

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

PUTKIEN PÄITTÄISHITSAAMINEN ORBITAALI-TIG-HITSAUKSELLA

BUTT WELDING OF TUBES USING ORBITAL TIG WELDING PROCESS

Lappeenrannassa 13.6.2016

Hugo Lappalainen

Tarkastaja Prof. Jukka Martikainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Hugo Lappalainen

Putkien päittäishitsaaminen orbitaali-TIG-hitsauksella

Kandidaatintyö

2016

37 sivua, 10 kuvaa, 5 taulukkoa ja 3 liitettä

Tarkastaja: Professori Jukka Martikainen

Hakusanat: TIG-hitsaus, orbitaalihitsaus, putki, päittäishitsaaminen, ripaputkilämmönvaihdin

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli esitellä orbitaali-TIG-hitsauksen käyttämistä putkien päittäishitsaamiseen. Työssä esitellään Suomesta saatavia orbitaali-TIG-laitteita ja TIG-hitsausprosessi pääperiaatteiltaan sekä prosessin käyttämistä orbitaalihitsaukseen. Myös orbitaali-TIG-hitsauksen tuottavuuteen ja laatuun liittyviä asioita käydään läpi. Suomesta saatavilla olevista laitteista valittiin toiminnallisten mittojen kannalta sopivimmat kandidaatintyötä varten suunniteltuun ripaputkilämmönvaihtimen hitsaukseen. Työ on pääasiallisesti tehty kirjallisuustutkimuksena käyttäen apuna orbitaalilaitteistojen valmistajien ja jälleenmyyjien haastatteluja. Kirjalliset lähteet koostuvat kotimaisesta ja kansainvälisestä hitsauksen alan kirjallisuudesta ja teksti on pyritty sitomaan yhteen käyttäen useaa eri lähdetä. Laitekohtaiset tiedot saatiin laitevalmistajien tuotetiedotteista ja sähköpostihaastatteluna laitteiden jälleenmyyjiltä ja laitevalmistajilta.

Suomessa orbitaali-TIG-laitteita maahantuo ja jälleenmyy Masino Welding Oy ja Suomen Teknohaus Oy. Suomessa laitteita valmistaa Kemppi Oy, jonka orbitaalilaitteilla on useita jälleenmyyjä. Masino Welding Oy myy saksalaisia Orbitalum GmbH:n laitteita ja Suomen Teknohaus Oy ranskalaisia Polysoude S.A.S.:n laitteita. Näiden laitevalmistajien joukosta suunnitellun ripaputkilämmönvaihtimen hitsaukseen soveltuu Orbitalumilta ja Polysoudelta yhdet sekä Kempiltä kaksi umpipihtimallista orbitaalihitsauspäättä.

Orbitaali-TIG-hitsauslaitteissa virtalähteet ovat kehittyneet eniten vuosien aikana ja eri laitevalmistajien laitteistojen erot ovat pääasiassa virtalähteisiin liittyviä. Ripaputkilämmönvaihtimen hitsaamiseen sopivin hitsauspäämalli on umpipihti, sillä lämmönvaihtimen päädyt ovat hyvin ahtaita ja umpipihdit ovat orbitaalihitsauspäästä kaikkein kompakteimmat. Suomessa orbitaali-TIG-laitteita ei ole kauheasti tarjolla ja laitteiden markkinointi on jossain määrin kannattamatonta. Orbitaalihitsaus on kuitenkin vartenotettava vaihtoehto TIG-käsinhitsaukselle, jos hitsataan paljon samankaltaisia hitsejä.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Hugo Lappalainen

Butt welding of tubes using orbital TIG welding process

Bachelor's thesis

2016

37 pages, 10 figures, 5 tables and 3 appendices

Examiner: Professor Jukka Martikainen

Keywords: TIG welding, orbital welding, tube, butt weld, tube-fin heat exchanger

The meaning of this bachelor's thesis was to present butt welding of tubes using orbital TIG welding process. The thesis presents availability of orbital TIG systems in Finland and the principle of TIG welding process, use of TIG process in orbital welding and quality and productivity aspects. Tube-fin heat exchanger was designed for this thesis and the most suitable orbital welding head was selected from available orbital TIG systems in Finland. The criteria for selection were functional dimensions of the welding heads. The thesis is mainly a literature survey, but interviews of system retailers and manufacturers were also used. The literature sources are composed of Finnish and English welding themed literature and intend was to combine multiple sources to bind the text. Information of the orbital systems came from manufacturer's product specifications and retailers e-mail interviews.

In Finland the retailers of orbital TIG welding systems are Masino Welding Oy and Suomen Teknohaus Oy. There is also a Finnish manufacturer Kemppi Oy. Masino Welding Oy sells German systems manufactured by Orbitalum GmbH and Suomen Teknohaus Oy sells French systems manufactured by Polysoude S.A.S. From these manufacturers there were four closed chamber weld heads suitable for the tube-fin heat exchanger: One from Orbitalum, one from Polysoude and two heads from Kemppi.

The development of orbital TIG welding systems has mostly happened in power supplies and the differences between manufacturer's systems are in power supplies. The most suitable welding heads for the tube-fin heat exchanger are closed chamber weld heads. The ends of the heat exchanger are very narrow and the closed chamber welding heads are the most compact welding heads available for orbital TIG welding. The variety of the availability of the systems isn't that high and apparently markets are somehow unprofitable in Finland. Even so orbital TIG welding is marvelous alternative for TIG hand welding especially if you are welding considerably amount of similar welds.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	7
1.1	Työn tavoite ja rajausta.....	7
1.2	Tutkimusmenetelmät.....	8
2	TIG-HITSAUSPROSESSI	9
2.1	Prosessin periaate.....	9
2.2	Laitteisto	11
2.2.1	Virtalähde.....	12
2.2.2	Hitsauspää.....	12
2.2.3	Suojakaasut ja juuren suojaus	13
2.3	Hyödyt, haitat ja käyttökohteet	14
2.4	Prosessin sovellutukset	15
3	ORBITAALI-TIG-HITSAUS	16
3.1	Komponentit ja laitteistot.....	16
3.1.1	Virtalähde.....	17
3.1.2	Orbitaalihitsauspäät	18
3.1.3	Langansyöttölaite.....	20
3.2	Putken päittäishitsaaminen.....	21
3.3	Tuottavuus ja laatu.....	23
3.4	Laitteiden kehitys.....	24
4	ORBITAALI-TIG-HITSAUSLAITTEET SUOMESSA	26
5	RIPAPUTKILÄMMÖNVAIHTIMEN ORBITAALI-TIG-HITSAUS	29
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	32
7	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET	34

LIITTEET

LIITE I: Orbitalumin ja Kempin orbitaali-TIG-hitsauslaitteistojen mitat.

LIITE II: Polysouden orbitaali-TIG-hitsauslaitteistojen mitat.

LIITE III: Orbitaali-TIG-hitsauslaitteistojen mitoitusperiaatteet.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

D	Putken ulkohalkaisija [mm]
d	Laitteen ympärille jätettävä vapaan tilan halkaisija [mm]
e	Laitteen minimietäisyys seinästä [mm]
f	Elektrodin ja laitteen ulko-osan välinen minimietäisyys [mm]
t	Putken seinämävahvuus [mm]
AVC	Automatic Voltage Control, automaattinen kaaripituuden säätö
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding, katso TIG
MIG/MAG	Metal-arc Inert/Active Gas Welding, metallikaasukaarihitsaus inertillä/aktiivisella suojakaasulla.
OSC	Oscillation, elektrodin vaaputus
PA	Jalkoasento
PC	Vaaka-asento
PE	Lakiasento
PF	Pystyasento ylöspäin
PG	Pystyasento alaspäin
TIG	Tungsten Inert Gas Welding, volframi-inerttikaasukaarihitsaus.

1 JOHDANTO

Putkistoja käytetään paljon teollisuudessa ja energiantuotantolaitoksissa. Niiden pääasiallinen käyttötarkoitus on kuljettaa erilaisia nesteitä ja kaasuja, kuten vettä, vesihöyryä, kemikaaleja ja polttoaineita. Putkien liittämässä hitsausta käytetään kaikkein eniten, vaikka on olemassa monia muita eri menetelmiä. (Cary & Heltzer, 2005, s. 647.)

Putkien mekaaniseen päittäishitsaukseen käytetään käytännössä kahta eri menetelmää. Ensimmäisessä menetelmässä putkia pyöritetään mekaanisesti jollakin putken hitsaukseen soveltuvalla mekanisointilaitteella, kuten pyöritysruullastolla, ja hitsauspää pysyy paikallaan hitsaten railoa putkien pyörähtäessä ympäri. Toisessa menetelmässä hitsattavat putket pysyvät paikallaan, mutta itse hitsauspää pyörähtää mekanisointilaitteen avulla putkien liitoskohdan ympäri. Jälkimmäistä hitsausmenetelmää kutsutaan orbitaalihitsaukseksi. Jauhekaarihitsausta on mahdollista soveltaa vain ensimmäiseen menetelmään, mutta MIG/MAG- (Metal-arc Inert/Active Gas Welding, metallikaasukaarihitsaus inertillä/aktiivisella suojakaasulla.), plasma- ja TIG-hitsausta (Tungsten Inert Gas Welding, volframi-inerttikaasukaarihitsaus) voidaan käyttää molemmissa. (Cary & Heltzer, 2005, s. 653.) Lappeenrannan teknillisen yliopiston hitsaustekniikan professorin Martikaisen mukaan putken mekaaninen ja automaattinen hitsaaminen on tällä hetkellä yleisesti kiinnostava aihe. Markkinoille on tullut uusia orbitaali-TIG-hitsauslaitteistoja, joista ei ole vielä koottua tietoa. (Martikainen, 2014.)

1.1 Työn tavoite ja rajaus

Työn tavoitteena on esitellä orbitaali-TIG-hitsauksen käyttämistä putkien päittäishitsaamiseen. Työssä keskitytään esittelemään tarkemmin Suomesta saatavia eri valmistajien markkinoimia orbitaali-TIG-hitsauslaitteistoja. Työssä käsitellään myös TIG-hitsausprosessi pääperiaatteiltaan ja prosessin käyttäminen orbitaalihitsauslaitteistoissa sekä orbitaalihitsauksen tuottavuutta ja laatua. Suomesta saatavat eri valmistajien laitteet taulukoidaan mittoineen ja laitteista valitaan sopivimmat tätä työtä varten suunnitellun ripaputkilämmönvaihtimen hitsausta varten.

Tutkimusongelmana tässä työssä on tietous Suomessa markkinoitavista orbitaalilaitteistoista. Suomessa on ollut ennen useita yrityksiä, jotka ovat markkinoineet eri valmistajien orbitaali-TIG-laitteita ja markkinoille on tullut myös suomalaisvalmisteinen laite. Tutkimuskysymykset tässä työssä ovat:

- Miten orbitaali-TIG-hitsauslaitteistot ovat kehittyneet vuosien varrella?
- Mitkä yritykset Suomessa maahantuovat ja myyvät laitteistoja?
- Minkä eri orbitaalilaitteistojen valmistajien laitteita Suomesta on saatavilla?
- Miten eri valmistajien laitteistot eroavat toisistaan?
- Millaiset orbitaali-TIG-laitteet sopivat parhaiten ripaputkilämmönvaihtimen hitsaukseen?

1.2 Tutkimusmenetelmät

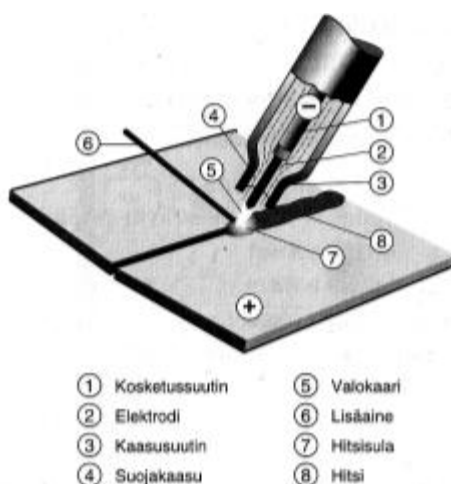
Työ tehtiin kirjallisuustutkimuksena ja lähteenä käytettiin myös orbitaalilaitteistojen jälleenmyyjien haastatteluja. Kirjallisen osuuden lähteet koostuvat kotimaisesta ja kansainvälisestä hitsauksen alan tieteellisestä kirjallisuudesta sekä laitteistovalmistajien luomista oppaista ja tuotetiedotteista. Kirjallisuuslähteet pyrittiin sitomaan keskenään käyttäen samaa tietoa useasta eri lähteestä. Haastattelumenetelminä käytettiin sähköpostihaastattelua. Orbitaali-TIG-hitsauslaitteiden toiminnallisia mittoja taulukoitiin valmistajakohtaisesti. Taulukon arvoja verrattiin tätä työtä varten SolidWorks-suunnitteluohjelmistolla piirretyn ripaputkilämmönvaihtimen päädyssä olevien putkimutkien ja putkilevyn läpi tulevien putkien päittäishitsauksen luoksepäästävyyttä varten.

2 TIG-HITSAUSPROSESSI

TIG-hitsaus eli Tungsten Inert Gas Welding on kaasukaarihitsausprosessi, jossa sulamattoman volframielektrodin ja hitsisulan välissä palaa valokaari. Hitsaustapahtumaa suojaa inertti suojakaasu ja hitsaus voidaan suorittaa lisäaineella tai ilman. TIG-hitsausprosessi kehitettiin 1930-luvulla, jolloin sitä käytettiin raudattomien ja vaikeasti hitsattavien metallien liittämiseen. Prosessi tunnetaan amerikkalaisittain nimellä Gas Tungsten Arc Welding (GTAW). (Cary & Heltzer, 2005, s. 69.)

