

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan koulutusohjelma
BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari



HITSAUKSEN TUOTTAUVUUDEN PARANTAMINEN KAASUVALINNOILLA

IMPROVING WELDING PRODUCTIVITY WITH SHIELDING GAS CHOICES

Lappeenrannassa 28.4.2011

Miika Saavalainen

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	1
1.1 Työn tausta	1
1.2 Työn tavoite ja rajaus	1
2 HITSUKSEN KAASUT JA NIIDEN OMINAISUUDET	2
2.1 Argon.....	2
2.2 Helium	2
2.3 Hiilidioksidi.....	2
2.4 Happi	2
2.5 Typpi.....	3
2.6 Vety	3
2.7 Seoskaasut	3
3 HITSUKSEN KAASUJEN TEHTÄVÄT JA KÄYTTÖ	4
3.1 Yleiset tehtävät	4
3.2 Hitsausprosessit	5
3.2.1 MIG/MAG -hitsaus	5
3.2.2 TIG -hitsaus	7
3.2.3 Plasmahitsaus	8
3.2.4 Laserhitsaus	9
3.3 Materiaalit.....	11
3.3.1 Seostamaton ja niukkaseosteinen teräs.....	12
3.2.3 Alumiini.....	17
4 HITSUKSEN TUOTTAVUUS	19
4.1 Tuottavuuden parantaminen kaasuvalinnoilla.....	19
4.1.1 Hitsausnopeus.....	20

4.1.2 Sulatusteho	20
4.1.3 Tunkeuma	21
4.1.4 Hitsausvirheet ja hitsin laatu	21
4.2 Kaasujen toimitusmuodot	22
4.2.1 Suojakaasun kustannukset	23
4.2.2 Laitteet ja varusteet	23
5 TYÖTURVALLISUUSNÄKÖKOHDAT	24
5.1 Hitsaussavu	25
5.2 Hitsaussäteily	25
5.2 Henkilökohtainen suojavarustus	26
6 TUOTTAVUUSCASET	27
6.1 Plasmahitsauksen tehokkuuden parantaminen	27
6.1 Case Allure of the Seas	28
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET	29
8 YHTEENVETO	30
LÄHDELUETTELO	32

LYHENNELUETTELO

Ar	argon
bar	paineen yksikkö, 1 bar = 10^5 Pa
CMT	Cold Metal Transfer Welding
CO ₂	hiilidioksidi
H ₂	vety
He	helium
MAG	Metal Active Gas Welding
MIG	Metal Inert Gas Welding
N ₂	typpi
Nd:YAG	yttrium-neodyymi-laser
O ₂	happi
O ₃	otsoni
TIG	Tungsten Inert Gas Welding
T.I.M.E	Transferred Ionized Molten Energy

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Hitsauksen kokonaiskustannukset koostuvat monesta eri tekijästä, joista yksi on suojakaasu. Vaikka suojakaasujen kustannuserä on pieni verrattuna muihin kuluihin, on oikealla kaasuvallinnalla kuitenkin suuri merkitys hitsauksen tehokkuuteen ja tuottavuuteen sekä työympäristön viihtyvyyteen ja terveellisyyteen. Hitsausprosessilla on valmistustekniikassa suuri rooli, joten sen tehokkuutta ja taloudellisuutta on syytä tutkia myös suojakaasujen näkökulmasta.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Työn tavoitteena on tarkastella hitsauskaasujen valinnan vaikutusta hitsauksen tuottavuuteen hitsausnopeuden, tunkeuman ja hitsin laadun näkökulmista. Tarkasteltavia hitsausmenetelmiä ovat MIG/MAG-, TIG-, plasma-, laser- sekä laser-MIG/MAG -hybridihitsaus. Hitsattavia materiaaleja ovat niukkaseosteiset teräkset, runsasseosteiset teräkset sekä alumiini. Työssä tarkastellaan myös hitsauskaasuihin liittyviä työturvallisuusnäkökohtia, joita on hitsaustöissä otettava huomioon. Selkeyden vuoksi tarkastelun kohteena ovat lähes yksinomaan AGAn valmistamat suojakaasut.

Työ rajataan koskemaan ainoastaan hitsausprosesseja, vaikka osalla menetelmistä voidaankin suorittaa myös termistä leikkaamista. Hitsauskaasujen tarkastelu rajoittuu ainoastaan tavallisiin teollisuuskaasuihin.

2 HITSUKSEN KAASUT JA NIIDEN OMINAISUUDET

2.1 Argon

Argon (Ar) on reagoimaton eli inertti kaasu. Tämä tarkoittaa sitä, että argon ei vaikuta hitsiin kemiallisesti millään tavalla. Argon on pääkomponentti lähes kaikissa suojakaasuissa. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.5)

2.2 Helium

Samoin kuin argon, myös helium (He) on inertti kaasu. Heliumia käytetään TIG- ja MIG -hitsauksen suojakaasuna joko puhtaana tai argonin kanssa seostettuna. Helium aikaansaa suuremman kaarienergian, joten hitsausnopeus ja sivutunkeuma ovat hieman suurempia argoniin verrattuna. Haittapuolena heliumin käytölle on suurempi herkkyys valokaaren pituuden muutoksiin. Valokaari on myös vaikeampi saada syttymään puhdasta heliumia käytettäessä. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.6)

