metalli- ja sähkötuotteiden valmistukseen ja jatkojalostukseen. (Pivaset, 2012.)

## 2 HITSAUSPROSESSIT

TIG- ja plasmahitsaus ovat tärkeitä hitsausprosesseja ruostumattoman teräksen hitsauksessa. Molemmat hitsausprosessit soveltuvat hyvin myös useimpien materiaalien hitsaukseen ja ovat merkittävässä asemassa ruostumattomien teräsputkien hitsauksessa.

### 2.1 TIG-hitsaus

TIG-hitsaus eli volframi-inerttikaasukaarihitsaus (prosessinumeroltaan 141) on kaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin ja työkappaleen välillä suojakaasun ympäröimänä. Hitsaustapahtumaa ja elektrodin kuumaa kärkeä suojaa ilman hapelta inertti suojakaasu, jona käytetään argonia, argon-helium seoskaasua tai heliumia. Kuvassa 1 on esitetty TIG-hitsauksen periaate, jossa valokaaren lämpö sulattaa työkappaletta ja muodostaa siihen hitsisulan. Hitsausvirta on tasavirtaa ja elektrodi kytketty miinus-napaan, jolloin suurin osa lämmöstä kohdistuu työkappaleeseen. Tällöin tunkeuma on suurempi kuin hitsattaessa +navassa. TIG-hitsaus voidaan suorittaa joko ilman lisäainetta tai lisäainetta käyttäen. Käsinhitsauksessa mahdollinen lisäaine, joka on yleensä 1000 mm pitkä hitsauslanka, tuodaan erikseen toisella kädellä hitsisulaan. (Lepola & Makkonen, 2006, s.159; Lukkari, 1997, s.249; Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.351.)



**Kuva 1.** TIG-hitsauksen periaate (Lukkari, 1997, s.249.)

Yleisimmin käytetty suojakaasu TIG-hitsauksessa on argon. Sillä on hyvä suojausvaikutus, vakaa valokaari myös vaihtovirralla ja helppo valokaaren syttyminen. Heliumilla on korkeampi kaarijännite kuin argonilla, joten hitsausenergia ja tunkeuma ovat suuremmat. Tämä ominaisuus mahdollistaa suuremman hitsausnopeuden ja pienemmän esikuumennustarpeen hyvin lämpöä johtaville materiaaleille, esimerkiksi alumiinia ja kuparia hitsattaessa. Argonin ja heliumin seoksilla voidaan hyödyntää kummankin kaasun ominaisuuksia. Niitä käytetään lähinnä alumiinin ja kuparin hitsauksessa. Austeniittisten ruostumattomien terästen koneellisessa hitsauksessa argonin ja vedyn kaasuseos Ar +5-15 % H<sub>2</sub> mahdollistaa suuremman hitsausnopeuden ja syvemmän tunkeuman. Pelkistävän vetykaasun takia pinta on kirkas. Juurikaasua TIG-hitsauksessa käytetään hitsin juurensuojaukseen eli estämään juuren puolen hapettumista. Eniten juurensuojausta käytetään ruostumattomien putkien hitsauksessa. Yleisin juurikaasu on argon, joka soveltuu kaikille materiaaleille. Typen ja vedyn kaasuseosta 88 % N<sub>2</sub> + 12 % H<sub>2</sub>, ns. formierkaasua, käytetään joskus argonin vaihtoehtona ruostumattomien terästen ja seostamattomien terästen suojauksessa. Formierkaasun vety tekee kaasusta pelkistävän ja antaa usein kirkkaamman juurenpuolen pinnan. Formierkaasu on kuitenkin palavaa ja tästä syystä sen käyttö rajoittuu usein pienten putkien juurensuojaukseen. (Lukkari, 1997, s.264-265.)

TIG-hitsauksen tärkein periaatteellinen ero muihin kaarihitsausprosesseihin, paitsi plasmahitsaukseen, on sulamaton elektrodi. Muissa kaarihitsausprosesseissa lisäaine toimii sulavana ja virtaa johtavana elektrodina. Tärkeimpiä ominaispiirteitä TIG-hitsauksessa on sulan ja tunkeuman hyvä hallinta, joka perustuu siihen, että lämpölähteenä toimiva valokaari on erillään lisäaineen tuonnista. Tämän ansiosta hitsausenergiaa ja lisäaineen tuontia voidaan säädellä erikseen. Lisäksi hitsausvirta voi olla pienimmillään vain muutamia ampeereja, mikä tekee TIG-hitsauksesta hyvin soveltuvan ohuiden ainepaksuuksien hitsaamiseen tai pohjapalkojen hitsaamiseen suurempiin ainepaksuuksiin. Hitsausarvot voidaan valita sellaisiksi, että pystytään hallitsemaan hitsisula ja läpihitsautuminen. TIG- hitsaus ei ole erityisen sovelias tai tehokas suurille ainepaksuuksille, sillä valokaaren energiatiheys ja terminen hyötysuhde ovat pienempiä kuin muissa kaarihitsausprosesseissa. (Lepola & Makkonen, 2006, s.159; Lukkari, 1997, s.249.)

### 2.1.1 Käyttökohteet

TIG-hitsaus soveltuu yleensä kaikkien hitsattavien materiaalien hitsaukseen. Sen käyttö rajoittuu usein suhteellisen pieniin ainepaksuuksiin, noin 0,5-6 mm, koska suurempien ainepaksuuksien hitsauksessa se on hidas. TIG-prosessilla voi hitsata materiaaleja paksuudeltaan 0,1 mm:stä ylöspäin. Eniten TIG-hitsausta käytetään ruostumattomien ja haponkestävien terästen sekä alumiinien hitsaukseen. Seostamattomia ja niukkaseosteisia teräksiä prosessilla hitsataan vain silloin, kun hitsille asetetaan suuria laatuvaatimuksia. (Lepola & Makkonen, 2006, s.160.)