2.1 Prosessin periaate

TIG-hitsausprosessi perustuu valokaareen, joka palaa volframielektrodin ja työkappaleen välillä. Syntyvä valokaari sulattaa hitsattavan perusaineen muodostaen hitsisulan valokaaren lämpötilan ollessa noin 6100 °C. Hitsattaessa laippa- ja pienaliitoksia ohuella perusaineella TIG-hitsauksessa ei tarvitse käyttää hitsauslisäainetta. Hitsauslisäainetta käytetään hitsattaessa paksumpia ainevahvuuksia. Tällöin lisäainelanka tuodaan suoraan hitsisulaan ja valokaari sulattaa lisäaineen työkappaleeseen. Hitsaustapahtumaa ympäröivältä ilmalta suojaa TIG-hitsauspolttimen kaasusuuttimesta virtaava inertti suojakaasu, joka ei reagoi hitsaustapahtuman kanssa. Suojakaasuna käytetään joko argonia, heliumia tai niiden seosta ja sen tehtävä on syrjäyttää ilma ja estää siinä olevien hapen ja typen reagoimista elektrodin ja hitsisulan kanssa eli hapettumista. (Cary & Heltzer, 2005, s. 69; Lukkari, 2002, s. 249; Lepola & Makkonen, 2006, s. 159.)



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

Yleensä TIG-hitsaus suoritetaan tasavirralla ja elektrodin ollessa –napainen. Riippuen hitsattavasta materiaalista elektrodin napaisuus ja käytettävä virtalaji kuitenkin vaihtelee. Elektrodi voi olla +napainen tai hitsaukseen käytetty virta vaihtovirtaa. Taulukosta 1 nähdään materiaalin vaikutus elektrodin napaisuuteen ja virtalajiin. Hitsattaessa tasavirralla voidaan virtaa syöttää jatkuvana vakiovirtana tai haluttaessa hitsausvirtaa syötetään vaihtuvissa sykleissä eli käytetään pulssivirtaa. Vaihtovirtaa käytettäessä virranmuoto voi vaihdella tasaisesta siniaallosta suorakaiteen muotoiseen aaltoon. (Lukkari, 2002, s. 276.)

Taulukko 1. Virtalajien soveltuvuus TIG-hitsauksessa (mukaillen: Lukkari, 2002, s. 276).

Hitsattava materiaali	Tasavirta		Vaihtovirta
	DC–	DC+	AC
Alumiini (alle 2,5 mm)	2	2	1
Alumiini (yli 2,5 mm)	2	3	1
Magnesium	3	2	1
Seostamattomat teräkset	1	3	3
Ruostumattomat teräkset	1	3	3
Kupari	1	3	3
Pronssi	1	3	2
Alumiinipronssi	2	3	1
Piipronssi	1	3	3
Nikkeli ja sen seokset	1	3	2
Titaani	1	3	2

Lukuarvot kuvaavat ohjeellisesti virran soveltuvuutta:
 1 = antaa parhaan tulokset
 2 = antaa hyvän tuloksen
 3 = ei suositella tai mahdoton

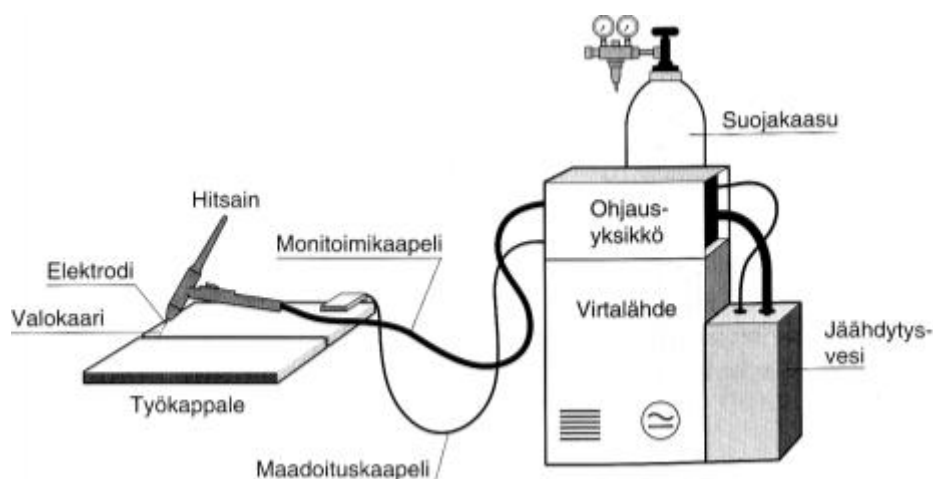
Taulukosta 1 poiketen alumiiniputkien orbitaalihitsaukseen käytetään tasavirtaa ja elektrodia –napaisena. Tällöin hitsauksen sytytyskaasuna käytetään argonia ja suojakaasuna heliumia, koska heliumin avulla saavutetaan oksidikalvon sulattava korkeampi kaariteho. (Lukkari, 2003, s. 13.)

Valokaaren sytyttämiseen on TIG-hitsauksessa kolme eri tapaa: raapaisu-tytitys, kontaktisytytys ja kipinäsytytys. Raapaisu-tytityksessä valokaaren sytytys tapahtuu lähes samalla tavalla kuin puikkohitsauksessa; virrallisen elektrodin kärkeä kosketetaan kevyesti hitsattavaan työkappaleeseen, minkä jälkeen kärki nostetaan hieman ylös kappaleesta ja

valokaari syttyy. Valokaaren syttyminen perustuu pieneen jännitteeseen ja suureen virtaan, joka kuumentaa elektrodin. Elektrodin kuumentuessa, työkappaleen metallia kaasuuntuu hieman. Tällöin kaariväli ionisoituu ja valokaari syttyy. Raapaisusytytys ei ole paras keino sytyttää valokaari, sillä elektrodin kärki saattaa vaurioitua kosketuksessa ja se voi aiheuttaa sytytyskohtaan volframisulkeuman. Kontaktisytytyksessä elektrodin kärjellä kosketetaan työkappaleen pintaa kevyesti, kuten raapaisusytytyksessä, mutta ilman virtaa. Kosketuksen aikana hitsauspään liipaisinta painettaessa elektrodin ja työkappaleen läpi kulkee pieni virta. Tämä virta sytyttää pienen valokaaren ja kun elektrodia nostetaan ilmaan työkappaleesta, syntyy varsinainen hitsausvalokaari. Etuna kontaktisytytyksessä on, että se ei vahingoita elektrodin kärkeä tai synnytä mahdollisesti muille lähellä oleville laitteille häiriötä aiheuttavaa kipinää. Näistä kolmesta sytytysmekanismista kipinäsytytys on yleisimmin käytetty. Elektrodia pidetään muutaman millimetrin päässä työkappaleesta ja erillinen sytytyslaite synnyttää suurjännitekipinän elektrodin ja kappaleen välille. Tällöin kaaritila ionisoituu ja valokaari syttyy. (Lukkari, 2002, s. 253.)

2.2 Laitteisto

Perinteiseen TIG-hitsauslaitteistoon kuuluu virtalähde, ohjausyksikkö, suojakaasupullo, maadoitus- ja monitoimikaapelit, hitsauspoltin sekä työkappale (kuva 2). Jos hitsattaessa käytetään suuria virtoja (150–200 A), on hitsauspoltin vesijäähdytetty ja tarvitaan erillinen kiertoaite jäähdytysvedelle. Käsini hitsattaessa on mahdollista TIG-hitsauslaitteistoon asentaa poljin, jonka avulla virtaa voidaan säätää hitsauksen aikana. (Cary & Heltzer, 2005, s. 70; Lepola & Makkonen, 2006, s. 160.)



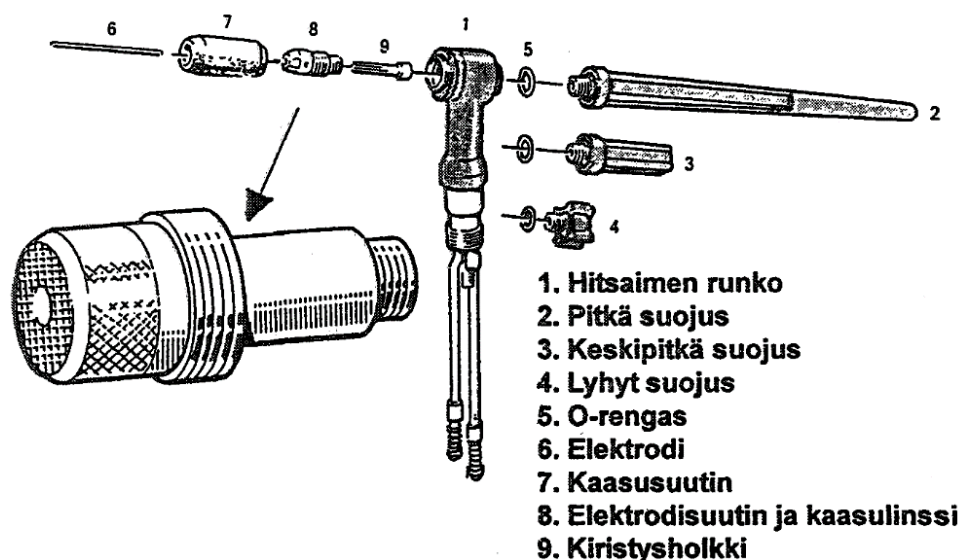
Kuva 2. TIG-hitsauslaitteisto (Lepola & Makkonen, 2006, s. 160).

2.2.1 Virtalähde

TIG-hitsauksessa käytetään vakiovirtalähdettä ja tavanomaisesti puikkohitsauksessa käytetty virtalähde soveltuu myös TIG-hitsaukseen ja toisinpäin. Virtalähteeksi suositellaan kuitenkin käytettävän TIG-hitsaukseen valmistettuja vakiovirtalähteitä, sillä niissä on prosessikohtaisia lisäominaisuuksia. Pelkkää tasavirtaa saadaan niin kutsutulla tasasuuntaajalla ja pelkkää vaihtovirtaa hitsausmuuntajalla. Nykyään virtalähteet ovat kuitenkin yleisimmin kaksoisvirtalähteitä, joista saadaan helposti kytkimellä säädettyä hitsausvirraksi tasa- tai vaihtovirta. Tavanomaisesti virtalähteiden käyttövirrat vaihtelevat välillä 3–200 A ja 5–300 A ja jännitteet välillä 10–35 V kaariaikasuhteen ollessa 60 %. (Cary & Heltzer, 2005, s. 70–71; Lepola & Makkonen, 2006, s. 161; Lukkari, 2002, s. 259.)

2.2.2 Hitsauspää

Hitsauspäitä, joita käytetään vain TIG-hitsaukseen, on periaatteeltaan neljää erilaista mallia: automaattiseen hitsaukseen, käsinhitsaukseen, ilmajähdytteiset pienemmille virroille (200 A saakka) ja vesijähdytteiset suuremmille virroille (600 A saakka). Hitsauspää pitää vakaasti elektrodin paikallaan johtaen siihen virtaa ja ohjaa suojakaasun hitsaustapahtumaan. Monitoimikaapeli välittää virtalähteeltä ja ohjausyksiköltä hitsauspäälle hitsaus- ja ohjausvirran, suojakaasun sekä mahdollisen kiertoveden jäähdytystä varten. Automaattiseen ja käsinhitsaukseen tarkoitetuilla hitsauspäillä ei toiminnan kannalta ole mitään eroa. Suurin eroavaisuus on käsinhitsaukseen tarkoitettu hitsauspäässä liipaisimella varustettu kahva. Liipaisimella hitsaaja ohjaa virrankulkua elektrodille ja suojakaasun virtausta. Automaattiseen hitsaukseen tarkoitettujen hitsauspäät asetetaan säädettyyn telineeseen. Kuvassa 3 on esitetty hitsauspään yleinen rakenne. (Cary & Heltzer, 2005, s. 71–72; Lukkari, 2002, s. 259–260.)



Kuva 3. Hitsauspään rakenne. (Lukkari, 2002, s. 260.)

2.2.3 Suojakaasut ja juuren suojaus

Suojakaasuna TIG-hitsauksessa käytetään inerttejä eli reagoimattomia kaasuja volframielektrodin kestävyuden vuoksi. Käytetyt inertit suojakaasut ovat argon, helium tai niiden seos, sillä ne ovat halvimpia inerttejä kaasuja. Erityistapauksissa, kuten hitsattaessa mekaanisesti austeniittisiä ruostumattomia teräksiä, hitsaukseen voidaan käyttää inertin ja pelkistävän kaasun seosta. Hitsauksessa käytettävän suojakaasun valinta perustuu hitsattavaan perusmateriaaliin. Hitsausohjeista saadaan selville hitsattavalle materiaalille suositeltu hitsauskaasu ja kaasuvirtaus. (Cary & Helzer, 2005, s. 73; Lukkari, 2002, s. 264.)