2.3 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi (CO₂) on aktiivikaasu, joka reagoi kemiallisesti hitsisulan kanssa. Hiilidioksidia käytetään yleisesti terästen MAG -hitsauksessa. Aikaisemmin on käytetty suojakaasuna puhdasta hiilidioksidia sen halvan hinnan ja hyvän saatavuuden takia. Hiilidioksidin hinta voi olla kolmanneksen seoskaasujen hinnasta. Puhdas hiilidioksidi aiheuttaa kuitenkin paljon roiskeita kaikilla kaarialueilla, eikä sen käytöllä päästä suihkumaiseen aineensiirtymään. Kaasujen hintaerojen pienennyttyä kehitys on johtanut seoskaasujen käyttöön. Useimmiten hiilidioksidi seostetaan argonin kanssa, jotta saadaan parannettua hitsausominaisuuksia. Argonia ei voida puhtaana käyttää terästen MAG -hitsaukseen kaaren epävakauden takia, joten suojakaasuun tarvitaan hapettavaa hiilidioksidia. Hiilidioksidi vakauttaa valokaarta ja aineensiirtyminen vakautuu. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.5-6, Lukkari, J, 2002 s.198-201)

2.4 Happi

Happea (O₂) käytetään hiilidioksidin tavoin argonin kanssa seostettuna terästen MAG -hitsauksessa. Argon-happiseokset jäävät kuitenkin vähemmälle käytölle, sillä argon-hiilidioksidiseoksella saavutetaan parempi hitsin ulkonäkö ja geometria. Myös tunkeuma on hiilidioksidia käytettäessä parempi, koska päästään suurempiin kaarijännitteisiin ja

suurempaan energiantuontiin ilman roiskeita. Lisäksi jälkityöstön tarve pienenee kuonanmuodostuksen vähentyessä kun käytetään argon-hiilidioksidiseosta. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.6)

2.5 Typpi

Typpeä (N_2) käytetään seosaineena ruostumattomien typpiseosteisten terästen hitsauksessa. Koska kyseisten terästen hitsaus suoritetaan yleensä TIG -hitsauksella, suojakaasun pääkomponentti on argon tai helium. Typen tarkoitus on 0,5 % seostuspitoisuuteen saakka parantaa teräksen lujuutta ja ehkäistä pistekorrosiota. Kun typen seospitoisuus nostetaan muutamaan prosenttiin, ehkäistään hitsissä tapahtuvaa typpikatoa. (Suojakaasukäsikirja, 2010 s.7)

2.6 Vety

Suojakaasun komponenttina TIG -hitsauksessa vety (H_2) muodostaa keskitetyimmän ja kuumemman valokaaren. Vetyä käytetään hitsauskaasun komponenttina erityisesti hitsattaessa austeniittista ruostumatonta terästä. Vedyn seostus suojakaasuun mahdollistaa paremman tunkeuman ja suuremman hitsausnopeuden. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.6-7)

2.7 Seoskaasut

Nykypäivänä hitsauksessa harvoin enää käytetään vain yksikomponenttista suojakaasua. On siirrytty osakomponenttikaasujen, eli seoskaasujen käyttöön. Tämä tarkoittaa sitä, että peruskaasuun sekoitetaan yhtä tai useampaa osakomponenttia. Peruskaasuna toimii useimmiten argon sen hyvien suojaominaisuuksien takia. Peruskaasuun sekoitetaan osakomponenttina heliumia, hiilidioksidia, typpeä, vetyä tai happea riippuen hitsattavasta materiaalista ja hitsausmenetelmästä. Seoskaasujen käytöllä pyritään vaikuttamaan hitsattavuuteen, hitsin laatuun ja ominaisuuksiin sekä hitsauksen tuottavuuteen. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.5-7) (Lukkari, J., 2002, s.198)