Tärkeimpiä käyttöalueita TIG-hitsaukselle ovat mm. vaativien, ohutseinämäisten putkien ja putkistojen hitsaus, pohjapalkojen hitsaus paksuseinämäisiin putkiin, putkipalkkien ja pituushitsattavien putkien valmistus sekä ohutlevyjen hitsaus. Putkien päittäishitsaus orbitaalihitsauksella ja putkien hitsaus putkilevyyn ovat myös tärkeitä alueita TIG-hitsauksessa. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.357.)

### 2.1.2 Orbitaali-TIG-hitsaus ja laitteisto

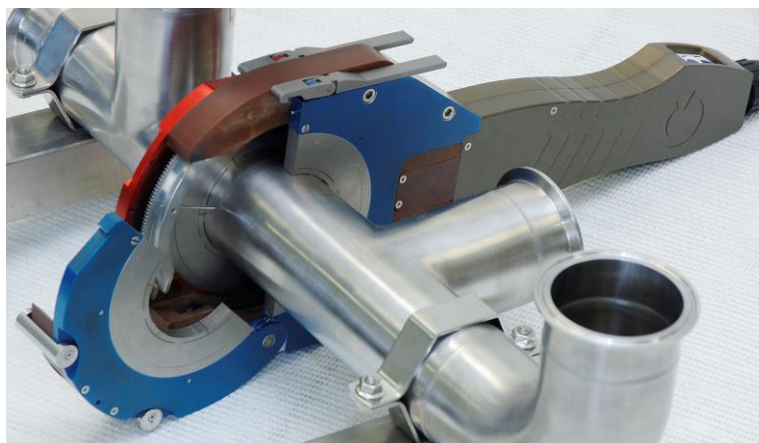
Tuomalla mukaan TIG-hitsausprosessiin mekanisoitu päittäishitsaus, orbitaalihitsaustekniikka, saadaan hitsauksessa tapahtuva kuljetusliike hyvin vakaaksi. Orbitaalihitsauksessa putki on paikoillaan ja TIG-hitsauspoltin kiertää putken ympäri. Tämä mahdollistaa taitavan hitsaajan aikaansaamaa jälkeä vieläkin tasalaatuisemman jäljen. Hitsin pintapalko saadaan tasaiseksi ja liittymältään perusaineeseen juoheaksi. Tällöin putken sisäpinnalle jäävä juuripalko saadaan tarvittaessa lähes huomaamattomaksi, mistä on suuri hyöty virtauksen alaisissa putkistoissa. Juurikaasun syöttämisessä putken sisään käytetään yleensä eri kokoisille putkille tarkoitettuja syöttösuulakkeita. Suuri etu mekanisoidussa hitsauksessa on se, että hitsausarvoja voidaan seurata ja dokumentoida sekä usein hitsauskoneeseen on integroitu hitsausparametrien tulostus. Käytettävyyden lisäämiseksi virtalähteissä on olemassa valmiita ohjelmia ja itse luotavia uusia ohjelmia, jotka vastaavat putken materiaalia, ulkohalkaisijaa ja seinämäpaksuutta. (Lepola & Makkonen, 2006, s.193-195; Esab, 2012.)



Orbitaalihitsaus voidaan jakaa kahteen ryhmään; putkien päittäisliittämiseen ja putkien päätylevyyden eli tuubilevyyden liittämiseen. Päittäisliitoksia ovat muun muassa putkien liittäminen laippoihin, käyrien putkien liitokset, T-kappaleiden liitokset putkiin ja erilaisten liittimien tai venttiilien liittäminen putkiin. Putkien hitsaus tuubilevyyden liittyy usein kattiloiden tai lämmönvaihtimien valmistukseen. (Polysoude, 2009, s.5.)

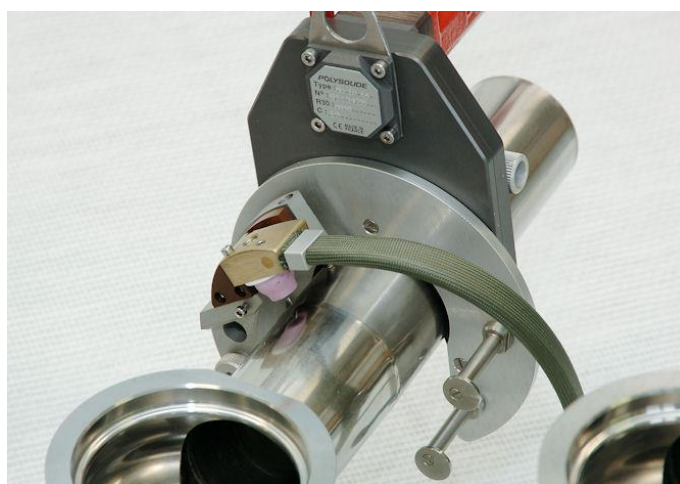
Putkien orbitaali-TIG-hitsauksessa käytetään kahta erilaista pihtityyppiä, umpi- tai avopihtiä, riippuen putken halkaisijasta ja käyttökohteesta. Pihtien koot mukailevat putkien standardoituja halkaisijamittoja. Putken halkaisijan kasvaessa riittävästi orbitaalihitsaus suoritetaan hitsausvaunun avulla, joka kiertää putken ympäri kiinnitetyllä radalla. Hitsattaessa ohutseinämäisiä putkia päätylevyyden, käytetään umpihitsauspihtä tai avointa hitsauspihtä eli tuubilevypihtejä. (Lepola & Makkonen, 2006, s.194-195; Polysoude, 2009, s.20.)