Näistä edellä mainituista suojakaasuista yleisimmin käytetty on argon. Heliumiin verrattuna argon on halvempaa Euroopassa. Argon suojaa tehokkaammin pienemmällä kaasuvirtauksella valokaarta, sillä se on ilmaa raskaampi kaasu. Helium on ilmaa kevyempää ja se pyrkii leijumaan helpommin pois hitsaustapahtumasta. Tämän vuoksi heliumilla hitsattaessa kaasuvirtauksen tulee olla suurempi kuin argonilla. Argonilla valokaaren syttyminen on helpompaa ja se tuottaa pienempää kaarijännitettä ja hitsausenergiaa verrattuna heliumilla hitsaukseen. Heliumilla on hitsausenergian ja kaarijännitteen myötä suurempi tunkeuma. Tällöin heliumilla voidaan saavuttaa suurempi hitsausnopeus ja esikuumennustarve on pienempi materiaaleille, joilla on hyvä lämmönjohtavuus. Argonin ja heliumin seosta käytetään suojakaasuna silloin, kun

hitsausohje sitä vaatii tai hitsauksen kohteena on tietty materiaali kuten alumiini tai kupari. (Cary & Helzer, 2005, s. 73; Lukkari, 2002, s. 264.)

Juuren suojaus tulee tarpeelliseksi TIG-hitsauksessa aina, kun hitsataan ruostumattomia teräksiä ja titaania sekä joissain tapauksissa myös niukkaseosteisten teräksien hitsauksessa. Ruostumattomien putkien hitsaus on juuren suojauksen yleisin käyttökohde. Hitsauksesta aiheutuva lämpö ylittää hapettumislämpötilan ja leviää suurelle alueelle, milloin hitsattava perusmateriaali pääsee reagoimaan ilman hapen, typen ja vedyn kanssa. Ruostumattomilla teräksillä reagointi huonontaa hitsin ja sen ympäristön korroosionkestävyyttä sekä pinnanlaatua. Happi, typpi ja vety reagoivat titaanin ja sen seosten kanssa herkästi aiheuttaen haurautta sekä suurilla vetypitoisuuksilla huokosmuodostusta (AGA, 2013, s. 25). Juuren suojaus voidaan tehdä juurikaasulla, -tuella, -teipillä tai -tahnalla. Paras juuren suojaus saadaan aikaan käyttämällä juurikaasua. Juurikaasuna TIG-hitsauksessa käytetään argonia tai niin kutsuttua formierkaasua, eli typen ja vedyn seoskaasua (esimerkiksi 88 % N_2 + 12 % H_2). Formierkaasua voidaan käyttää juurikaasuna ruostumattomien ja seostamattomien terästen hitsauksessa. (Lepola & Makkonen, 2006, s. 172–173; Lukkari, 2002, s. 265, 267–268.)

2.3 Hyödyt, haitat ja käyttökohteet

TIG-hitsauksella saadaan aikaan korkealaatuista hitsiä lähes jokaiseen hitsattavaan metalliin vaatien kuitenkin ammattitaitoista hitsaajaa, hyvin valmisteltua ja puhdasta railoa ja ympäristöä sekä oikeanlaisen suojakaasun. Hitsit ovat metallurgisesti puhtaita ja hyvinmuotoisia. TIG-hitsauksessa roiskeita ei pääse syntymään tai niitä on hyvin vähän, koska lisäainetta ei tuoda suoraan valokaareen vaan hitsisulaan. Hitsauksen jälkeen hitsit vaativat jälkityöstöä vähän tai eivät ollenkaan. Hitsauksen aikana hitsaaja näkee selvästi valokaareen ja hitsisulan, mikä helpottaa hitsaajaa säätelemään ja ohjaamaan lämmön ja valokaaren oikeaan paikkaan parhaimman mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. TIG-hitsaus voidaan suorittaa kaikissa hitsausasunnoissa ja koska hitsaustapahtuman suojaksi käytetään suojakaasua, ei hitsiin pääse muodostumaan kuonaa eikä täten kuonasulkeumia. Hitsaus voidaan suorittaa pienillä virroilla ja hyvin ohuille ainevahvuuksille (0,1 mm alkaen). Laitteisto on hyvin kompakti ilman erilaisia

lisävarusteita ja hitsauspää on kätevän kokoinen. (Cary & Helzer, 2005, s. 69–70, 74; Lukkari, 2002, s. 257.)

Monien hyvin ominaisuuksien lisäksi on myös joitain huonoja. TIG-hitsaus on hyvin arka vedolle, koska hitsaustapahtumaa suojaa kaasu. Siksi hitsaus tulisi suorittaa mieluiten sisällä, ellei ulkona hitsaukseen ole järjestetty asianmukaista suojausta. Muihin kaarihitsausprosesseihin verrattuna laitteistot ovat kalliita ja TIG-hitsauksella ei saavuteta suurta hitsiaineentuottoa, koska hitsausnopeus on pieni ja varsinkin isojen railojen täyttö on hidasta. (Cary & Helzer, 2005, s. 75; Lukkari, 2002, s. 257.)

Runsasseosteiset, seostamattomat ja niukkaseosteiset teräkset, alumiinit, nikkelit magnesiumit, kuparit ja titaanit ovat metalleja, joita TIG-hitsauksella hitsataan. Näistä prosessille yleisimmin hitsattavat metallit ovat seostamattomat teräkset ja alumiinit. Prosessia käytetään sekä tuotannon puolella että asennushitsaamiseen ja erilaisiin huolto- ja korjaushitseihin. Yleisimmin TIG-hitsausta käytetään ohuiden materiaalien liittämiseen ja erityistä tarkkuuta vaativiin hitseihin. Prosessi soveltuu myös paksumpien ainevahvuuksien hitsaukseen, mutta ainevahvuuksien ylittäessä 6-8 mm on kannattavampaa valita käyttökohteeseen tehokkaammin soveltuva hitsausprosessi. TIG-hitsausta käytetään esimerkiksi prosessi- ja paineputkien (ohutseinämäisten putkien päittäisliitokset ja paksuseinämaisten putkien juurihitsit), lämmonsäilytimien putkilevyjen ja ruostumattomasta teräksestä valmistettavien tuotteiden hitsaukseen sekä avaruus- ja lentokoneolosuhteiden sovellutuksiin. (Cary & Helzer, 2005, s. 70; Lukkari, 2002, s. 255–257.)

2.4 Prosessin sovellutukset

TIG-hitsausprosessista on kehitelty erilaisia sovellutuksia, joista tuoreimmat ovat TIP TIG ja TOPTIG. Tavanomaisesti automatisoidussa TIG-hitsauksessa langansyöttölaite syöttää lankaa hitsauksen aikana samalla nopeudella suhteutettuna hitsausnopeuteen ja suuressa kulmassa elektrodiin nähden. TIP TIG on tästä variaatio, jossa hitsauslanka syötetään edestakaisella liikkeellä eli oskilloiden. TOPTIG:ssä taas langansyöttö tapahtuu uudelleenlaisella hitsauspäällä, jossa lanka tulee hitsaustapahtumaan pienessä kulmassa hitsauspään sisältä. (Fortain, Rimano & Vaidya, 2008, s. 38; Wilson, 2007, s. 462–463.)

3 ORBITAALI-TIG-HITSAUS

Putkien hitsausta on kaikkialla. Sitä tarvitaan niin avaruus-, lento-, lääke- ja elintarviketeollisuudessa kuin jokapäiväisissä infrastruktuureissa ja prosessiputkistoissa, kuten ydinvoimaloissa, voimalaitosten putkistoissa sekä öljy- ja kaasulinjoissa. Kun putkihitsiltä vaaditaan korkeaa laatua, kannattaa hitsausmenetelmänä käyttää orbitaalihitsausta. Sana orbitaali tulee latinankielisestä sanasta orbis, joka tarkoittaa ympyrää. Orbitaalihitsauksessa mekaaninen kuljetin kuljettaa hitsauspäättä kiinteäasentoisen putken ympäri. Riippuen hitsattavan putken asennosta, hitsausasento vaihtelee. Kun hitsausasento vaihtelee kesken hitsin, tulee hitsaamisesta haastavampaa, sillä painovoima vaikuttaa hitsisulaan eri asennoissa eri tavalla. Vaakatasossa olevaa putkea hitsattaessa esiintyvät kaikki hitsausasennot (PA (jalkoasento), PE (lakiasento), PF (pystyasento ylöspäin) ja PG (pystyasento alaspäin)), kun taas putken ollessa pystyasennossa vain vaaka-asento (PC). (Lukkari, 2003; Polysoude, 2016, s. 7.)

Putkien hitsauksessa orbitaalihitsausta käytetään joko putkien päittäisliittämiseen tai putkien liittämiseen putkilevyihin. Putkien päittäisliittämällä tarkoitetaan putkien liittämistä keskenään tai putken liittämistä erilaisiin putkiosiin, kuten putkimutkiin, venttiileihin, laippoihin ja T-haaroihin. Putkilevyjä valmistaessa putkia hitsataan rei'itettyyn levyyn, joita käytetään muun muassa lämmönvaihtimissa ja höyrykattiloissa. Tässä työssä keskitytään orbitaalihitsauksen käyttämistä putkien päittäisliitoksiin. (Lukkari, 2003; Polysoude, 2016, s. 7.)

3.1 Komponentit ja laitteistot

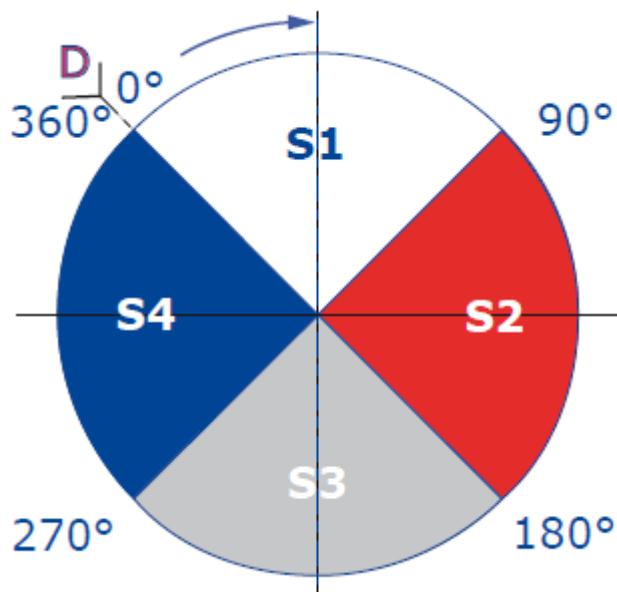
Jotta putkia voidaan hitsata orbitaali-TIG-hitsauksella, tarvitaan asiaan kuuluva laitteisto. Laitteistoon kuuluu ohjelmoitava virtalähde, kauko-ohjain, orbitaalihitsauspää ja tarvittaessa lisäainelangan syöttölaite. Kauko-ohjain on joko kiinnitettynä hitsauspäähän tai se on erillisenä laitteena. (Polysoude, 2016, s. 17.)

3.1.1 Virtalähde

Orbitaali-TIG-hitsauksessa virtalähde koostuu useasta eri toiminnon omaavasta osakokoonpanosta. Varsinaisena invertteri-tyyppisenä virtalähteenä käytetään joko yhtä tai kahta virtalähdettä. Yksi virtalähde tarvitaan pelkästään hitsaukseen, mutta jos hitsaus suoritetaan kuumalankahitsauksena, lisäainelangan lämmitykseen on oltava oma virtalähde. Virtalähteeseen kuuluu ohjelmoitava ohjausyksikkö, jota ohjataan joko siihen yhdistetyllä tai erillisellä tietokoneella. Virtalähteet on varusteltu tiedonkeruujärjestelmällä, joka kerää yksityiskohtaiset tiedot jokaisesta hitsaustapahtumasta. (Polysoude, 2016, s. 18.) Lähes poikkeuksetta virtalähteeseen kuuluu myös suljetulla kierrolla toimiva nestejäähdytysyksikkö, joka jäähdyttää orbitaalihitsauspäätä. Yleensä jäähdytysnesteenä käytetään vettä. Virtalähde tarkkailee jäähdytettävän nesteen virtausta hitsauksen aikana. Jos jäähdytyksessä havaitaan jokin ongelma, virtalähde lopettaa hitsauksen automaattisesti. (Polysoude, 2016, s. 29.)

Hitsausasennon muuttuessa hitsisula käyttäytyy eri tavalla painovoiman vaikutuksesta. Orbitaali-TIG-hitsaus suoritetaan yhtäjaksoisesti kierros kerrallaan ja jatkuva hitsaus lämmittää putkea huomattavasti. Näistä kahdesta syystä orbitaalihitsauksessa käytettävän virtalähteen tulee olla ohjelmoitavissa. Hitsattava putki voidaan jakaa eri sektoreihin ympärysmittan suhteen ja jokaisessa sektorissa käytetään eri hitsausparametrejä. Parametrit vaihtuvat jokaisen sektorin alussa ja sektoreille määrätään optimaaliset parametrit siksi, että hitsisulasta saadaan tasakokoinen ja tunkeuma pysyy yhtäläisenä koko hitsin pituudelta. Putken lämmitessä hitsausvirtaa voidaan pienentää hitsin edetessä. Riippuen hitsattavasta metallista sektoreiden lukumäärä vaihtelee, mutta yleensä 2-5 sektoria on riittävä määrä. Metalleille, joiden hitsisula on juoksevampaa, joudutaan putken hitsaus jakamaan useampaan sektoriin. (Lukkari, 2003; Polysoude, 2016, s. 17.) Kuvassa 4 on esimerkki, kuinka orbitaalihitsauksen sektorit voitaisiin jakaa vaaka-asentoiselle putkelle. Kuvan 4 esimerkin mukaan neljän eri sektorin hitsausasennot tällöin olisivat (Polysoude, 2016, s. 17):

- sektori S1, 0°-90°, jalkoasento PA
- sektori S2, 90°-180°, pystyasento alaspäin PG
- sektori S3, 180°-270°, lakiasento PE
- sektori S4, 270°-360°, pystyasento ylöspäin PF.