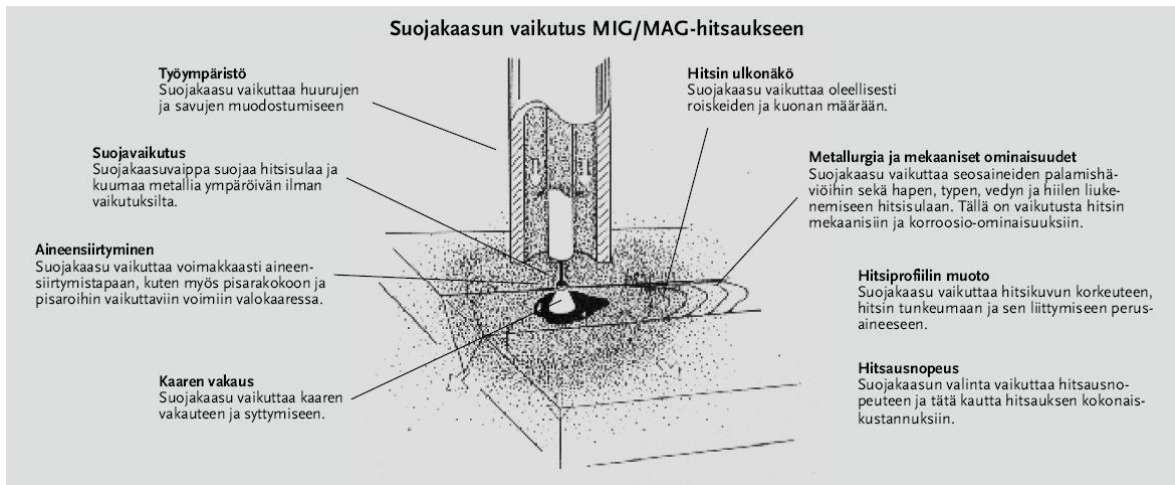
3 HITSUKSEN KAASUJEN TEHTÄVÄT JA KÄYTTÖ

3.1 Yleiset tehtävät

Hitsauskaasun päätehtävä on suojata hitsisulaa ympäröivän ilman haitallisilta vaikutuksilta ja edesauttaa valokaaren optimaalista palamista. Ilman suojakaasua ympäröivän ilman sisältämä happi hapettaisi sulassa tilassa olevaa metallia. Ilman sisältämä typpi ja kosteus taas aiheuttavat hitsiin huokoisuutta ja huonontavat hitsin mekaanisia ominaisuuksia. Suojakaasua tarvitaan MIG/MAG-, TIG-, plasma- ja laserhitsauksessa, sekä hybridihitsausmenetelmissä. Suojakaasu vaikuttaa hitsaustapahtumassa hyvin moneen asiaan, joten sen merkitys laatuun vaikuttavissa tekijöissä on erittäin suuri, kuva 1. Suojakaasulla on merkittävä vaikutus seuraaviin asioihin:

- valokaaren syttyminen
- valokaaren ominaisuudet
- tunkeuma
- hitsisulan suojaus
- roiskeet
- lisäaineen siirtyminen
- hitsin mekaaniset ja metallurgiset ominaisuudet
- hitsin profiili
- hitsin ulkonäkö
- hitsausnopeus
- huuруjen ja savun muodostus
- tuottavuus

(Lukkari, J., 2002 s.196-197) (Suojakaasukäsikirja, 2010, s. 5) (Korjala, K., 2007, s.4)



Kuva 1. Suojakaasun tehtävät metallikaasukaarihitsauksessa. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.5)

3.2 Hitsausprosessit

3.2.1 MIG/MAG -hitsaus

MIG/MAG -hitsaus on metallikaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa lisäainelangan ja työkappaleen välillä suojakaasun ympäröimänä. Hitsauslankaa syötetään tasaisella nopeudella hitsauspistoolin kautta sulaan. Lisäaine siirtyy sulapisaroina hitsauslangan päästä hitsisulaaan sähkömagneettisen pinch -voiman vaikutuksesta. Hitsaustapahtuma alkaa, kun hitsauslanka koskettaa työkappaletta. Tämä muodostaa oikosulun, jolloin virta kasvaa sulattaen ja höyrystäen hitsauslangan pään ja muodostaen samalla valokaaren työkappaleen ja hitsauslangan välille. Suojakaasu johdetaan kaasupulloista hitsauspistoolin kaasusuuttimeen, jonka kautta se kulkeutuu hitsaustapahtumaan. Hitsaus voidaan suorittaa käsin, mutta prosessi on myös helposti mekanisoitavissa.

Hitsauksessa voidaan käyttää joko aktiivista tai inerttiä suojakaasua. Kun kaasu on puhtaasti aktiivista, tai jos kaasun seoskomponenttina on aktiivinen kaasu, kyseessä on MAG -hitsaus. Jos kaasu tai kaasuseos on inertti, on kyseessä MIG -hitsaus. Suojakaasu ja sitä kautta hitsaustavan nimitys määräytyy hitsattavan materiaalin perusteella. Terästen ja ruostumattomien terästen hitsaukseen käytetään MAG -hitsausta, kun taas ei-rautametallien hitsaaminen jaotellaan MIG -hitsaukseksi. MIG/MAG -hitsauksessa käytettävät lisäainelangat voivat olla umpilankojen lisäksi jauhetäytelankoja tai metallitäytelankoja. Jauhetäytelangassa

on hitsauslangan sisällä jauhetäyte, joka sulaessaan muodostaa hitsisulaa suojaavan kuonakerroksen. Jauhetäytelankojen täytteenä voi olla rutiili- tai emästäyte riippuen kaarialueesta ja hitsin laatuvaatimuksista. Metallitäytelangat eivät muodosta kuonaa ja niiden käytön tarkoitus on usein tuottavuuden parantaminen suuremman lisäainemäärän ansiosta. Suojakaasun tehtävät ovat täytelankahitsauksessa samat kuin umpilankahitsauksessakin.