Umpipihdit ovat koteloituja, suljettuja pihtejä, joissa kaasusuojaus on suljetussa hitsauskammiossa koko hitsaustapahtuman ajan estäen hitsin hapettumisen ja värjäytymisen. Tämä estää myös valokaaren säteilyn ympäristöön. Hitsauspihdin pienen koon ansiosta se mahtuu ahtaisiin paikkoihin ja vesijäähdytyksen ansiosta suuri kuormitettavuus on mahdollinen. Pihteihin on saatavilla erikokoisia vaihdettavia leukapaloja putken halkaisijan koon mukaan. Umpipihtejä käytetään ohutseinämäisten putkien (D=6-170 mm) päittäisliitosten mekanisoituun ja lisäaineettomaan TIG-hitsaukseen. Tyypillisiä hitsattavia materiaaleja ovat esimerkiksi ruostumaton ja haponkestävä teräs, titaani ja Inconel. Umpipihtejä käytetään yleensä halkaisijaltaan pienemmille putkille ja puhtautta vaativille kohteille kuten ilmailu- ja avaruustekniikka, lääke- ja biokemia, elintarviketeollisuus, mittausanturit ja puhdasteollisuus. Kuvassa 2 on esitetty Polysouden umpipihdit. (Lepola & Makkonen, 2006, s.194.)



**Kuva 2.** Polysouden umpipihdit (Teknohaus, 2012.)

Avopihdit on tarkoitettu putkien ( $D=8-275$  mm) päittäisliitosten mekanisoituun TIG-hitsaukseen, joka voi olla lisäaineellista tai lisäaineetonta yksi- tai monipalkohitsausta. Lisäaine tuodaan hitsaustapahtumaan joko integroidulla langansyötöllä, jossa lankakela on kiinnitetty pihdin runkoon, tai ulkoisella langansyöttöyksiköllä. Moduulirakenteen ansiosta ne ovat helposti käytettävissä erilaisille putkisto-osille, esimerkiksi laipoille, T-kappaleille ja käyrille. Lisäksi niillä on suuri kuormitettavuus vesijäähdytyksen ansiosta. Avopihdit ovat säädettävissä portaattomasti putkikoon vaihtuessa ja kattavat usein suuren putkikokoalueen. Pihdeissä voidaan myös hyödyntää automaattista korkeuden ja levityслиikkeen seuranta-automaatiikkaa. Avopihtien käyttöalueita ovat kemian teollisuus, ilmailuteollisuus, laivanrakennus, energiateollisuus, atomivoimalat, lääke- ja biokemian teollisuus sekä elintarvike- ja juomateollisuus. Kuvassa 3 on esitetty Polysouden valmistamat avopihdit. (Lepola & Makkonen, 2006, s.194-195.)



**Kuva 3.** Polysouden avopihdit (Teknohaus, 2012.)

Hitsattaessa ohutseinämäisiä putkia päätylevyyn, käytetään umpihitsauspäättä tai avointa hitsauspäättä eli tuubilevypihtejä. Umpihitsauspää on tarkoitettu halkaisijaltaan esimerkiksi 9.5-33.7 mm putkien lisäaineettomaan TIG-hitsaukseen kuten kuvassa 4 esitetty Polysouden valmistama umpihitsauspää. Suojakaasujärjestelmä suojaa hitsaustapahtuman luotettavasti ja menetelmä soveltuu myös herkästi hapettuville materiaaleille. Tuubilevypihteihin on mahdollista asentaa integroitu langansyöttöjärjestelmä ja niillä voi hitsata putkia sisähalkaisijaltaan 10-60 mm. Hitsauspäissä on mukana suojakaasun syöttöjärjestelmä. Hitsaus tapahtuu siten, että elektrodi kiertää putken ympäri ja laite pysyy paikallaan. (Polysoude, 2009, s.20; Teknohaus, 2012.)



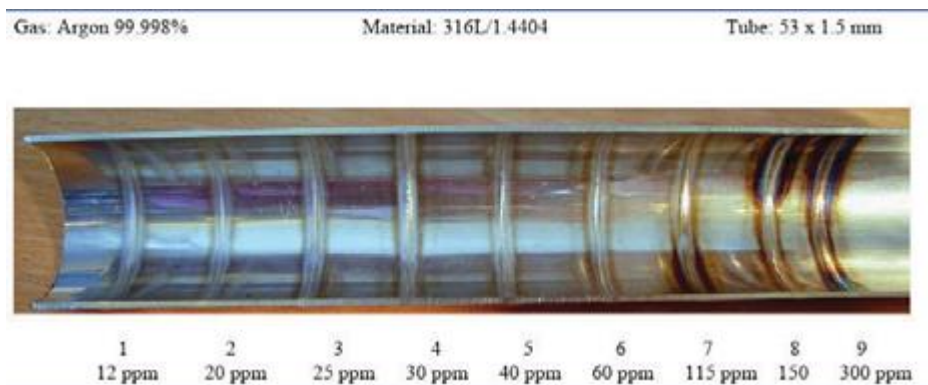
**Kuva 4.** Polysouden umpihitsauspää, jolla hitsataan ohutseinämäisiä putkia päätylevyyn (Fronius, 2010, s.20.)

### 2.1.3 Päittäisliitoksen valmistelu ja kohdistaminen

Orbitaalihitsaus vaatii railon valmistukselta ja kappaleiden valmistukselta ennen hitsausta tarkkuutta ja huolellisuutta. Railot on valmistettava koneellisesti etenkin suuremmille ainepaksuuksille, koska mekanisoidun hitsauksen railotoleranssit ovat tiukemmat kuin käsinhitsauksen. Ohuiden putkien katkaisu I-railojen hitsauksessa on tehtävä tätä varten rakennetuilla sahoilla tai päät on koneistettava suoriksi. Lisäksi purseet on poistettava ja putkien päät on oltava kiinni toisissaan ilman minkäänlaista rakoa sekä epäpuhtaudet kuten rasva ja kosteus on poistettava hitsauksen alaiselta alueelta. Käytettävien työkalujen on

oltava ruostumattomalle teräkselle sopivia, esimerkiksi omat ruostumattomat teräsharjat. Näin voidaan välttää mahdollinen korroosion liikkeelle lähtö. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.487; Lepola & Makkonen, 2006, s.193; Polysoude, 2009, s.35.)