Kuva 4. Esimerkki orbitaalihitsauksen ohjelmoitavien sektoreiden jaosta (Polysoude, 2016, s. 17).

3.1.2 Orbitaalihitsauspäät

Putkien päittäishitsaukseen tarkoitettuja orbitaalihitsauspäitä on kahta eri mallia: putkihitsaustyökalu eli niin sanotut putkipihdit ja putken pinnalla olevaa rataa pitkin liikkuva hitsausvaunu. Putkipihdit voidaan jakaa vielä avoimeen putkihitsaustyökaluun eli avopihteihin ja koteloituun putkihitsaustyökaluun eli umpipihteihin. Orbitaalihitsauspäät, lukuun ottamatta umpipihtejä, on mahdollista varustaa erilaisilla lisäominaisuuksilla, kuten automaattisella langansyötöllä, AVC-toiminnolla (Automatic Voltage Control eli automaattinen kaaripituuden säätö) tai hitsin poikittaisella levitysliikemekanismilla (tunnettu myös nimellä vaaputus). (Lukkari, 2003; Polysoude, 2016, s. 20–21.)

Pihtimallisissa hitsauspäissä itse hitsauspään runko pysyy putken suhteen paikallaan elektrodin pyörähtäessä putken ympäri. Pihdit lukitaan putken ympärille lähes samankaltaisella mekanismilla kuin lukkopihdit. Ne ovat tarkoitettu pienten ja keskiuurten putkien hitsaukseen; hitsattavien putkien halkaisijat vaihtelevat vajaasta kahdesta millimetristä 275 millimetriin. Putken halkaisijan ylittäessä 200 mm kannattaa hitsaukseen käyttää hitsausvaunua, sillä isommat hitsauspihdit olisivat epäkäytännölliset. Yhdellä pihtimallisella hitsauspäällä voidaan hitsata useamman eri halkaisija-alueen putkia

(esimerkiksi 17–49 mm). (Lukkari, 2008; Polysoude, 2016, s. 20–21.) Kuvassa 5 on esitelty molemmat pihtimalliset hitsauspäät.

Umpipihdit on tarkoitettu sulattavaan hitsaukseen ilman lisäainetta. Hitsattaessa pihtien kotelon sisällä oleva elektrodi pyörähtää hitsattavan putken ympäri. Umpipihdeissä ei ole erillistä kaasusuutinta, sillä hitsaustapahtumaa suojaava kotelo on täytetty kokonaan suojakaasulla. Koska hitsaus tapahtuu kotelon sisällä ja hitsaustapahtuma on suojattuna, voidaan umpipihdeillä hitsata helposti myös ulkotiloissa. Umpipihtien halkaisija-alue on pienempi ja ne ovat kalliimpia kuin avopihdit. (Lukkari, 2003; Polysoude, 2016, s. 20.)

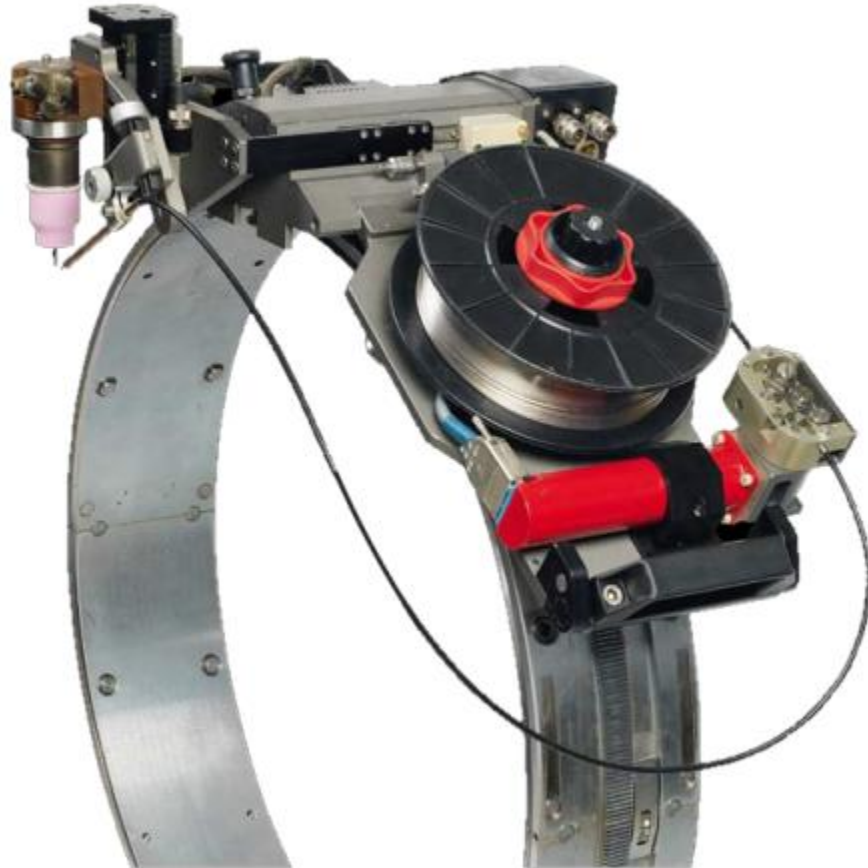
Avopihtejä voidaan käyttää sekä lisäaineella että ilman. Avopihdit kuljettavat TIG-hitsauspoltinta ja kaasusuutinta putken ympäri. Samalla tavalla kuin käsinhitsauksessa, hitsaustapahtumaa suojaa kaasusuuttimesta virtaava suojakaasu. Hitsaustapahtuma on avoin, jolloin hitsausoperaattori pystyy valvomaan hitsaustapahtuman kulkua koko ajan. Koska umpipihdit ovat epäsymmetrisiä, ne on mahdollista sijoittaa lähelle putkilinjan mutkaa tai seinää. (Lukkari, 2003; Polysoude, 2016, s. 21.)



Kuva 5. Pihtimalliset hitsauspäät, vasemmalla umpipihdit ja oikealla avopihdit (mukaillen: Orbitalum, 2016, s. 28, 47).

Hitsausvaunu kuljettaa hitsauspäättä putken pinnalle asennettua rataa pitkin. Käytettäviä ratoja on kiinteitä (kuvassa 6 kaksi hammastangolla varustettua ympyräsegmenttiä) ja joustavia (putken ympärille asetettu ketju tai teräsnauha). Niiden avulla voidaan hitsata putkia, joiden halkaisija on esimerkiksi 114 millimetristä ylöspäin. Kiinteät radat soveltuvat pienelle halkaisija-alueelle (esimerkiksi ± 5 mm), kun taas joustavat radat

voidaan kiristää putken halkaisijalle sopivaksi. Hitsausvaunuun on mahdollista asentaa tavanomainen kaasusuuttimella varustettu TIG-hitsauspää tai kapearailohitsauspää. (Lukkari, 2003; Polysoude, 2016, s. 21.)



Kuva 6. Hammastangoilla varustettu putkeen asetettava kiinteä rata, johon hitsausvaunu on kiinnitetty (Polysoude, 2010, s. 2).

3.1.3 Langansyöttölaite

Orbitaalihitsauksessa langansyöttölaitetta käytetään avopihti- ja hitsausvaunu-mallisissa hitsauspäissä. Se voi olla kiinnitettyä suoraan hitsauspähän (kuva 6) tai olla erillisenä yksikkönä. Lisäainelankakelan koko määrää käytetäänkö laitteessa integroitua vai ulkoista langansyöttölaitetta. (Polysoude, 2016, s. 23.)

TIG-hitsauksessa langansyöttö voidaan tehdä kahdella eri tavalla: kylmälankana tai kuumalankana. Kylmälankahitsauksella tarkoitetaan niin sanotusti tavallista TIG-hitsausta, jolloin lisäainelanka tuodaan hitsisulaan ilman lämmitystä. Kuten aiemmin kohdassa 3.1.1

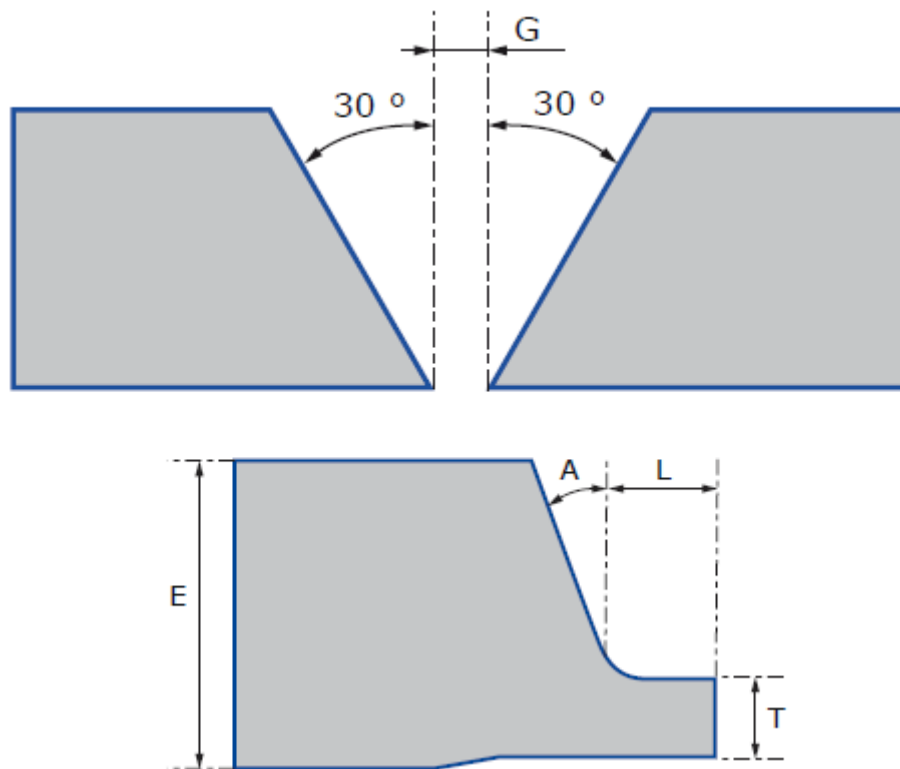
mainittiin, kuumalankahitsaukseen tarvitaan oma virtalähde, jonka avulla hitsauslanka lämmitetään resistiivisesti ja lämmityksen jälkeen tuodaan hitsisulaan. Kuumalankahitsauksessa lisäainelankaa sulaa enemmän, jolloin lankaa voidaan syöttää nopeammin ja hitsiaineentuotto kasvaa. (Polysoude, 2016, s. 45; Lukkari, 2003, s. 15.)

3.2 Putken päittäishitsaaminen

Kuten mekanisoitu hitsaus yleensä, orbitaali-TIG-hitsaus vaatii tarkat esivalmistelut. Käsinhitsauksessa hitsaaja pystyy tarpeen tullen tekemään pieniä korjauksia hitsiin, jos putkien esivalmistelut on tehty epätarkasti. Orbitaalilaitte tekee vain mitä siihen on ohjelmoitu tehtäväksi, eikä se osaa ottaa huomioon esimerkiksi eroavaisuuksia railossa tai havaitse ilmarakoa. Orbitaalihitsauksessa tulee olla tarkka jo hitsattavan putken mittatoleransseista ja railonvalmistuksen tarkkuudessa sekä putket tulee sovittaa tarkasti vastakkain ennen hitsauksen aloittamista. Orbitaali-TIG-hitsauksessa esivalmistelu viekin yli puolet varsinaisesti hitsauksen työajasta. (Lukkari, 2003, s. 16.)

Hitsattaessa ohutseinämäisten putkien (seinämävahvuus $t \leq 3-3,5$ mm) päittäishitsejä, tulee hitsattavien putkien päät olla tarkasti valmisteltuja. Ohutseinämäiset putket hitsataan I-railoon, jolloin lisäaineen käyttö ei ole tarpeellista. Putkien päät voidaan valmistella viistoitus koneella, jolloin niistä saadaan suorakulmaiset, sillä putkien väliin ei saa jäädä ilmarakoa. Hitsattava alue on myös tarkasti puhdistettava rasvasta ja muusta liasta. Hitsattavat putket tulee paikoittaa tarkasti ennen hitsausta. Paikoituksen helpottamiseksi voidaan käyttää putkien sisälle tulevaa paikoitustyökalua. Paikoitetut putket silloitushitsataan yhteen ilman lisäainetta. Silloitusten tulee olla huomattavasti pienempiä kuin varsinaisen hitsin, jotta silloitushitsit sulavat ja jäävät hitsin alle. (Lukkari, 2003, s. 19; Polysoude, 2016, s. 37.)

Paksumpia putkia ($t > 3,5$ mm) hitsattaessa putkien päihin on valmistettava railo ja hitsauksessa on käytettävä lisäainetta. Käsinhitsauksessa käytetään tavanomaisesti 60 asteen V-railoa (kuva 7) ja putkien väliin jätetään vaadittava ilmarako. Orbitaali-TIG-hitsauksessa tätä tavanomaista V-railoa ei suositella käytettäväksi. V-railoon hitsattaessa on vaarana, että juurihisiin syntyy virheitä johtuen railon seinämien sulamisesta ja valumisesta juureen. (Lukkari, 2003, s. 19; Polysoude, 2016, s. 41.)