Lisäaineen siirtymisen päätyypit ovat oikosulkusiirtyminen ja suihkumainen siirtymä. Siirtymistapa riippuu kaarityypistä, joita ovat lyhyt-, seka- ja kuumakaari. Kaarityyppi määräytyy hitsausarvoista ja käytettävästä suojakaasusta. Lyhytkaarihitsauksessa hitsausvirta ja jännite ovat pieniä. Lisäaine siirtyy tasaisin väliajoin muodostuvien, hallittujen oikosulkujen avulla. Lyhytkaarihitsauksessa käytetään argonin ja hiilidioksidin seoskaasua. Lyhytkaarihitsaus soveltuu kylmän hitsaustapahtumansa ansiosta ohuille ainepaksuuksille. Sekakaaren aineensiirtymä on oikosulkusiirtymisen ja suihkusiirtymisen yhdistelmä. Sekakaarialueella aineensiirtymä tapahtuu suurina pisaroina ja aiheuttaa paljon roiskeita, joten hitsausta sekakaarialueella pyritään yleisesti välttämään. Hitsauskaasuna käytetään argonin ja hiilidioksidin seosta. Kuumakaarialueella aineensiirtyminen on pienipisaraista ja suihkumaista. Kuumakaarialueella lisäaine siirtyy ilman oikosulkuja suuremman hitsausvirran ansiosta. Kuumakaarihitsauksessa käytetty suojakaasu on argonvaltaista, johon on seostettu noin 5-30 % hiilidioksidia hitsattavasta materiaalista riippuen. Jos kuumakaaren vaatimat virrat ovat liian suuria hitsattavan materiaalin lämmöntuontirajoituksista johtuen, voidaan käyttää pulssikaarta. Siinä lisäaineen siirtymistä ohjataan pulssitetulla virralla ilman oikosulkuja. Pulssikaarialueella hitsaaminen vaatii inertin suojakaasun tai argonvaltaisen seoskaasun, jossa hiilidioksidin seospitoisuus on korkeintaan 20 %.

Suhteellisen uusi sovellus MIG/MAG -hitsauksessa on CMT kylmäkaarhitsaus. Sovelluksen ideana on pienentää lämmöntuontia kappaleeseen ja näin ehkäistä pahimpia muodonmuutoksia. CMT on lyhytkaarihitsausta, mutta sen ero tavalliseen MIG/MAG -hitsaukseen on langansyötössä. CMT -prosessissa langansyöttö tapahtuu edestakaisella liikkeellä. Kun oikosulku syntyy, langansyötön suunta muuttuu pois päin hitsisulasta. Kaaren taas syytyessä ja sulapisaran irrotessa langansyötön suunta palautuu taas kohti sulaa ja prosessi alkaa uudestaan. CMT -prosessia käytetään varsinkin teräksen ja alumiinin eripariliitoksissa.

T.I.M.E on hyvä esimerkki MIG/MAG -hitsauksen suurtehosovelluksesta. Prosessin tarkoituksena on nostaa langansyöttö erittäin suuriin nopeuksiin pyörivän valokaaren alueella. Tämän kaltaisessa sovelluksessa suojakaasun koostumus nousee tärkeään asemaan. T.I.M.E -hitsauksessa käytetäänkin tarkoitukseen suunniteltua 4-komponenttikaasua. Suojakaasu on argonvaltainen ja sen tarkka koostumus on $\text{Ar} + 26,5 \% \text{He} + 8 \% \text{CO}_2 + 0,5 \% \text{O}_2$. Pääkomponentti argon suojaa suuren tiheydensä ansiosta tehokkaasti hitsisulaa ja helium parantaa valokaaren lämmönjohtavuutta. Hiilidioksidi ja happi vakauttavat valokaarta lisäainelangan ja työkappaleen välillä. (Lukkari, J., 2002 s.159-172, 228-241) (Fronius, esitemateriaali)

3.2.2 TIG -hitsaus

TIG -hitsauksessa valokaari palaa volframielektrodin ja työkappaleen välissä. Kyseessä on kaasukaarihitsausprosessi, jossa suojakaasuna käytetään ainoastaan inerttiä tai lievästi pelkistävää kaasuseosta riippuen hitsattavasta materiaalista. Inertillä suojakaasulla estetään kuumen volframielektrodin hapettuminen. TIG -hitsauksessa elektrodi on sulamatonta materiaalia, toisin kuin MIG/MAG -hitsauksessa, jossa elektrodina toimii lisäainelanka. Valokaaren sytyttäminen voi tapahtua raapaisu-, kontakti- tai kipinäsytytyksellä. Kipinäsytytys on näistä yleisin, sillä muut sytytystavat vaativat volframielektrodin fyysistä kosketusta hitsattavaan kappaleeseen. Tämä saattaa aiheuttaa elektrodin kulumista ja muodostaa volframisulkeumia hitsiin. Kipinäsytytyksessä elektrodia pidetään muutaman millimetrin päässä työkappaleesta ja sytytetään valokaari suurjännitekipinällä. Kipinän iskiessä elektrodin ja työkappaleen välinen kaaritila ionisoituu ja valokaari syttyy. Valokaaren palamista edistävä ja sulaa hitsiä suojaava suojakaasu syötetään hitsaustapahtumaan hitsaimen kaasusuuttimen kautta. Suojakaasuna käytetään yleisimmin puhdasta argonia, mutta haluttaessa parantaa hitsausnopeutta ja tunkeumaa, voidaan argoniin sekoittaa heliumia tai vetyä. Hitsin juuren puoli suojataan useimmin puhtaalla argonilla, mutta myös typen ja vedyn seosta, ns. formierkaasua voidaan käyttää pienissä hitseissä. TIG -hitsauksessa mahdollinen lisäaine syötetään hitsisulaan käsin. Tosin on myös mahdollista hitsata ilman lisäainetta sulattamalla peruskappaleita valokaaren lämmön avulla. Hitsausprosessi suoritetaan yleensä käsinhitsauksella, mutta prosessi on myös mekanisoitavissa.