Ennen hitsauksen aloittamista putkien päät on kohdistettava ja kohdistus varmistettava huolellisella silloituksella. Silloituksessa on syytä käyttää juurikaasua, jotta vältytään värjäytymiseltä ja hapettumiselta putkien sisällä. Silloitushitsien läpimitta on pysyttävä pienempänä kuin lopullisen hitsin leveys ja silloitus tulee tehdä ilman lisäainetta, jotta silloitushitsit liittyvät hitsisulaan täydellisesti. Juurenpuolen suojauksessa on myös kiinnitettävä huomiota juurikaasun happipitoisuuteen, sillä se vaikuttaa suoraan ruostumattoman teräksen tapauksessa korroosionkestävyyteen. Kuvassa 5 on esitetty juurikaasun happipitoisuuden (ppm = parts per million, 1 ppm = 0,0001 % ja esim. 100 ppm = 0,01 %) vaikutus juurenpuolen hitseihin ja niiden päästöväreihin AISI 316L-teräsputkessa, joka ei tässä suhteessa juurikaan eroa AISI 304-teräksestä. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.487; Lepola & Makkonen, 2006, s.193; Hitsaustekniikka, 2011, s.32-33; Polysoude, 2009, s.35.)

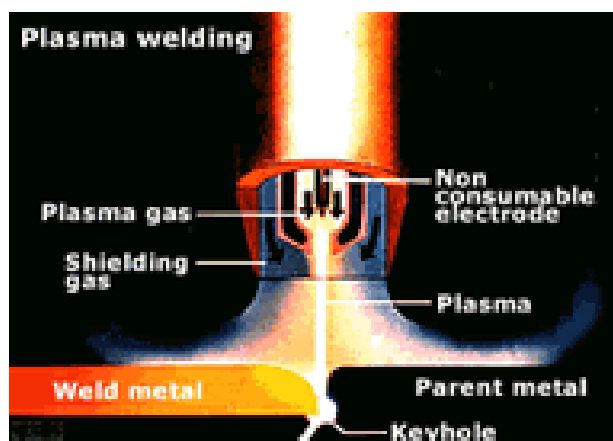


**Kuva 5.** Juurikaasun happipitoisuuden vaikutus 316 L-teräsputkeen tehdyissä hitseissä (Fronius, 2010, s.37.)

## 2.2 Plasmahitsaus

Plasmahitsaus on kaasukaarihitsausprosessi (prosessinumeroltaan 15), jossa valokaari palaa plasmakaasun ja suojakaasun ympäröimänä sulamattoman volframielektrodin ja työkappaleen tai plasmasuuttimen välillä. Pääasiallisena hitsauslämmön lähteenä on valokaaren muodostama plasma. Plasmakaari saadaan aikaan pakottamalla valokaari

kulkemaan plasmakaasuvirtauksen mukana ahtaan kuparisuuttimen läpi suurella nopeudella, jolloin valokaaren muoto muuttuu kartiomaisesta sylinterimäiseksi patsaaksi eli valokaari kuroutetaan. Tällöin valokaaren lämpö siirtyy tehokkaasti virtaavaan kaasuun. Plasmasuuttimesta purkautuva kaasuvirtaus ei riitä suojaamaan hitsisulaa, joten tarvitaan erillinen suojakaasu. Plasmasuihkun lämpötila on kuumimmassa kohdassa 15000-25000 °C. Plasman pääkaari sytytetään pilotti- eli apukaarella, joka palaa elektrodin ja suuttimen välissä. Plasmahitsaus voidaan suorittaa ilman lisäainetta tai sitä käyttäen. Plasmahitsaus tapahtuu käsinkuljetuksena tai mekanisoidusti. Parhaiten plasmahitsauksen edut voidaan hyödyntää mekanisoidussa ja automatisoidussa hitsauksessa. Kuvassa 6 on esitetty plasmahitsauksen periaate. (Lukkari, 1997, s.272-274; Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.365-367.)



**Kuva 6.** Plasmahitsauksen periaate (Esab, 2012.)

Plasmahitsausta on olemassa kahta versiota: sulattava ja lävistävä hitsaus. Ohuemmat ainepaksuudet, alle noin 3 mm, hitsataan sulattavalla ja paksummat, yli noin 3 mm, lävistävällä plasmalla. Ohuin ainepaksuus on luokkaa 0,01 mm, jolloin hitsaus toteutetaan mikroplasmahitsauksella. Yhdellä palolla lävistämällä plasmalla hitsattava I-railon ainepaksuus on noin 8-12 mm. Sulattavassa plasmahitsauksessa plasmakaari sulattaa ja muodostaa valokaaren alle railoon hitsisulan kuten TIG-hitsauksessa. Lävistävässä plasmahitsauksessa plasmapatsas syrjäyttää altaan sulan metallin suuren kineettisen voimavaikutuksensa ja lämpökeskittymän ansiosta, jolloin railoon muodostuu lävistysreikä. Kun poltinta kuljetetaan eteenpäin, sula metalli virtaa plasmapatsaan sivuilta reiän taakse yhtenäiseksi sulaksi ja jähmettyy hitsiksi. (Lukkari, 1997, s.274-276; Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.367.)

Plasmakaasuna käytetään yleensä argonia tai argon-vetyseosta, jossa on noin 5 % vetyä. Vedyn käyttö lisää tunkeumaa, sillä vedyn lisääminen argoniin saa aikaan suuremman tehotiheyden ja kuumemman kaaren. Vedyn käyttö myös vähentää pintajännitystä, jolloin hitsin liittyminen perusaineeseen on juohevampi. Liian suuri vetymäärä kuitenkin saattaa aiheuttaa huokosia hitsiin. Plasmakaasuna voidaan käyttää myös argon-heliumseoksia, esimerkiksi ruostumattoman teräksen hitsauksessa. Samoja edellä mainittuja kaasuja voidaan käyttää myös suojakaasuna hitsauksessa, mutta lisäksi on mahdollista käyttää myös aktiivisia kaasuja, esimerkiksi hiilidioksidia, argonin joukossa. Usein plasma- ja suojakaasuksi valitaan sama kaasu käytännön syistä. Hitsin juurenpuoli suojataan yleensä erillisellä suojakaasuvirtauksella. Yleisin juurikaasu on argon. Formierkaasua eli typpi-vetyseosta voidaan hyödyntää mm. putkien asentohitsauksissa, sillä se on ilmaa kevyempää. (Lukkari, 1997, s.279-280.)