Kuva 7. Ylempänä on käsinhitsauksessa yleisesti käytetty 60 asteen V-railo ja alhaalla on orbitaali-TIG-hitsaukseen suositeltu railomuoto (mukaillen: Polysoude, 2016, s. 41).

Orbitaalihitsaukseen suositeltu railomuoto on molemminpuolinen J-railo, joka on tunnettu myös nimellä U-railo (kuva 7). J-railossa ei juurenpuolella ole ollenkaan ilmarakoa, mikä on orbitaalihitsauksessa ominaista. V-railoon verrattuna J-railolla saavutetaan hitsin tasainen tunkeuma ja parempi juuren sulaminen eikä hitsistä tule liian kuperaa. J-railoon hitsattaessa myös lisääineen tarve on pienempi (pienempi poikkipinta-ala), milloin saavutetaan parempi tuottavuus. Paksumpia putken seinämävahvuuksia hitsattaessa voidaan käyttää myös niin kutsuttua kapearailoa, joka on J-railosta hieman kapeampi versio eli railon kulma on huomattavasti pienempi. Orbitaalihitsauksessa railot valmistetaan koneistamalla. Railonvalmistuksessa voidaan käyttää siihen tarkoitukseen valmistettuja koneita, kuten railojyrsintä. Tällöin railot saadaan samanmuotoisiksi ja oikeaan toleranssiin. (Lukkari, 2003, s. 16, 19; Polysoude, 2016, s. 41.) Taulukossa 2 on esitelty kuvan 7 mukaisen J-railon Polysouden suosittelemat mitat putken seinämävahvuuden mukaan.

Taulukko 2. Suositeltavat mitat orbitaalihitsattavalle J-railolle (kuva 7) (mukaillen: Polysoude, 2016, s. 41).

Putki	Kulma [°]	Kaulus [mm]	
Putken seinämä [mm]	A	T	L
$3 < E \leq 6$	30°	1	2
$E \leq 6$		1,5	2
$10 \leq E \leq 15$	20°		

3.3 Tuottavuus ja laatu

TIG-käsinhitsaukseen verrattuna orbitaali-TIG-hitsauksella saavutetaan suurempi tuottavuus. Huolimatta siitä, tapahtuuko hitsaus työmaalla vai tuotantolaitoksella, orbitaalihitsauksella saadaan aikaan peräjälkeen luotettavia ja tasalaatuisia hitsejä. (Polysoude, 2016, s. 13.) Hitsaustekniikka-lehdessä (Lukkari, 2003, s. 12) toimittaja DI Juha Lukkari on esittänyt esimerkin englantilaisesta selvityksestä, jossa vertailtiin ruostumattomien teräsputkistojen asennushitsausta TIG-käsinhitsauksella ja orbitaali-TIG-hitsauksella. Selvityksessä seuranta-aika oli 50 viikkoa, putkistojen kokonaispituus 9800 m ja hitsien kokonaislukumäärä 3522 kappaletta. Taulukossa 3 on esitetty selvityksessä ilmaantuneet eroavaisuudet prosessien välillä.

Taulukko 3. Selvityksen tuottavuus ja laatu TIG-käsinhitsauksen ja orbitaali-TIG-hitsauksen välillä (Lukkari, 2003, s. 12).

Prosessi	Hitsien tuotantomäärä [hitsiä/viikko]	Hitsien hyväksymisaste [%]
TIG-käsinhitsaus	6,1	86,9
Orbitaali-TIG-hitsaus	13,1	92,5

Kuten taulukon 3 arvoista nähdään, orbitaali-TIG-hitsauksella voidaan saavuttaa yli kaksinkertainen tuottavuus käsinhitsaukseen verrattuna ja orbitaalihitsauksen laatu on parempaa. Orbitaalihitsauksen hyvä laatu saadaan aikaiseksi hitsien toistettavuudella. Samankaltainen hitsi voidaan toistaa niin useasti kuin tarpeellista, kun hitsauspäättä ohjaa virtalähteen tietokone. Käsinhitsauksessa hitseistä tulee aina tavalla tai toisella erilaisia ja virheiden mahdollisuus on suurempi inhimillisistä tekijöistä johtuen. (Polysoude, 2016, s. 13.)

3.4 Laitteiden kehitys

Orbitaali-TIG-laitteiden hitsauspäät eivät ole kehittyneet ainakaan viimeiseen vuosikymmeneen muutoin kuin muotoilun ja valmistusteknisistä näkökulmista. Suurin muutos vuosien varrella on tapahtunut virtalähteiden käyttöliittymissä ja ohjelmointitekniikassa. Vielä kymmenen vuotta sitten virtalähteiden käyttöliittymät olivat kalvopainikeohjattuja, ellei virtalähteen ohjaukseen käytetty erillistä tietokonetta. (Leppikangas, 2016b.)

Yli 50 vuotta sitten, kun orbitaalihitsauslaitteistojen kehitys aloitettiin, laitteistot toimivat analogisesti. Silloin orbitaalihitsauksen laatu pohjautui hitsausoperaattorin pätevyyteen, tarkkaan esivalmisteluun ja sovelluskohteeseen sopivien hitsausparametrien kokeiluun sekä valintaan. Siirtyminen analogisista järjestelmistä digitaalisiin on 2000-luvulla tapahtunut myös orbitaalihitsauksessa. Laitteistojen digitalisoituminen tuo laitteille toimintavarmuutta ja hitseistä saadaan entistä yhtenäisempiä. Digitaalisuuden avulla voidaan parantaa orbitaalihitsaukselle ainutlaatuisten sovelluskohteiden valmistusta ja ottaa paremmin huomioon laadusta ja tuottavuudesta aiheutuvia haasteita. Digitaalisuudella voidaan myös helpottaa laitteiden käyttöä, jolloin vaatimukset hitsausoperaattorin osalta laskevat. (Cole & Beardsley, 2014, s. 50–51.)

Analogisissa orbitaalilaitteistoissa laitteen jokainen osa toimii omassa piirikytkennässä itsenäisenä osana. Analogiset laitteet jouduttiin tarkastamaan laitekohtaisesti ennen hitsausta ja hitsausoperaattorin tuli tarkastaa erikseen toimiiko laitteen jokainen osa. Digitaalisilla järjestelmillä varustetun orbitaalilaitteiston eri osakokoonpanot ovat yhteydessä toisiinsa. Ne pysyvät käyttövalmiina jopa kahden kuukauden käyttämättömyyden jälkeen ja silloinkin operaattorin tarvitsee tarkastaa vain, että laite liikkuu. Ohjelmisto tarkkailee muuten laitteen toimivuutta. Digitaalijärjestelmissä ohjelmisto onkin tärkeässä osassa, sillä se ohjaa laitteen toimintoja. (Cole & Beardsley, 2014, s. 51.)

Digitaalisuudella saavutetaan analogista järjestelmää parempi tiedonsiirto. Analogisilla signaaleilla on rajallinen siirtomatka, koska ne vaimenevat helposti. Jos signaalia halutaan vahvistaa ja tiedonsiirrossa on virheitä, myös virheet vahvistuvat. Digitaalijärjestelmissä

signaalin vaimentumista ei tapahdu, jolloin saavutetaan nopea ja eheä signaali. Tämä mahdollistaa analogiseen järjestelmään verrattuna nopeamman tiedonsiirron ja pienemmän viiveen. Paremmen tiedonsiirron myötä voidaan esimerkiksi valokaarta tarkkailla ja säätää hitsauksen aikana. Valokaaren tarkka hallinta mahdollistaa nopeamman hitsausnopeuden ja suuremman hitsiaineentuoton. Samalla voidaan säädellä hitsin vetelyä ja lämmöntuontirajoja. (Cole & Beardsley, 2014, s. 50–51.)

Täysin digitaalista orbitaalilaitteistoa ei tarvitse vaihtaa uuteen, jos halutaan päivittää hitsauslaitteistoa. Laittevalmistajat pyrkivät valmistamaan laitteista sellaisia, että ne ovat kilpailukykyisiä vuosiksi eteenpäin vain päivittämällä ohjelmistoa. Ohjelmistoja päivitetään uusille hitsattaville materiaaleille sopiviksi, milloin orbitaalilaitteista saadaan monipuolisempia. Täten orbitaalihitsauksen tuottavuutta voidaan parantaa, eikä hitsausoperaattorin tarvitse enää miettiä tarkkaan miten kyseistä materiaalia hitsataan ja orbitaalilaitteen ohjelmisto huolehtii sovelluskohteeseen sopivista parametreista. (Cole & Beardsley, 2014, s. 52–53.)

4 ORBITAALI-TIG-HITSAUSLAITTEET SUOMESSA

Tietävästi Suomessa on vain kaksi yritystä, jotka maahantuovat ja jälleenmyyvät orbitaali-TIG-hitsauslaitteistoja ja yksi yritys, joka valmistaa laitteita. Nämä kaksi maahantuojaa ovat Masino Welding Oy ja Suomen Teknohaus. Masino Welding Oy jälleenmyy saksalaisvalmisteisia Orbitalum GmbH:n valmistamia laitteita ja Suomen Teknohaus Oy ranskalaisvalmisteisia Polysoude S.A.S.:n laitteita. (Leppikangas, 2016; Rantala, 2016.) Kemppi Oy on tuonut 2016 alkuvuodesta markkinoille suomalaisvalmisteisia orbitaali-TIG-laitteita. Aiemmin Suomessa orbitaali-TIG-hitsauslaitteita ovat myyneet ainakin Meuro-Tech ja Retco Oy sekä ESAB:in valmistamia laitteita on saanut ESAB:in yhteistyöyritykseltä Kemecweld Oy:ltä. Syitä kahden ensimmäisen yrityksen laitemyynnin lopettamiseen ei ole tiedossa, mutta ESAB lopetti orbitaali-TIG-hitsauslaitteistojen valmistuksen sen huonon kannattavuuden takia. Suomeen ESAB:in laitteita myytiin keskimäärin kaksi kappaletta vuodessa. (Meuronen, 2016; Setälä, 2016; Viikilä, 2016.)

Orbitalumin valmistamissa ORBIMAT CA–virtalähteissä on sisäänrakennettu tietokone varustettuna graafisella käyttöliittymällä, jota ohjataan yhdellä kääntönupilla ja viidellä toimintapainikkeella. Virtalähde on varusteltu niin kutsutulla automaattiohjelmointitoiminnolla, joka luo käyttäjän syöttämien tietojen perusteella hitsausohjelman. Käyttäjän tulee syöttää laitteeseen hitsattavan putken ulkohalkaisija, seinämävahvuus, materiaali ja käytettävä suojakaasu. Virtalähteeseen voidaan tuoda valmiit hitsausohjelmat myös muistikortin avulla. ORBIMAT CA–virtalähteet soveltuu kaikille Orbitalumin umpi- ja avopihdeille. Virtalähde säätää myös automaattisesti kaaripituuden (AVC) ja ohjaa elektrodin vaaputusta (OSC, oscillation) avopihdeissä, joissa nämä ominaisuudet ovat saatavilla. Virtalähteissä on Orbitalumin omat suojakaasun ohjausjärjestelmät: Flow Force ja lisävarusteena BUP (Backup Pressure). Flow Forcen avulla voidaan säätää umpipihtien kotelon suojakaasun täyttöaika. BUP Control on lisävarusteena virtalähteisiin saatava moduuli, jonka avulla voidaan säädellä putken sisäistä suojakaasun virtausta hitsaussykliden mukaisesti. Tällä pyritään neutralisoimaan hitsausasennon vaihtelusta johtuvaa hitsisulan muutosta. (Orbitalum, 2016, s. 7; Rantala, 2016.)

Polysouden moderneissa virtalähteissä (mallit P4 ja P6) on myös graafisella käyttöliittymällä varustettu tietokone, mutta virtalähteissä oleva näyttö on kosketuskäyttöinen. Kosketusnäytön avulla ohjataan virtalähdettä ja valitaan tai valmistetaan hitsausohjelmat. Hitsausohjelmat on myös mahdollista valmistaa erillisellä tietokoneella ja syöttää ohjelma virtalähteeseen USB-muistia käyttäen. Automaattisella ohjelmoinnilla hitsausohjelmat saadaan nopeasti ja helposti valmiiksi; Laitteeseen syötetään vain hitsattavan putken perustiedot. Virtalähteitä pystytään myös ohjaamaan erillisellä tietokoneella verkon välityksellä. P4-malli on suunnattu käytettäväksi umpi- ja avopihdeille ja P6-malli hitsauspäille, joissa voidaan käyttää AVC:ta ja OSC:ta eli avopihdeille sekä hitsausvaunuille. (Leppikangas, 2016a; Leppikangas, 2016b)

Suomalainen Kemppi Oy on tuonut uutuutena markkinoille 2016 alkuvuodesta omat orbitaali-TIG-laitteensa. Kempin orbitaali-TIG-laitteiden virtalähteinä on saatavissa A7 hitsausvaunu hitsauspäälle (A7 TIG Orbital System 300) ja A7 umpipihdeille (A7 TIG Orbital System 150) omat vain orbitaalihitsaukseen tarkoitetut virtalähteet. A5 mallin umpipihdit (A5 TIG Orbital System 75) käyttää Kempin TIG-hitsaukseen tarkoitettua virtalähdettä, jonka lisäksi tarvitaan orbitaalihitsausta varten lisävarusteena erillinen ohjausyksikkö. A7 300 ja 150 virtalähteissä on niin kutsuttu automaattinen ohjelmointi toiminto, joka tekee valmiin ohjelman kun laitteelle annetaan tiedot putken halkaisijasta, seinämävahvuudesta, materiaalista ja railomuoto. Asetusten syöttäminen graafisella käyttöliittymällä tapahtuu kääntönupin ja painikkeiden avulla, minkä jälkeen ohjelma voidaan tallentaa virtalähteen sisäiseen muistiin. 300-mallissa ohjelmointi suoritetaan erillisellä näytöllisellä kauko-ohjaimella ja 150-mallissa suoraan virtalähteellä. 300-mallissa on myös automaattinen kaaripituuden säätö. (Kemppi, 2016a, s. 2–3; Kemppi, 2016b, s. 2–3; Kemppi, 2016c, s. 2–3.)