TIG -hitsaus on erittäin monipuolinen hitsausprosessi. Se soveltuu lähes kaikkien hitsattavien materiaalien hitsaukseen, mutta rajoittuu yleensä vain pienemmille ainepaksuuksille. TIG -hitsauksen suurimpia hyötyjä on tunkeuman ja hitsisulan hyvä hallinta. Tämä perustuu siihen, että toisin kuin MIG/MAG -hitsauksessa, tässä lämmöntuonti ja lisäaineen syöttö ovat toisistaan riippumattomia. Hitsausvirtaa voidaan kasvattaa hitsattaessa suurempia ainepaksuuksia, tai pienentää sitä muutamisiin ampeereihin, jos pelätään läpipalamista pienemmillä paksuuksilla, ja silti helposti annostella lisäainetta tapauskohtaisesti. TIG -hitsausta voidaan suorittaa eri virtalajeilla. Yleisin tapa on hitsata vaihtovirralla elektrodi kytkettynä – napaan, mutta on mahdollista kytkeä elektrodi + napaan tai hitsata vaihtovirralla. Virtalajin valintaan vaikuttaa hitsattava materiaali, sekä halutun hitsin muoto ja tunkeuma. (Lukkari, J., 2002, s.249-265)

3.2.3 Plasmahitsaus

Plasmahitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa volframielektrodin ja työkappaleen välillä samoin kuin TIG -hitsauksessa. Plasmakaasun läpi johdetaan sähkövirta joka muodostaa valokaaren. Valokaaren muodostama lämpö siirretään virtaavaan plasmakaasuun, joka purkautuessaan kuroutuvan suuttimen läpi muodostaa plasman. Valokaaren sähköenergia muutetaan täten plasman termiseksi ja kineettiseksi energiaksi. Plasmasuihkun lämpötila voi kuumimmassa kohdassa olla jopa 20 000 °C. Valokaari sytytetään apukaaren avulla. Apukaari sytytetään suurjännitteisellä suurtaajuusvirralla ja se palaa volframielektrodin ja kaasusuuttimen välillä ja ionisoi ulosvirtaavan plasmakaasun. Ionisoitunut plasmakaasu muodostaa sähköä johtavan väylän elektrodin ja työkappaleen välille. Kun virtalähteen tyhjäkäyntijännite kytketään elektrodin ja työkappaleen välille, pääkaari syttyy helposti seurattuaan ionisoituneen plasmakaasun muodostamaa väylää.

Plasmahitsausta käytetään pääasiassa ruostumattoman teräksen hitsaukseen ja yleisimmät hitsaustavat ovat plasmahitsaus sulattavalla tai lävistävällä valokaarella. Hitsaus sulattavalla valokaarella muistuttaa TIG -hitsausta, siinä plasmakaari sulattaa perusainetta ja muodostaa railoon hitsisulan. Hitsausta lävistävällä valokaarella kutsutaan myös avaimenreikähitsaukseksi. Siinä plasmapatsas syrjäyttää sulan metallin kineettisen voiman ansiosta ja muodostaa hitsattavaan kappaleeseen reiän. Kun poltinta kuljetetaan hitsaussuuntaan, sula metalli virtaa plasmapatsaan sivuilta reiän taakse ja jähmettyy

muodostaen hitsin. Lävistävän valokaaren etu on yksipalkohitsauksen mahdollisuus keskipaksuillakin ainevahvuuksilla. Plasmahitsauksessa on mahdollista käyttää myös lisäaineita. Lisäaineen syöttö voi tapahtua erillisen hitsauslangan avulla kuten TIG - hitsauksessa tai metallijauheena. Jauheplasmahitsauksessa syötetään metallijauhetta hitsiin erikoisrakenteisen plasmapolttimen kautta. Lisäaineen tuonti on hitsausvirrasta riippumaton. Yleensä plasmahitsaus on mekanisoitua, jotta sen hyvät puolet saataisiin mahdollisimman hyvin käytettyä, mutta myös käsinhitsaus on mahdollista.

Plasmakaasu ei yksin riitä suojaamaan hitsisulaa ilman haitallisilta vaikutuksilta, vaan lisäksi tarvitaan suojakaasua. Plasmahitsauspolttimessa on kaksi toisistaan erillistä kaasuvirtauskanavaa, joista sisemmästä virtaa plasmakaasu ja ulommasta suojakaasu. Plasmakaasu on useimmiten argonia tai argon-vetyseosta. Suojakaasuna voidaan käyttää inerttiä tai aktiivista kaasua, sillä kuuma volframielektrodi ei ole suorassa kosketuksessa suojakaasuun eikä täten pääse hapettumaan, vaikka suojakaasu olisi aktiivista. Koska plasma- ja suojakaasu johdetaan hitsaustapahtumaan erillisten suuttimien kautta, on erilaisien plasma- ja suojakaasuyhdistelmien käyttömahdollisuus erittäin laaja.