Eniten plasmahitsausta käytetään juuri ruostumattoman teräksen hitsauksessa, jossa sen edut ovat parhaiten hyödynnettävissä levyjen ja säiliöiden yhdeltä puolelta hitsauksena. Ohuet ainepaksuudet kuten ohutlevykohteet hitsataan sulattavalla valokaarella, mikro- tai väliplasmahitsauksella, ja paksummat lävistävällä valokaarella eli suurtehoplasmahitsauksella. Suurtehoplasmahitsausta käytetään paljon säiliöiden ja putkien hitsaukseen. Säiliöiden hitsauksessa sitä käytetään sekä kehä- että pituushitseihin. Plasmahitsauksen etuna on mahdollisuus yhdeltä puolelta hitsaukseen ilman juuren avausta ja hyvä hitsin laatu. Ainepaksuuden ylittäessä 8 mm plasmahitsauksen käyttö rajoittuu usein Y-railon pohjapalkoon, jolloin täyttöhitsaus tapahtuu tehokkaammalla prosessilla, esim. jauhekaarhitsauksella. (Lukkari, 1997, s.275; Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.369.)

### 3 RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN AISI 304:N HITSATTAVUUS

Austeniittisten vakioterästen, kuten EN 1.4301 eli AISI 304:n, hitsattavuus on erittäin hyvä ja hitsaus helppoa. Lisäaineiden ja matalien hiili- ja epäpuhtauspitoisuuksien (rikki ja fosfori) ja koostumuksen optimoinnin ansiosta perinteiset ongelmat, kuten raerajakorroosio ja kuumahalkeilu (epäpuhtauksien suotautuminen aiheuttaen halkeaman) ovat nykyään melko harvinaisia. Matala hiilipitoisuus, joka on yleensä alle 0,05 %, varmistaa sen, ettei herkistyminen raerajakorroosiolle ole juurikaan ongelma. Raerajakorroosiossa kromikarbidit erkautuvat raerajoille synnyttäen ympärilleen kromista köyhtyneen vyöhykkeen. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.44; s.102; s.158.)

Hitsauksessa on otettava huomioon tietyt peruserot monissa fysikaalisissa ominaisuuksissa muun muassa rakenneteräkseen verrattuna kuten:

- matalampi sulamispiste
- pienempi lämmönjohtavuus
- suurempi sähköinen ominaisvastus
- suurempi lämpölaajenemiskerroin
- epämagneettisuus

Austeniittisen teräksen likvidus- ja soliduslämpötilat (sulamisalue) ovat vajaa sata astetta matalampia kuin rakenneteräksen, mikä nopeuttaa hiukan lisäaineen ja perusaineen sulamista. Tästä syystä samalla virralla hitsattaessa hitsiaineentuotto on hiukan suurempi. Pienemmän lämmönjohtavuuden takia lämpötilaerot austeniittisessä teräksessä ovat jyrkemmät. Lämpö säilyy hitsin ympäristössä pidempään, mikä hidastaa hitsin jäähtymistä ja voi lisätä herkistymisvaaraa. Tämän ja matalamman sulamispisteen takia tunkeuma on suurempi austeniittisen teräksen hitsauksessa kuin seostamattoman teräksen hitsauksessa samoilla arvoilla. Suuremman sähköisen ominaisvastuksen takia lämpöä kertyy enemmän samalla hitsausvirralla tai sama määrä pienemmällä virralla kuin rakenneteräksellä. Suuremman ominaisvastuksen ja matalan sulamislämpötilan ansiosta hitsauslisäaine sulaa nopeammin ja hitsiaineentuotto on suurempi samalla virralla hitsattaessa. Suuren lämpölaajenemiskertoimen takia austeniittiseen teräkseen aiheutuu voimakkaasta laajenemisesta ja kutistumisesta johtuvia suurempia jännityksiä ja vetelyitä. Tästä syystä

sovitukset on tehtävä huolellisemmin, käytettävä kiinnittimiä ja silloitettava tiheämpään kuin hitsattaessa seostamattomia teräksiä. Austeniittisen teräksen epämagneettisuus ei vaikuta hitsaukseen kovinkaan paljoa, mutta tämän takia materiaalin voi tunnistaa helposti muista teräksistä magneetin avulla. Epämagneettisuus voi aiheuttaa ongelmia hitsattaessa musta/ruostumaton-eripariliitosta valokaaren suuntautuessa enemmän magneettiseen teräkseen. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.150-158.)

Kaikki kaarihitsausprosessit kuten puikko-, MIG/MAG-, MAG-täytelanka-, TIG-, plasma- ja jauhekaarihitsaus soveltuvat austeniittisille teräksille. Näiden lisäksi käytetään myös muita prosesseja, mm. vastus-, suurtaajuusinduktio-, laser-, elektronisuihku- ja kuonahitsausta. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.159.)

### 3.1 Hitsin kuumahalkeilu

Ruostumattomien teräksien hitsauksessa esiintyy kahta eri tyyppistä kuumahalkeilua; jähmettymis- ja sulamishalkeilua. Hitsiaineen kuumahalkeamilla tarkoitetaan jähmettyessä muodostuvia halkeamia. Niiden aiheuttajina pidetään jähmettymisen loppuvaiheessa dendriittien väliseen jäännössulaan suotautuvia epäpuhtauksia ja muita aineita, jotka muodostavat matalassa lämpötilassa sulavia yhdisteitä. Vetojännityksen alaisena näihin suluihin alueisiin syntyy halkeamia. Kuumahalkeamat syntyvät yleensä hitsin suuntaisesti sen keskelle. Kuumahalkeiluun vaikuttavia tekijöitä ovat kemiallinen koostumus, jähmettymisjärjestys ja mikrorakenne, jännitykset ja rakenteen jäykkyys sekä hitsauksen suoritustekniikka. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.102.)