Taulukkoon 4 on koottu Orbitalumin, Polysouden ja Kempin kaikkien hitsauspäiden koottuja mittoja. Mitoissa on otettu huomioon muun muassa mikä on elektrodin etäisyys laitteen ulko-osasta, kuinka leveä laite on ja millaisen vapaan tilan laite vaatii hitsauksen onnistumiseksi putken keskipisteestä halkaisijana. Liitteissä I ja II on esitelty taulukot I.1, I.2 ja II.1, joihin on koottu laitevalmistajien saatavilla olevien umpi- ja avopihtien sekä

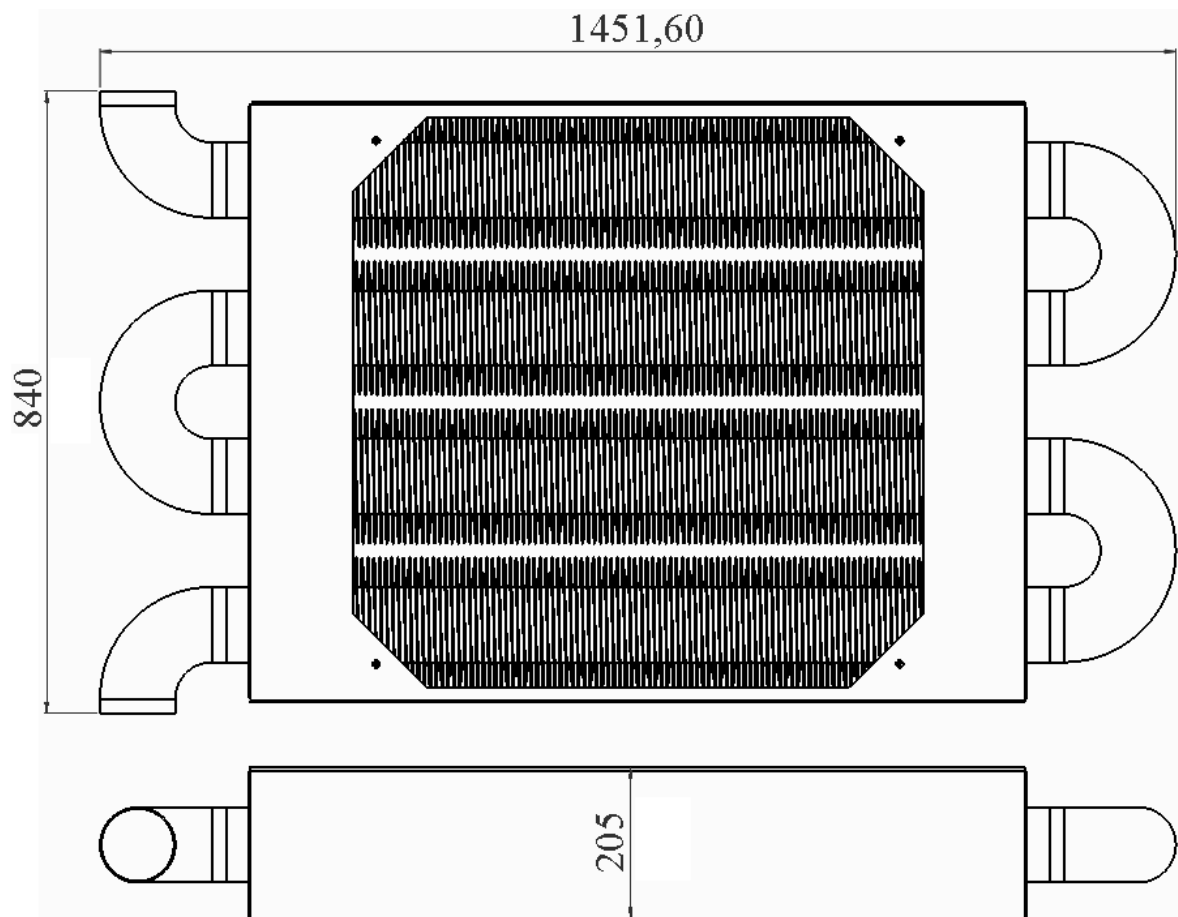
hitsausvaunujen mittoja ja liitteen III kuvissa III.1, III.2 ja III.3 mitat on esitelty Polysouden mitoituskuvien avulla.

Taulukko 4. Suomesta saatavat orbitaali-TIG-hitsauslaitteistot ja niiden dimensioita (mukailten: Lankila, 2016; Leppikangas, 2016; Kemppi, 2016a; Kemppi, 2016b; Kemppi, 2016c; Orbitalum, 2016, s. 18, 28; Polysoude, 2009a, s. 3; Polysoude, 2009b, s. 3; Polysoude, 2010, s. 4; Polysoude, 2012, s. 2; Polysoude, 2014, s. 2; Rantala, 2016; Suomen Teknohaus Oy, 2014).

Jälleenmyyjä	Masino Welding Oy	Suomen Teknohaus Oy	Useita
Laittevalmistaja	Orbitalum Tools GmbH	Polysoude S.A.S.	Kemppi Oy
Alkuperämaa	Saksa	Ranska	Suomi
Umpipihdit			
Putkikoot (D)	Ø 3–170	Ø 1,6–170	Ø 3–152
Etäisyys (e / f)	5,85–32 / 12,2–72	5,6–31,5 / 27,8–63	19 / 43
Vapaa tila (d)	Ø 66–345	Ø 31,6–290	Ø 124–306
Avopihdit			
Putkikoot (D)	Ø 20–275 / 3–15	Ø 8–275	N/A
Etäisyys (e / f)	11–43 / 96–249	16–30,5 / 95–215,5	N/A
Vapaa tila (d)	Ø 172–548	Ø 116–560	N/A
Hitsausvaunut			
Putkikoot (D)	N/A	Ø ≥ 32	Ø 25–355
Etäisyys (e / f)	N/A	27–34,5 / 200–462	10 / 226
Vapaa tila (d)	N/A	Ø D+(120–380)	Ø D+127
D = Putken ulkohalkaisija [mm] d = Laitteen ympärille jätettävä vapaan tilan minimihalkaisija [mm] e = Elektroodin minimietäisyys laitteen ulko-osasta [mm] f = Laitteen kokonaisleveys [mm]			

5 RIPAPUTKILÄMMÖNVAIHTIMEN ORBITAALI-TIG-HITSAUS

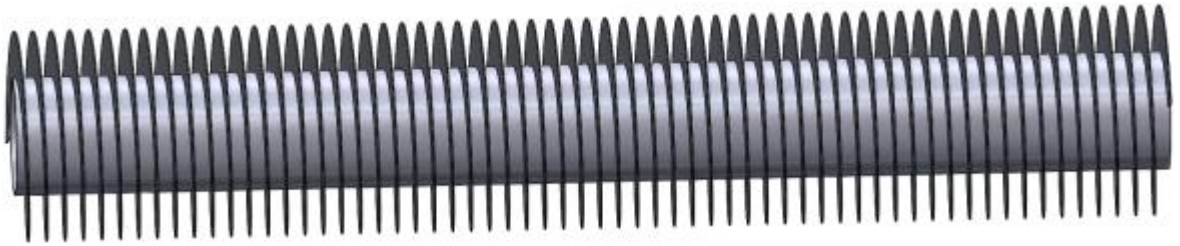
Lämmönvaihdin on laite, jonka avulla voidaan siirtää eri lämpötiloissa olevien kahden tai useamman fluidin (nesteen tai kaasun) välistä lämpöenergiaa. Tavanomaisesti fluidit ovat eroteltu erillisiin lämpöä johtaviin tiloihin, jotta ne eivät sekoittuisi keskenään. Lämmönvaihtimia käytetään fluidien lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen monilla teollisuuden eri aloilla, kuten esimerkiksi prosessi-, polttoaine-, energia- ja voimalaitosteollisuudessa. (Thulukkanam, 2013, s. 1.) Kuvassa 8 on esitetty yksinkertaisen ripaputkilämmönvaihtimen (tube-fin heat exchanger) 2D-kuva ja äärimitat.



Kuva 8. Ripaputkilämmönvaihdin.

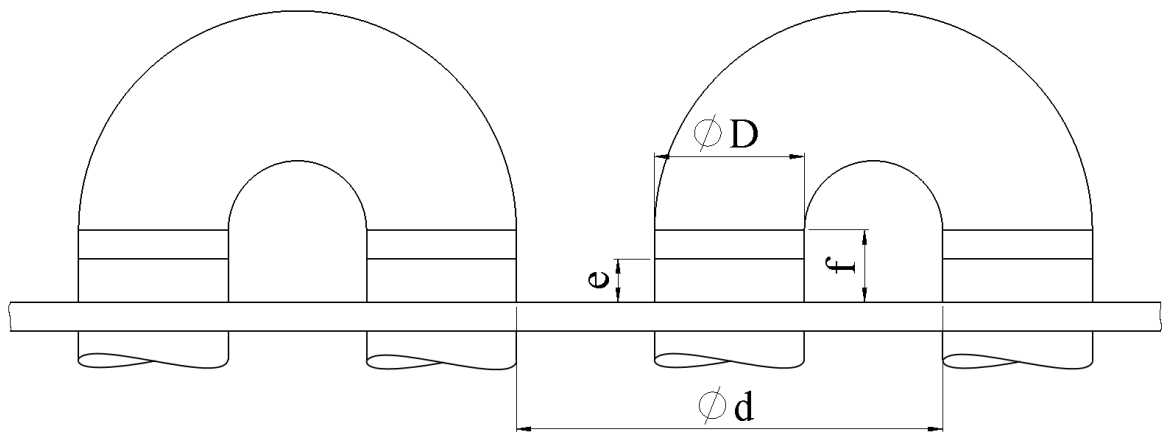
Tässä työssä keskitytään ripaputkilämmönvaihtimeen (kuva 8) ja sen putkimutkien hitsaukseen orbitaali-TIG-hitsauksella. Ripaputkilämmönvaihdin on niin kutsuttu

laajennetun pinta-alan lämmönvaihdin (extended surface heat exchanger), mitä käytetään kaasujen ja nesteiden väliseen lämmönvaihtoon. Kun lämmönvaihtimen lämmönsiirtokerroin on liian pieni, voidaan sitä parantaa kasvattamalla lämpöä johtavaa pinta-alaa. Pinta-alaa voidaan kasvattaa käyttämällä erilaisia ripoja tai levyjä putken ympärillä. Yksi esimerkki tällaisesta ovat ripaputket (kuva 9). Ripaputkilämmönvaihtimia käytetään lauhduttimina ja haihduttimina ilmastointilaitteissa ja jäähdyttimissä, öljyn tai veden jäähdyttämiseen ajoneuvoissa sekä ilmajäähdytteisinä lämmönvaihtimina prosessi- ja energiateollisuudessa. Ripaputkilämmönvaihdin toimii siten, että putken sisällä virtaa neste (esimerkiksi vesi), jota jäähdytetään ilmavirtauksella. Ilmavirtaus voi olla vapaata tai sitä voidaan tehostaa esimerkiksi tuulettimella. (Thulukkanam, 2013, s. 15, 148.)



Kuva 9. Ripaputki.

Kuvassa 10 on esitelty leikkauskuva ripaputkilämmönvaihtimen toisesta päädyistä ja siinä olevista hitsattavista 180° putkimutkista, jotka päittäishitsataan lämmönvaihtimen putkilevyn läpi tuleviin putkien päihin. Putkimutkien päissä on oltava hieman suoraa, että mutka on mahdollista hitsata orbitaalilaitteistolla.



Kuva 10. Leikkauskuva ripaputkilämmönvaihtimesta ja orbitaalilaitteen välisistä dimensioista.

Tässä työssä hitsattavan ripaputkilämmönvaihtimen materiaalilla ei varsinaisesti ole mitään merkitystä, koska tarkoituksena on keskittyä lämmönvaihtimen hitsaukseen käytetyn laitteiston valintaan. Valitaan kuitenkin, että putkimateriaali on jokin SFS-EN 10217-7 (2014) -standardin mukainen hitsattu ruostumaton painelaiteteräsputki ja sen mittastandardista (SFS-EN ISO 1127, 1997, s. 6) putken ulkohalkaisijaksi $D = 101,6$ mm ja seinämävahvuudeksi $t = 2,0$ mm. Kuvan 10 mukaisiin muiksi mitoiksi on valittu $e = 30$ mm, $f = 50$ mm ja $d = 298,4$ mm. Näiden mittojen perusteella tutkittiin ripaputkilämmönvaihtimen hitsaukseen sopivia orbitaali-TIG-laitteita liitteisiin I ja II tehtyjen taulukoiden I.1, I.2 ja II.1 avulla. Laitteiden mitat eivät saaneet ylittää edellä mainittujen arvojen lukumääriä. Taulukoista karsittiin laitteita ensin putken ulkohalkaisijan D mukaan, minkä jälkeen karsinta suoritettiin järjestyksessä mittojen e , f ja d mukaisesti. Jäljelle jäi vain neljä umpipihtimallista orbitaali-TIG-hitsauslaitetta: yhdet laitteet Orbitalumilta ja Polysoudelta sekä kaksi laitetta Kempiltä. Laitteet mittoineen ovat taulukoitu taulukkoon 5.