Yleisimmin käytetty plasmakaasu on argon. Argon sopii plasmakaasuksi hyvin, mutta sen lämmönjohtavuus on huono. Tämän takia argonin sekoitetaan muutamia prosentteja vetyä lämmönjohtavuuden parantamiseksi. Suojakaasuksi sopii puhdas argon, sillä se soveltuu kaikille plasmahitsattaville materiaaleille. Suojakaasu voi olla myös argonvaltainen seos, johon on seostettu vetyä, heliumia tai hiilidioksidia. Koska plasmahitsaus tapahtuu usein lävistävällä valokaarella, on myös juuren puoli suojattava ilman haitallisilta vaikutuksilta. Argon on turvallisin valinta myös juurikaasuksi. (Lukkari, J., 2002, s.272-280)

3.2.4 Laserhitsaus

Hitsaukseen kykenevät laserit ovat suurtehoisia työstölaseriteita. Tämän hetken tärkeimpiä työstölaseriteita ovat hiilidioksidilaser (CO₂ -laser), Nd:YAG -laser sekä diodilaser. Yleisin konepajakäytössä oleva työstölaser on tänä päivänä CO₂ -laser, jossa lasersäde muodostetaan hiilidioksidin avulla ja johdetaan hitsauskohteeseen taittopeilien avulla. Nd:YAG -laser on kidelaser, jossa lasersäde syntyy YAG -kiteessä olevissa neodyymiatomeissa. Nd:YAG -laserin aallonpituus on lyhyempi kuin hiilidioksidilaserissa, joten sen sädettä voidaan

kuljettaa optista kuitua pitkin. Diodilaserissa säde muodostetaan monista pienistä diodilasereista, joiden säteet yhdistetään optiikan avulla. Diodilaserin lasersädettä voidaan kuljettaa YAG -laserin tavoin optisessa kuidussa.

Laserhitsaus on yleisimmin avaimenreikähitsausta, sulattavaa hitsausta tai pulssihitsausta. Avaimenreikähitsauksen periaate on samanlainen kuin plasmahitsauksessa: lasersäde höyrystää työkappaleeseen reiän ja sädettä hitsaussuuntaan kuljettamalla sula siirtyy säteen ympäri reiän takaosaan ja jähmettyy hitsiksi. Jos lasersäteen tehotiheys riittää materiaalin sulattamiseen, mutta ei höyrystämiseen, on kyseessä sulattava hitsaus. Sulattavassa hitsauksessa lasersäde kuumentaa ja sulattaa materiaalin pintaa, ja muodostaa matalamman ja leveämmän hitsin verrattuna avaimenreikähitsauksen syvään ja kapeaan hitsiin. Pulssihitsauksessa tehoa vaihdellaan säännöllisesti ajan mukaan. Tarkoituksena on suuremman energiatiheyden saavuttaminen ja sitä kautta syvemmän tunkeuman aikaansaaminen. Pulssitus myös vähentää kappaleen lämmöntuontia vähentäen lämpöjännityksiä ja muodonmuutoksia.

Laserhitsauksessa voidaan käyttää myös lisäainetta. Lisäaineen syöttö tapahtuu hitsaussuuntaan nähden edestäpäin ja hitsauslanka sulaa laserin ja perusaineen sulan vaikutuksesta. Langansyöttölaitteen vaatimuksia ovat tasainen langansyöttönopeus sekä langansyöttönopeuden ja langansyöttökulman säätö. Lisäaineen käyttö mahdollistaa leveämpien ilmarakojen hitsaamisen, mutta haittapuolena on suurempi lämmöntuonti suuremman sulamäärän takia.

Suojakaasun merkitys laserhitsauksessa korostuu erityisesti hitsattaessa CO₂ -laserilla. Lasersäteen höyrystäessä kappaletta syntyy plasmaa. Tämä plasmapilvi absorboi hiilidioksidilaserin sädettä ja aikaansaa hitsin leviämisen. Suojakaasun tarkoitus on pienentää absorptiota ja suojata hitsisulaa. Suojakaasuna käytetään yleisimmin argonia, heliumia, typpeä, hiilidioksidia tai näiden seoksia. CO₂ -laserhitsauksessa yleisesti käytetty suojakaasu on helium, sillä se pienentää säteen absorboitumista plasmapilveen ja syventää tunkeumaa. Nd:YAG -laserilla hitsattaessa suojakaasun käyttö ei ole välttämätöntä ellei hitsin hapettumattomuus ole välttämätöntä, sillä YAG -laserin aallonpituus ei absorboidu plasmapilveen. Jos suojakaasua YAG -laserilla käytetään, on se useimmiten argonia.