Hitsiaineessa olevat epäpuhtaudet, joista tärkeimmät ovat rikki ja fosfori sekä jotkut seosaineet esim. pii, titaani ja niobi, muodostavat matalissa lämpötiloissa jähmettyviä yhdisteitä, joiden sulamispiste on alempi kuin 1000 °C. Jähmettymisen loppuvaiheessa nämä sulakalvot eivät kestä kutistumisesta johtuvia jännityksiä ja siksi syntyy murtumia, joita kutsutaan kuumahalkeamiksi. Austeniittisten vakioterästen hitsauksessa kuumahalkeilu on normaaliolosuhteissa melko pieni vaara. Näiden terästen perus- ja lisäaineiden koostumus on suunniteltu niin, että hitsiaine sisältää 4-10 % ferriittiä, jolla on kuumahalkeilua voimakkaasti estävä vaikutus. Ilman lisäainetta hitsattaessa austeniittiset vakioteräkset on yleensä tasapainoitettu koostumukseltaan niin, että niihin syntyy



kaarihitsauksessa muutama prosentti (5-10 %) ferriittiä. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.103; s.169.)

Sulamishalkeilua voi esiintyä yksipalkohitsissä perusaineen puolella vyöhykkeessä, joka sulaa osittain. Näitä kutsutaan usein mikro-, hius- tai HAZ-halkeamiksi. Niitä on vaikea havaita silmämääräisesti tai erilaisilla muilla tarkastelumenetelmillä. Nämä halkeamat syntyvät useimmiten raerajoille, joille on suotautunut teräksen epäpuhtauksia ja jotka muodostavat matalassa lämpötilassa sulavia alueita. Toinen ja ehkä yleisempi sulamishalkeilua aiheuttava tilanne on monipalkohitsaus, jossa hitsattaessa uutta palkoa jo hitsattuun palkoon syntyy osittain sulanut vyöhyke. Hitsiaineen voimakkaan seosaineiden suotautumisen johdosta voi sen osittain sulanut vyöhyke olla edellä kuvattua perusaineen osittain sulanutta vyöhykettä laajempi. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.110.)

#### 4 PIVASET OY: OHUTSEINÄMÄISTEN PUTKIEN PÄITTÄISLIITTÄMINEN

Ruostumattomien teräsputkien päittäisliittäminen suoritetaan Pivaset Oy:ssä orbitaali-TIG-hitsauksella. Ennen varsinaista hitsausta putket käyvät läpi esivalmisteluvaiheet, jotta hitsaus onnistuu ja täyttää laatuvaatimukset.

##### 4.1 Orbitaali-TIG-hitsauslaitteisto

Pivaset Oy:n ohutseinämäisten putkien orbitaalihitsauslaitteisto koostuu umpipihdeistä, kahdesta eri avopihdistä, virtalähteestä sekä suoja- ja juurikaasupulloista. Kuvassa 7 esitetyt umpipihdit ovat Polysouden valmistamaa mallia MW 40, jotka soveltuvat ulkohalkaisijaltaan 6-40 mm putkien hitsaukseen vaihdettavien leukapariensa ansiosta. Avopihdit, Polysouden valmistamat MU IV 25/115 ja MU IV 8/38, ovat tarkoitettu ulkohalkaisijaltaan 25-115 mm sekä 8-38 mm putkien hitsaukseen. Suoja- ja juurikaasuna on käytössä argon, joka on yleisimmin käytetty kaasu TIG-hitsauksessa ja se soveltuu kaikille materiaaleille (Lukkari, 1997, s.264.).



**Kuva 7.** Polysouden MW 40-umpipihdit

## 4.2 Hitsattavat tuotteet ja käyttökohteet

Orbitaali-TIG-hitsauksella hitsattavia tuotteita ovat erikokoiset ruostumattomat ja haponkestävät ruostumattomat teräsputket. Työssä käsitellään EN 1.4301-ruostumattomien teräsputkien eli AISI 304-austeniittisten vakioterästen orbitaali-TIG-hitsausta, joiden käyttökohteina ovat pientalojen kaukolämpökeskukset. Putket ovat ulkohalkaisijaltaan 22 mm ja seinämäpaksuudeltaan 1 mm. Orbitaali-TIG-hitsauksella suoritetaan putkien päittäisliittäminen sekä erilaisten sovitteiden liittäminen putkiin.

## 4.3 Putkille ja putkistoille asetetut laatuvaatimukset

Hitsattu kappale tulee olla hitsauksen jälkeen liitosvirheetön ja hitsautumissyvyys pitää olla riittävä. Tarkempien laatuvaatimusten laatimiseksi täytyy orbitaali-TIG-hitsatuille putkille tai putkiston osille tehdä metallurginen tutkimus.

## 4.4 Esivalmisteluvaiheet

Putkien orbitaali-TIG-hitsaus aloitetaan putkien katkaisusta, jonka jälkeen suoritetaan hitsauksen valmistelun vaatimat toimenpiteet. Hitsauksen huolellinen valmistelu antaa edellytykset onnistuneelle liitokselle.