Taulukko 5. Orbitalumin, Kempin ja Polysouden putkilämmönvaihtimeen sopivat orbitaali-TIG-laitteet (Leppikangas, 2016a; Kemppi, 2016a, s. 5–6; Kemppi, 2016b, s. 6–7; Orbitalum, 2016, s. 24).

Umpi- pihdit	D [mm]	e [mm]	f [mm]	d [mm]
Orbitalum				
OW 115S	Ø 20–115	24,25	50	Ø 220
Kemppi				
A5 CHP 7540	Ø 12–102	19,5	43	Ø 242
A7 CHP 15040	Ø 12–102	19	43	Ø 242
Polysoude				
MW 115	Ø 25–115	23	46	Ø 200

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ensimmäisenä tutkimuskysymyksenä työssä oli miten orbitaali-TIG-hitsauslaitteistot ovat kehittyneet vuosien varrella. Orbitaalilaitteiden hitsauspäissä ei ole tapahtunut suuria muutoksia pitkiin aikoihin ja muutokset ovat olleet lähinnä kosmisia. Virtalähteet sen sijaan ovat digitalisoituneet vuosien varrella ja laitteiden automaatiohjelmointijärjestelmät ovat helpottaneet hitsausta huomattavasti aiempaan käsiohjelmointiin verrattuna. Virtalähteiden käyttöliittymät ovat muuttuneet pelkästään painike- ja kääntönappiohjatuihin graafisiin näytöllä varusteltuihin käyttöliittymiin ja jopa kosketusnäytöllä varustettuihin. Toinen ja kolmas tutkimuskysymys liittyvät paljon toisiinsa: mitkä yritykset Suomessa maahantuovat ja myyvät laitteistoja ja minkä eri orbitaalilaitteistojen valmistajien laitteita Suomesta on saatavilla. Suomessa orbitaali-TIG-laitteita maahantuo vain kaksi yritystä: Masino Welding Oy ja Suomen Teknohaus Oy. Masino markkinoi saksalaisia Orbitalum Tools GmbH:n laitteita ja Teknohaus ranskalaisia Polysoude S.A.S. laitteita. Suomessa on kuitenkin kotimainen yritys Kemppi Oy, joka toi 2016 alkuvuodesta markkinoilla oman laitteensa. Neljäntenä kysymyksenä esiteltiin miten eri valmistajien laitteistot eroavat toisistaan. Laittevalmistajien hitsauspäät eivät eroa oikeastaan muuten kuin toiminnallisilta mitoiltaan. Kaikkien edellä mainittujen laittevalmistajien orbitaalihitsaukseen tarkoitetuista virtalähteistä löytyy automaattinen ohjelmointi ja kaikissa on graafinen käyttöliittymä, mutta Polysoude on tuonut laitteisiin nykyään joka elektroniikkalaitteessa olevan kosketusnäytön. Hitsausohjelmien tallennuksessa on laitteiden välillä pieniä eroavaisuuksia; Orbitalumin ohjelmat voidaan tallentaa virtalähteeseen tai erilliselle muistikortille, Polysouden virtalähteeseen tai USB-muistille, mutta Kempin laitteissa ohjelmat voidaan tallentaa mitä ilmeisimmin vain virtalähteeseen. Viimeisenä tutkimuskysymyksenä oli millaiset orbitaali-TIG-laitteet sopivat parhaiten ripaputkilämmönvaihtimen hitsaukseen. Ripaputkilämmönvaihtimen päädyssä olevien putkimutkien takia hitsausta varten oleva tila on hyvin ahdas, joten tarvitaan hitsauspää, joka mahtuu ahtaisiin pakkoihin. Orbitaali-TIG-laitteiden hitsauspäistä pienimpiä ovat kiistattomasti umpipihtimalliset, jotka ainakin tässä tapauksessa olivat ainoat vaihtoehdot hitsauksen onnistumiseksi.

7 YHTEENVETO

Putkien käyttö on jokapäiväistä eri teollisuuden aloilla ja infrastruktuureissa ja niiden yleisin liitostapa on hitsaus. Putkien päittäishitsaamiseen TIG-hitsausprosessi soveltuu erityisen hyvin sen monipuolisen materiaalikirjon, korkealaatuisten hitsien ja kompaktin hitsauspään ansiosta. TIG-hitsausta käytetäänkin prosessi- ja paineputkien sekä lämmönsiirtimien liittämiseen.

TIG-hitsauksen soveltamisella orbitaalihitsaukseen, eli kiinteäasentoisen putken mekaaniseen hitsaukseen, saadaan putkien päittäishitseistä peräjälkeen luotettavia ja tasalaatuisia. Orbitaali-TIG-hitsauksella tuottavuus voidaan jopa kaksinkertaistaa käsinhitsaukseen verrattuna. Käsinhitsaukseen verrattuna putkien esivalmistelut ovat moninkertaiset orbitaalihitsauksessa, mikä onkin orbitaalihitsauksessa eniten aikaa vievin osuus. Tarkat railonvalmistelut ja putken mittatoleranssit kuitenkin takaavat hitsien hyvän laadun ja inhimillisiä virheitä ei pääse syntymään.

Orbitaali-TIG-hitsauslaitteistoissa vuosien varrella tapahtunut kehitys on keskittynyt virtalähteisiin. Virtalähteet ovat vaihtuneet analogisista järjestelmistä digitaalisiin ja niiden käyttöliittymät ovat vaihtuneet kalvopainikeohjauksesta graafisiin käyttöliittymiin ja jopa kosketuskäyttöisiin näyttöihin. Suomesta saatavia orbitaali-TIG-hitsauslaitteita valmistaa saksalainen Orbitalum GmbH, ranskalainen Polysoude S.A.S. ja suomalainen Kemppe Oy. Masino Welding Oy markkinoi Orbitalumin laitteita, Suomen Teknohaus Oy Polysouden laitteita ja Kempin laitteita on saatavissa useilta eri jälleenmyyjiltä. Näistä laitteista työtä varten suunniteltuun ripaputkilämmönvaihtimen hitsaukseen soveltuu neljä umpihitsauspää: Yhdet Orbitalumilta ja Polysoudelta ja kaksi hitsauspää Kempiltä.

Suomessa orbitaali-TIG-hitsauslaitteiden tarjonta on hyvin vähäistä ja mitä ilmeisimmin jossain määrin kannattamatonta. Yritykset, jotka pystyvät tarjoamaan laitekoulutuksen, -huollon ja -tuen ovat markkinoilla vahvoja.

LÄHTEET

AGA. 2013. Suojakaasukäsikirja [verkkodokumentti]. [Viitattu 24.10.2015]. 49 s. + liitt. 2 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20Shielding%20Gases%20Handbook%20FI634_122349.pdf

Cary, H. B. & Helzer, S. C. 2005. Modern Welding Technology. 6. painos. New Jersey: Pearson Education, Inc. 715 s.

Cole, S. & Beardsley, K. 2014. Digital Systems Deliver Orbital Welding Consistency. Welding Journal, Vol. 93: 9. S. 50–53.

Fortain, J-M., Rimano, L. & Vaidya, V. 2008. Innovative Process Improves Welding of Sheet Metal Parts. Welding Journal, Vol. 87: 1. S. 38–44.

Kemppi. 2016a. A5 TIG Orbital System 75. [verkkodokumentti]. [Viitattu 26.4.2016]. 8 s. Saatavissa: <http://www.kemppi.com/en-US/offering/product/a5-tig-orbital-system-75/pdf/>

Kemppi. 2016b. A7 TIG Orbital System 150. [verkkodokumentti]. [Viitattu 26.4.2016]. 8 s. Saatavissa: <http://www.kemppi.com/en-US/offering/product/a7-tig-orbital-system-150/pdf/>

Kemppi. 2016c. A7 TIG Orbital System 300. [verkkodokumentti]. [Viitattu 26.4.2016]. 6 s. Saatavissa: <http://www.kemppi.com/en-US/offering/product/a7-tig-orbital-system-300/pdf/>

Lankila, N. 2016. Kandidaatintyö orbitaali-TIG-hitsauksesta [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Hugo Lappalainen. Lähetetty 26.4.2016 klo 12.01 (GMT +0300).

Lepola, P. & Makkonen, M. 2006. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. 1.-2. painos. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö. 429 s.

Leppikangas, P. 2016a. Kandidaatintyö orbitaali-TIG-hitsauksesta [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottajat: Hugo Lappalainen, David Vinot (cc), Timo Jämsén (cc). Lähetetty 30.3.2016 klo 15.33 (GMT +0300). Liitetiedostot: ”MUIV_EN (ID 354).pdf”, ”MW_EN (ID 355).pdf”, ”P4_EN (ID 377).pdf”, ”P6_EN (ID 358).pdf”.

Leppikangas, P. 2016b. Kandidaatintyö orbitaali-TIG-hitsauksesta [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottajat: Hugo Lappalainen, David Vinot (cc), Timo Jämsén (cc). Lähetetty 4.4.2016 klo 9.41 (GMT +0300).

Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka, perusteet ja kaarihitsaus. 4. tarkastettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy. 292 s.

Lukkari, J. 2003. Putkien mekanisoitu TIG-hitsaus – Tilannekatsaus. Hitsaustekniikka, 4/2003. S. 12–30.

Lukkari, J. 2008. Putkihitsauksen mekanisointi – Helppoa orbitaali-TIG-hitsausta Japrotekillä. Hitsaustekniikka, 4/2008. S. 7–10.

Martikainen, J. 2014. Re: VS: Hitsaustekniikan kandidaatintyö aiheista [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Hugo Lappalainen. Lähetetty 5.11.2014 klo 11.49 (GMT +0200).

Meuronen, I. 2016. OK=> Kandidaatintyö orbitaali-TIG-hitsauksesta [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottajat: Hugo Lappalainen. Lähetetty 11.4.2016 klo 21.17 (GMT +0300).

Orbitalum. 2016. Orbital Welding. [verkkodokumentti]. [Viitattu 21.4.2016]. 76 s. Saatavissa:

http://www.orbitalum.de/fileadmin/DOWNLOAD/Kataloge/Kataloge.pdf/OW_Kat_EN_890.700.012.pdf

Polysoude. 2009a. UHP – Closed Chamber Welding Head. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.4.2016]. 5 s. Saatavissa: http://www.polysoude.com/images/stories/documents/english/technical/UHP-2_EN.pdf

Polysoude. 2009b. MW – Closed Chamber Welding Head. [verkkodokumentti]. [Viitattu 21.4.2016]. 5 s. Saatavissa: http://www.polysoude.com/images/stories/documents/english/technical/MW_EN.pdf

Polysoude. 2010. Polycar 60-2 – Open Type Carriage Welding Head. [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.1.2016]. 5 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://us.polysoude.com/images/stories/documents/english/technical/POLYCAR60-2_EN.pdf

Polysoude. 2012. Polycar 30 – ”Low Profile” Open Type Carriage Welding Head. [verkkodokumentti]. [Viitattu 21.4.2016]. 3 s. Saatavissa: http://www.polysoude.com/images/stories/documents/english/technical/POLYCAR-30_EN.pdf

Polysoude. 2014. MU IV 195 HW – ”Hot wire” welding head. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.4.2016]. 3 s. Saatavissa: http://www.polysoude.com/images/stories/documents/english/technical/DOC_Broch_MUIV-195-HW_EN.pdf

Polysoude. 2016. The orbital welding handbook. 2. painos. Nantes: Polysoude. 55 s.

Rantala, S. 2016. Kandidaatintyö orbitaali-TIG-hitsauksesta [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Hugo Lappalainen. Lähetetty 21.3.2016 klo 16.50 (GMT +0200). Liitetiedostot: "Orbimatic,virtalähteet-esite 165,300 CA pdf.pdf", "Orbiweld- hitsauspää 38-170.pdf", "Orbitalum orbitaalihitsauskuvasto FI 2015.pdf", "Orbitalum katkaisu- ja viisteytyskuvasto FI 2015.pdf".

Setälä, J. 2016. Kandidaatintyö orbitaali-TIG-hitsauksesta [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Hugo Lappalainen. Lähetetty 12.4.2016 klo 10.36 (GMT +0300).

SFS-EN ISO 1127. 1997. Stainless steel tubes. Dimensions, tolerances and conventional masses per unit length. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 9 s.

SFS-EN 10217-7. 2014. Hitsatut painelaiteteräsputket. Tekniset toimitusehdot. Osa 7: Ruostumattomat teräsputket. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 69 s.

Suomen Teknohaus Oy. 2014. Orbitaalihitsauslaitteet. [Suomen Teknohaus Oy:n www-sivuilla]. [Viitattu 4.4.2016]. Saatavissa: <http://www.teknohaus.fi/orbitaalihitsaus/orbitaalihitsauslaitteet/>

Thulukkanam, K. 2013. Heat Exchanger Design Handbook. 2. painos. Boca Raton: CRC Press. 1260 s.