### 4.4.1 Putkien katkaisu

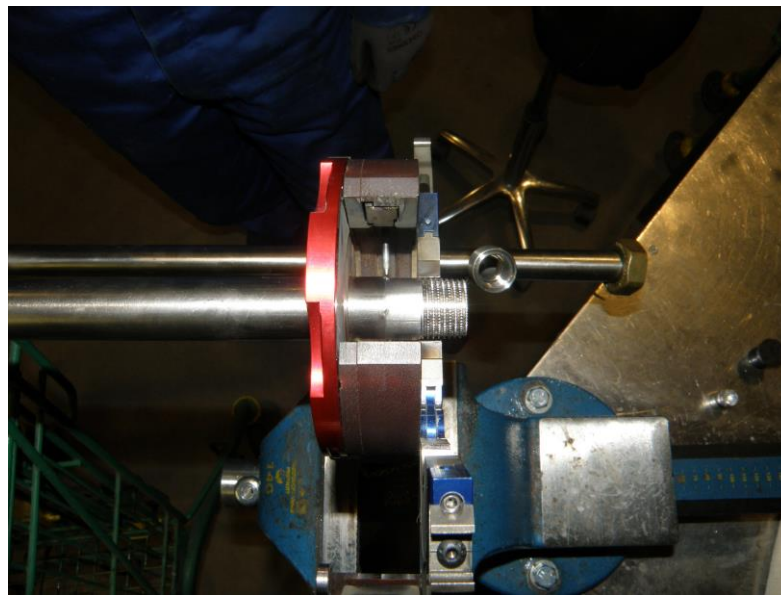
Katkaisu haluttuun mittaan suoritetaan kylmäpyörösahakoneella. Polysouden mukaan putkien katkaisu tulisi suorittaa tarkoituksenmukaisella sahalla tai putken päät tulisi koneistaa suoriksi. Kylmäpyörösahalla on saavutettavissa kuitenkin riittävän viisteetön ja suora liitospinta, mutta ei purseeton.

### 4.4.2 Puhdistus ja purseiden poisto

Ennen hitsausta putkista poistetaan katkaisussa muodostuneet huomattavan kokoiset purseet. Pienemmät purseet liittyvät hitsauksen aikana hitsisulaan. Putket myös puhdistetaan mahdollisesta rasvasta ja öljystä ennen hitsausta.

#### 4.4.3 Kohdistaminen

Putkien kohdistaminen pitää sisällään kaksi vaihetta; silloituksen ja silmämääräisen paikoituksen orbitaalipihteihin. Silloitus suoritetaan käsin TIG-hitsaamalla, jonka jälkeen hitsaaja asettaa hitsattavan kohdan orbitaalipihteihin oikealle kohdalleen. Kuvassa 8 on esitetty sovitteen liittäminen putkeen umpipihdeillä. Ennen silmämääräistä paikoitusta hitsattava kappale on silloitettu käsin TIG-hitsaamalla ilman lisäainetta.



**Kuva 8.** Hitsattava kappale kohdistettuna umpipihteihin.

#### 4.5 Hitsauksen suoritus

Putkien esivalmisteluvaiheiden jälkeen varmistetaan vielä huolellinen juurensuojaus. Kuvassa 9 on nähtävissä juurensuojauksen asentaminen ja periaate. Juurikaasu täyttää ja suojaa juurenpuolen koko hitsaustapahtuman ajan. Umpipihdeissä valokaari palaa umpinaisessa hitsauskammiossa kaasusuojauksen ympäröimänä. Näin valokaari ei säteile ympäristöön. Hitsauksen aikana TIG-hitsauspoltin kiertää paikallaan olevan putken ympäri ja hitsausliitos valmistuu. Kuvassa 10 on esitetty valmis orbitaali-TIG-hitsattu kappale.



**Kuva 9.** Hitsattavan kappaleen juurensuojaus



**Kuva 10.** Orbitaali-TIG-hitsattu kappale

#### 4.6 Laadunvarmistus

Ruostumattomien teräsputkien hitsauksessa laadunvarmistus Pivaset Oy:ssä aloitetaan siitä, että jokaiselle materiaalin toimituserälle tehdään menetelmäkoe. Menetelmäkokeessa orbitaali-TIG-hitsauksen toimivuus varmistetaan valmistamalla ja testaamalla tuotantoa vastaava hitsausliitos koekappaleilla. Kokeen avulla saadaan määritettyä hitsausparametrit

tiettyä toimituserää vastaaviksi. Lisäksi hyödynnetään jatkuvasti orbitaalilaitteiston yhtä ominaisuutta eli parametrien dokumentointia.

Hitsauksen jälkeen suoritetaan silmämääräinen hitsin tarkastus ilman optisia apuvälineitä. Putkiston ollessa liitettynä käyttökohteeseen, suoritetaan sille vielä koeponnistus.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET

Orbitaalihitsauksen onnistumiseen ja laatuun vaikuttaa moni tekijä kuten putkien käsittely, valmistelu sekä hitsauskaasujen valinta. Putkien käsittelyssä on hyvä muistaa, että käytettävät työkalut tulee olla ruostumattomalle teräkselle sopivia eli esimerkiksi puhdistukseen käytettävä teräsharja on oltava ruostumatonta terästä. On myös syytä huomioida, että ruostumattomien putkien hitsaustila on oltava eristetty tai riittävän kaukana rakenneteräksen hitsaustiloista, jotta ruostumattoman teräksen pintaan ei pääse korroosion alkuun saattavaa rautaa. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s.487.)

Putkien riittävän huolellinen valmistelu ennen hitsausta on tärkeää. Pivaset Oy:ssä putkien valmistelu suoritetaan yleisesti hitsauslaitevalmistajien suosittelemalla periaatteella (ks. luku 2.1.3), jossa edetään järjestyksessä; putkien katkaisu, purseiden poisto ja puhdistus, silloitus ja kohdistaminen. Putkien katkaisu tulee suorittaa siten, että putken päät ovat suorat. Tämän takia katkaisu pitää tehdä esimerkiksi tarkoituksenmukaisella putkisahalla tai muutoin katkaisun jälkeen koneistamalla suoraksi. Putkien huolelliseen puhdistukseen on myös syytä kiinnittää huomiota, jotta epäpuhtaudet kuten rasva ja öljy saadaan poistettua tehokkaasti putkien hitsauksen alaiselta pinnalta. Putkien silloituksessa täytyy käyttää suojakaasua ja kiinnittää huomioita silloitushitsien kokoon. Silloitushitsin läpimitta pitää olla riittävän pieni, pienempi kuin lopullisen hitsin leveys, jotta se liittyy hitsisulaan täydellisesti.

Eri suoja- ja juurikaasut vaikuttavat hitsaustapahtumaan eri tavoilla. Pivaset Oy:ssä suoja- ja juurikaasuna on argon, joka on yleisimmin käytetty suoja- ja juurikaasu TIG-hitsauksessa. Argonille suojakaasuna on olemassa vaihtoehtoja austeniittisten ruostumattomien teräsputkien hitsauksessa, kuten argonin ja vedyn kaasuseos Ar +5-15 % H<sub>2</sub> (ks. luku 2.1), joka mahdollistaa syvemmän tunkeuman ja suuremman hitsausnopeuden. Kaasuseoksen vedyllä on myös pelkistävä vaikutus, joten hitsattu pinta on kirkas. Vaihtoehtona argonille juurikaasuna on olemassa myös pelkistävä formierkaasu, joka on typen ja vedyn kaasuseos (88 % N + 12 % H<sub>2</sub>). Formierkaasu antaa juuren puolelle kirkkaan pinnan. Juuren puolen suojauksessa on lisäksi kiinnitettävä huomiota juurikaasun

happipitoisuuteen, sillä se vaikuttaa korroosionkestävyyteen (ks. kuva 5). Pienemmällä happipitoisuudella korroosionkestävyys on parempi.

Suurimmat kehittämistä vaativat kohteet Pivaset Oy:n putkien päittäisliittämisessä ovat laatuvaatimukset ja laadunvarmistus. Laatuvaatimusten tarkentaminen vaatii orbitaali-TIG-hitsattujen putkien hitsin metallurgista tutkimusta. Tutkimuksen voi teettää Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa esimerkiksi diplomityönä putkien päittäisliittämisen kehittämiseksi. Laadunvarmistuksen parantamiseksi on tärkeää laatia orbitaali-TIG-hitsaukselle hitsauksen toistettavuuden varmistamiseksi WPS:t eli hitsausohjeet..



## 6 YHTEENVETO

Plasma- ja TIG-hitsaus sekä niiden sovellukset ovat yleisimpiä ruostumattomien teräsputkien hitsaukseen käytettäviä menetelmiä. Orbitaali-TIG-hitsaus on erinomainen mekanisoitu hitsausprosessi ohutseinämäisten putkien päittäisliittämiseen ja sillä saatu laatu on tarkkaa ja tasalaatuista. Sen käyttö vaatii hitsattavilta kappaleilta huolellisempaa esivalmistelua kuin käsin hitsatessa. Esivalmistelu vaikuttaa suoraan hitsauksen onnistumiseen. Hitsausprosessin onnistumiseen voidaan vaikuttaa myös suoja- ja juurikaasuvalinnoilla sekä hitsattavan materiaalin laadulla. Suoja- ja juurikaasuvalinnoilla on mahdollista vaikuttaa hitsausnopeuteen, tunkeumaan, hitsatun pinnan väreihin sekä juuren puolen päästöväreihin.

Orbitaali-TIG-hitsattavat putket ovat Pivaset Oy:ssä pääosin AISI 304-ruostumattomia teräsputkia. AISI 304 kuuluu austeniittisiin vakioteräksiin, joiden hitsattavuus on erinomainen. Materiaalin lisäaineiden, matalien hiili- ja epäpuhtauspitoisuuksien sekä koostumuksen optimoinnin ansiosta perinteisen ongelmat, kuten raerajakorroosio ja kuumahalkeilu ovat harvinaisia. Materiaalin puolesta edellytykset orbitaali-TIG-hitsauksen onnistumiselle ovat siis erinomaiset.

Pivaset Oy:ssä ohutseinämäisten putkien orbitaali-TIG-hitsauksessa käydään läpi tarvittavat putkien esivalmisteluvaiheet. Esivalmisteluvaiheessa putkien katkaisua ei suoriteta orbitaalilaittevalmistajien suosittelemalla menetelmällä, mutta laadunvalvonnan ja kokemuksen perusteella hitsauksen laatu pysyy tasaisena ja riittävän korkeatasoisena.

## LÄHTEET

Avery, R.E. & Boulton, L.H. 2011. Päästövärit ruostumattomien terästen hitseissä -ohjeita hitsien hyväksymiselle. Hitsaustekniikka 4/2011. s. 30-33.

Esab. Nordic welding expo. Hitsausuutiset [verkkolehti]. 2008, nro 3 [viitattu 4.3.2012]. Saatavissa: <<http://www.esab.fi/fi/fi/news/upload/HU-3-08.pdf>>

Esab. 2012. [Yrityksen verkkosivut]. [viitattu 10.4.2012]. Saatavissa: <<http://www.esab.fi>>

Fronius. Orbital welding facts [verkkolehti]. 2010 [viitattu 2.4.2012]. Saatavissa: <[http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-37888338-515AA070/fronius\\_international/Orbital-welding\\_facts\\_en.pdf](http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-37888338-515AA070/fronius_international/Orbital-welding_facts_en.pdf)>

Kyröläinen, A. & Lukkari, J. 2002. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. Tampere, Tammer-Paino Oy, 525 s.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2006. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki, WSOY, 429 s.

Lukkari, J. 1997. Hitsaustekniikka: Perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki, Oy Edita Ab, 292 s.

Pivaset. 2012. [Yrityksen verkkosivut]. [viitattu 17.4.2012]. Saatavissa: <<http://www.pivaset.fi>>

Polysoude. 2009. The orbital welding handbook. Nantes, Polysoude, 55 s.

Teknohaus. 2012. [Yrityksen verkkosivut]. [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: <<http://www.teknohaus.fi>>