Viikilä, J. 2016. FW: Contact Us Form [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Hugo Lappalainen. Lähetetty 4.3.2016 klo 9.30 (GMT +0200). Liitetiedostot: ”ESAB ja Kemecweld yhteistyössä.pdf”, ”Katalog Automation - vanha.pdf”.

Wilson, M. 2007. TIP TIG: new technology for welding. Industrial Robot: An International Journal, Vol. 34: 6. S. 462–466.

Orbitalumin ja Kempin orbitaali-TIG-hitsauslaitteistojen mitat.

Taulukko I.1. Orbitalum orbitaali-TIG-hitsauslaitteistojen mallit ja mitat.

Umpipihdit				
Orbitalum	D [mm]	e [mm]	f [mm]	d [mm]
OW 12	Ø 3–12,7	5,85	12,2	Ø 73
OW 19	Ø 3–19,05	11,7	24,5	Ø 66
OW 38S	Ø 3–38,1	17,5	35	Ø 112
OW 76S	Ø 6–77	21	42	Ø 159
OW 115S	Ø 20–115	24,25	50	Ø 220
OW 115	Ø 20–115	32	64	Ø 260
OW 170	Ø 50–170	32	72	Ø 345
Avopihdit				
Orbitalum	D [mm]	e [mm]	f [mm]	d [mm]
TP 250	Ø 22–77	11	85	Ø 172
TP 400*	Ø 30–115	17–30	120–182	Ø 216–325
TP 600*	Ø 70–170	14–43	140–186	Ø 294–400
TP 1000*	Ø 120–275	15–24	170–206	Ø 430–519
* Laitteen mitat vaihtelevat riippuen lisävarusteista ja kiinnitystyyppistä.				

Taulukko I.2. Kemppi orbitaali-TIG-hitsauslaitteistojen mallit ja mitat.

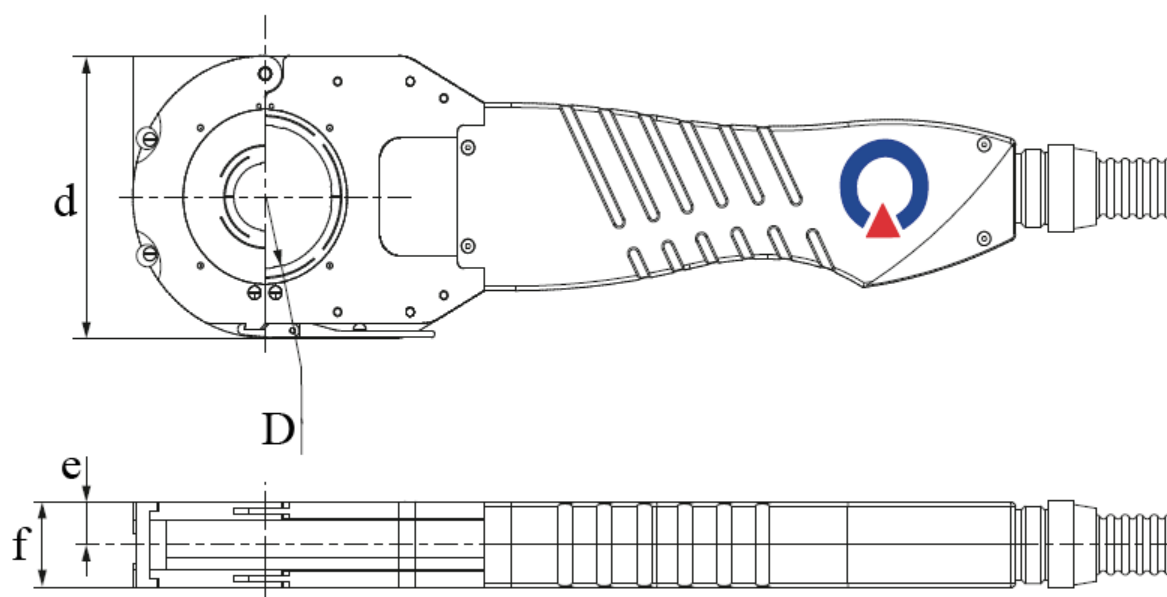
Umpipihdit				
Kemppi	D [mm]	e [mm]	f [mm]	d [mm]
A5 CHP 7530	Ø 10–76	19,5	43	Ø 212
A5 CHP 7540	Ø 12–102	19,5	43	Ø 242
A7 CHP 15010	Ø 3–25	19	43	Ø 124
A7 CHP 15020	Ø 6–51	19	43	Ø 184
A7 CHP 15030	Ø 10–76	19	43	Ø 212
A7 CHP 15040	Ø 12–102	19	43	Ø 242
A7 CHP 15060	Ø 51–152	19	43	Ø 306
Hitsausvaunu				
Kemppi	D [mm]	e [mm]	f [mm]	d [mm]
A7 OHP 300	Ø 25–355	10	226	Ø D+127
CHP = Closed Head Clamp, umpipihdit OHP = Open Head Clamp, avopihdit				

Polysouden orbitaali-TIG-hitsauslaitteistojen mitat.

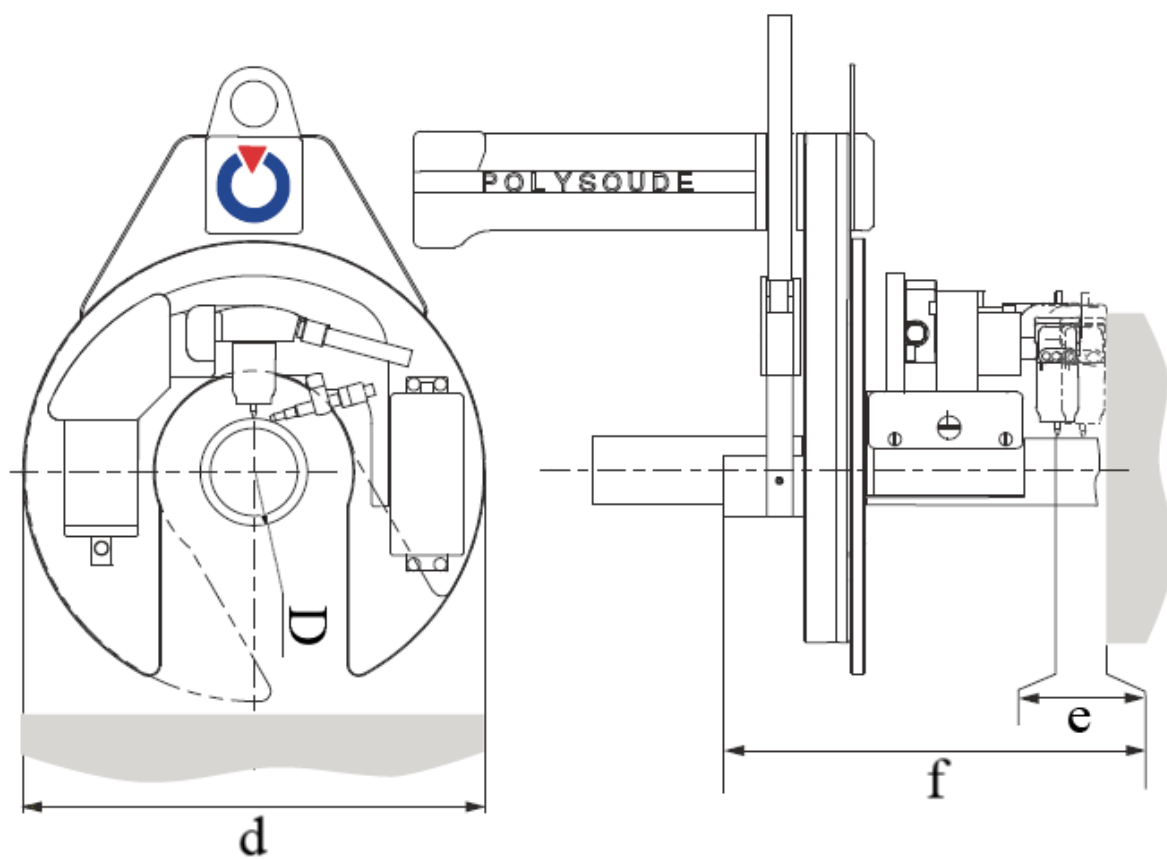
Taulukko II.1. Polysoude orbitaali-TIG-hitsauslaitteistojen mallit ja mitat.

Umpipihdit				
Polysoude	D [mm]	e [mm]	f [mm]	d [mm]
UHP 250-2	Ø 1,6–6,35	5,6	27,8	Ø 31,6
UHP 500-2	Ø 3–12,7	5,7	25,4	Ø 51,3
UHP 1500-2	Ø 6–33,7	14,75	35	Ø 92
MW 40	Ø 6–40	19	38	Ø 100
MW 65	Ø 12–65	19	38	Ø 126
MW 115	Ø 25–115	23	46	Ø 200
MW 170	Ø 80–170	31,5	63	Ø 290
Avopihdit				
Polysoude	D [mm]	e [mm]	f [mm]	d [mm]
MU IV 14/28	Ø 14–28	16	117	Ø 116
MU IV 8/38*	Ø 8–38	16–23	117–193	Ø 126–142
MU IV 14/38*	Ø 14–38	16–23	100–173	Ø 126–142
MU IV 19/64*	Ø 19–64	16	119–172	Ø 155–184
MU IV 30/64*	Ø 30–64	16	109–164	Ø 155–184
MU IV 19/80*	Ø 19–80	16	118–172	Ø 172–200
MU IV 30/80*	Ø 30–80	16	109–162	Ø 172–200
MU IV 19/104	Ø 19–104	16	111	Ø 204
MU IV 30/104	Ø 30–104	16	176	Ø 222
MU IV 44/104*	Ø 44–104	16	111–164	Ø 204–222
MU IV 25/115	Ø 25–115	16	122	Ø 215
MU IV 42/115	Ø 42–115	16	175	Ø 235
MU IV 50/115*	Ø 50–115	16	113–164	Ø 215–235
MU IV 25/128	Ø 25–128	16	120	Ø 240
MU IV 42/128	Ø 42–128	16	180	Ø 340
MU IV 50/128*	Ø 50–128	16	129–189	Ø 240–340
MU IV 76/195	Ø 76–195	16–30,5	203–231	Ø 410
MU IV 101/245	Ø 101–245	16–30,5	219–230	Ø 470–500
MU IV 114/275	Ø 114–275	16–30,5	217–230	Ø 500–530
Hitsausvaunu				
Polysoude	D [mm]	e [mm]	f [mm]	d [mm]
Polycar 30	Ø 32–168	34,5	200	Ø 152–288
Polycar 60-2	Ø ≥ 168	27	435	Ø D+380
* Laitteen mitat vaihtelevat riippuen lisävarusteista ja kiinnitystyyppistä.				

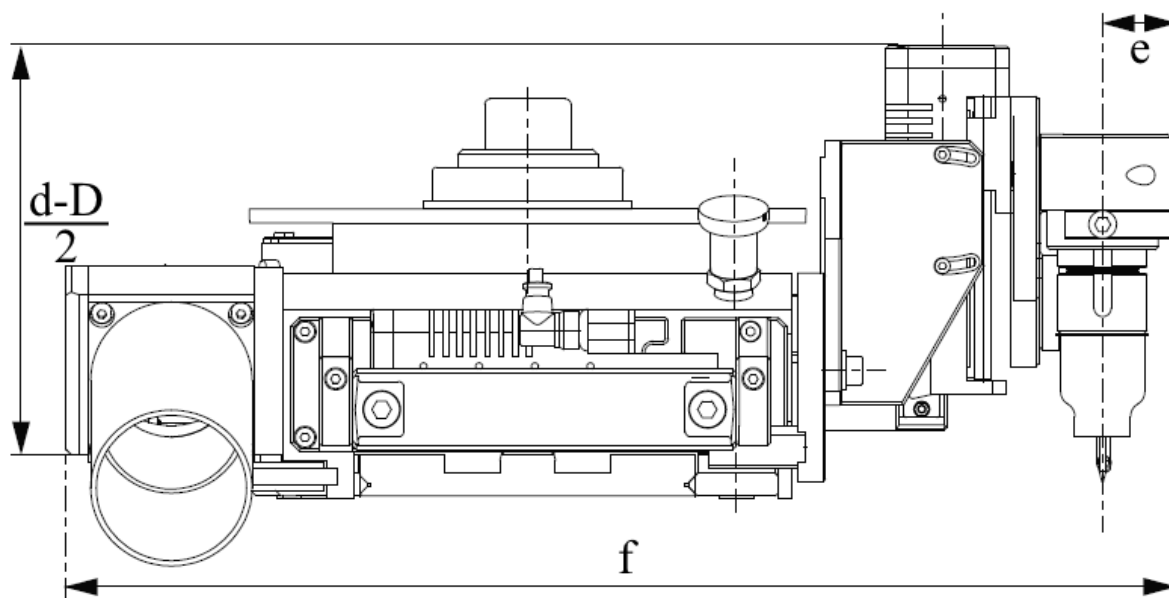
Orbitaali-TIG-hitsauslaitteistojen mitoitusperiaatteet.



Kuva III.1. Umpipihtien mitoitusperiaate.



Kuva III.2. Avopihtien mitoitusperiaate.



Kuva III.3. Hitsausvaunun mitoitusperiaate.

D = Putken ulkohalkaisija [mm]

d = Laitteen ympärille jätettävä vapaan tilan minimihalkaisija [mm]

e = Elektroodin minimietäisyys laitteen ulko-osasta [mm]

f = Laitteen kokonaisleveys [mm]