Diodilaserilla hitsattaessa ei yleensä käytetä suojakaasua, sillä se huonontaa hitsausnopeutta ja pienentää hitsattavan pinnan absorptiota. Laserhitsauksessa suojakaasu johdetaan hitsaustapahtumaan yleensä samasta suutimesta kuin lasersäde. Jos vaaditaan erittäin hyvää kaasusuojausta, on käytettävä kaasukenkää, joka levittää suojauksen laajemmalle alueelle ja suojaa hitsiä sen jäähtyessäänkin. Jos hitsataan erittäin voimakkaasti höyrystyviä aineita, voidaan käyttää ns. cross-jet -suutinta, joka ohjaa kaasuvirran kohtisuorasti lasersädettä vasten juuri linssin alapuolelta. Kaasuvirta on niin suuri, että se puhaltaa roiskeet pois ja suojaa laserin optiikkaa likaantumiselta. Käytettäessä cross-jet -sovellusta, itse hitsaustapahtumaa suojaava kaasu johdetaan hitsisulaan erillistä putkea pitkin. (Lasertyöstö, 2005, s.54-67, 157-162, 171-172)

3.2.5 Laser-MIG/MAG – hybridihitsaus

Laserhitsauksessa ongelmia aiheuttavat usein railotoleranssit. Yhdistämällä laserhitsaus MIG/MAG -hitsauksen kanssa voidaan railotoleransseja lieventää. Hybridihitsauksen ideana on lisätä lasertyöstöpään rinnalle MIG/MAG -laitteisto, jotta hitsausta voidaan tehostaa lisääinemäärää kasvattamalla. Tämä tarkoittaa lieventyneiden railotoleranssien ohella suurempaa hitsausnopeutta sekä leveämpää ja syvempää tunkeumaa. Myös lämmöntuonti kappaleeseen on pienempää verrattuna perinteiseen kaarihitsaukseen, joten metallin muodonmuutokset jäävät vähemmälle. (Lasertyöstö, 2005, s.163)

3.3 Materiaalit

Suojakaasun valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat hitsattava materiaali, käytettävä lisäainetyyppi sekä hitsausprosessi. Tarkasteltavat suojakaasut ovat AGAn suojakaasuja, joiden nimeäminen seoskomponenttien mukaan on esitetty taulukossa 1. AGAn käyttämä MISON nimitys tarkoittaa suojakaasuohjelmaa, jonka tarkoituksena on vähentää otsonin syntymistä hitsausprosessin aikana. Otsonin syntymistä ehkäistään tehokkaasti seostamalla kaasuun 0,03 % typpimonoksidia, joka on osakomponenttina kaikissa MISON -kaasuissa. Vaikka suojakaasujen tarkastelu koskee tässä tapauksessa vain AGAn kaasuja, myös Woikosken tuotteet ovat täysin vastaavanlaisia poislukien typpimonoksidin lisäystä. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.28-30, Woikoski, esitemateriaali)

Taulukko 1. Suojakaasujen nimet ja seoskomponentit. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.45-46)

Suojakaasun nimi	Komponentit
MISON Ar	Ar + 0,03 % NO
MISON 2He	Ar + 2 % CO ₂ + 30 % He
MISON H2	Ar + 2 % H ₂
MISON N2	Ar + 1,8 % N ₂ + 30 % He
MISON 2	Ar + 2 % CO
MISON 8	Ar + 8 % CO
MISON 18	Ar + 18 % CO
MISON 25	Ar + 25 % CO
MISON He30	Ar + 30 % He
VARIGON H5	Ar + 5 % H ₂
VARIGON He50	Ar + 50 % He
VARIGON He70	Ar + 70 % He
CRONIGON He	Ar + 1 % O ₂ + 30 % He
FORMIER 10	N ₂ + 10 % H ₂

3.3.1 Seostamaton ja niukkaseosteinen teräs

Seostamattomien ja niukkaseosteisten teräksien hitsauksen suojakaasu valitaan hitsattavan prosessin mukaan. Terästen ominaisuuksilla, käyttötarkoituksilla tai lämpökäsittelyillä ei ole merkitystä valittavan suojakaasun kannalta. Suojakaasun valinnan kannalta tärkeitä tekijöitä MIG/MAG -hitsauksessa ovat hitsausprosessin suorittaminen mekanisoidusti tai käsinhitsauksella, käytetyn lisäainelangan tyyppi sekä hitsauksen kaarialue. Käytettävien suojakaasujen erot ovat lähinnä seostetun hiilidioksidin määrässä.

Suojakaasun hiilidioksidipitoisuus vaikuttaa hitsin mekaanisiin ominaisuuksiin. Mitä vähemmän kaasussa on hiilidioksidia, sitä vähemmän hitsiin muodostuu oksidisulkeumia. Myös hitsin mikrorakenne saadaan hienommaksi ja iskusitkeyttä parannettua käyttämällä argonvaltaisempaa suojakaasua. Myös myötö- ja murtolujuus kasvavat, kun alennetaan

suojakaasun CO₂- tai O₂ -pitoisuutta. Kuitenkin jos hiilidioksidin seossuhde argonvaltaisessa suojakaasussa pidetään välillä 8-25 %, erot hitsin mekaanisissa ominaisuuksissa ovat niin pieniä, ettei niillä ole käytännön merkitystä.

Seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen TIG -hitsauksessa käytetään pääasiassa inerttiä, tai vain vähän pelkistävää suojakaasua riippumatta hitsataanko käsin vai automatisoidusti. Syy miksi TIG -hitsauksessa käytetään näitä suojakaasuja, on pyrkimys olla hapettamatta volframielektrodia. Taulukossa 2 on eritelty AGAn suojakaasujen käyttö hitsausprosessin ja käytettävän lisäainemateriaalin mukaan hitsattaessa seostamattomia tai niukkaseosteisiä teräksiä. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.28-30)

Taulukko 2. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.30)

Prosessi	Lisäaine	Suojakaasu	Ominaisuudet
MAG	Umpilanka	MISON 8 (Lyhytkaari) Kuumakaari Pulssikaari	Paras valinta robotisoituun, mekanisoituun ja suurtehohitsaukseen, mutta soveltuu myös käsinhitsaukseen. Suuri hitsausnopeus, vähän kuonaa ja roiskeita. Tasainen hitsi, hyvä lisäaineen hyötyluku ja vakaa valokaari.
		MISON 18 Lyhytkaari Kuumakaari Pulssihitsaus	Yleiskaasu, jolla on laaja käyttöalue. Hyvät lyhytkaari- ja kuumakaariominaisuudet. Voidaan käyttää myös pulssihitsaukseen. Hitsausarvojen säätö on helppoa ja roiskeenmuodostus on vähäistä.
		MISON 25 Lyhytkaari Kuumakaari	Antaa tiiviin hitsin epäedullisissakin olosuhteissa. Hyvä epäpuhtauksien sietokyky. Lyhytkaarella juokseva, hyvin hallittava sula. Paras valinta pienkoneille ja kohteisiin, joissa tiiveysvaatimukset ovat suuret.
		CO ₂ Lyhytkaari Sekakaari	Antaa epävakaan ja roiskeisen hitsaustapahtuman. Hitsi on korkeakupuinen ja pintakuonaa syntyy paljon. Hyvä epäpuhtauksien sietokyky. Voimakas savunmuodostus.
	Jauhetytelanka	MISON 18	Yleiskaasu, jolla on laaja käyttöalue. Hitsausarvojen säätö on helppoa ja roiskeenmuodostus on vähäistä.
		MISON 25	Suosittelava vaihtoehto edellisen lisäksi. Etenkin täytelangoille, jotka on suunniteltu MISON 18 - suojakaasua hapettavammalla kaasulla hitsattavaksi

	Metallitytelanka	MISON 8	Paras valinta robotisoituun, mekanisoituun ja suurnopeushitsaukseen. Suuri hitsausnopeus, vähän kuonaa ja roiskeita. Tasainen hitsi, hyvä lisäaineen hyotyluku ja vakaa valokaari.
		MISON 18 Kuumakaari Pulssihitsaus	Yleiskaasu, jolla on laaja käyttöalue. Hyvät lyhytkaari- ja kuumakaariominaisuudet. Hitsausarvojen säätö on helppoa ja roiskeenmuodostus on vähäistä.
		MISON 25 Kuumakaari	Antaa tiiviin hitsin epäedullisissakin olosuhteissa. Hyvä epäpuhtauksien sietokyky. Paras valinta kohteisiin, joissa tiiveysvaatimukset ovat suuret.
TIG	Lisäainetta käyttäen tai ilman	MISON Ar	Vakaa valokaari, joka on helppo sytyttää.
		MISON H2	Lisää hitsausnopeutta. Vain ohuiden materiaalien hitsaukseen.

3.3.2 Runsasseosteinen teräs

Runsasseosteisten terästen mikrorakenteiden erilaisuudesta johtuen ne ovat tarkkoja hitsauksessa kyttetaville suojakaasuille. Runsasseosteisten terästen perusjako muodostuu ferriittisten, martensiittisten ja austeniittisten teraslaatuksen kesken. Lujusominaisuuksiltaan ferriittiset ja martensiittiset terokset ovat vertailukelpoisia niukkaseosteisten terästen kanssa ja ne myös sopivat hyvin rakenneteraksiksi. Austeniittiset ruostumattomat terokset taas kestävät korroosiota paremmin ja siksi sitä käytetäänkin eniten ruostumattomista teräksistä.

Runsasseosteisten terästen MIG/MAG -hitsauksessa on kyttetava vahahiilidioksidista suojakaasua, jotta hitsin pinta ei hapettuisi liikaa. Pieni määrä hiilidioksidia on kuitenkin välttämätön valokaaren vakaan palamisen kannalta. Jos käytetään rutiilitytelankoja, on suojakaasun hiilidioksidipitoisuutta lisättävä.

Runsasseosteisten terästen TIG -hitsaukseen turvallinen suojakaasuvalinta on argon, johon on seostettu pieni määrä typpimonoksidia. Argoniin voidaan seostaa myös pelkistävää vetyä, joka ei hapeta hitsiä, mutta parantaa hitsin ja perusaineen liitosta, suurentaa hitsausnopeutta ja parantaa tunkeumaa. Taulukossa 3 on esitelty tarkemmin ferriittisille ja martensiittisille teräksille soveltuvat suojakaasut riippuen hitsausprosessista ja lisaainetyypista. Vastaavat tiedot on esitetty austeniittisille teräksille taulukossa 4. Ferriittisten ja martensiittisten terästen juurensuojauksessa käytetään ainoastaan argonia, mutta austeniittisten terästen

juurensuojaukseen voidaan tapauksesta riippuen käyttää FORMIER 10 tai VARIGON H5 -kaasuja. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.31-34)

Taulukko 3. Ferriittisille ja martensiittisille ruostumattomille teräksille soveltuvat hitsauskaasut. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.33)

Prosessi	Lisäaine	Suojakaasu	Ominaisuudet
MIG/MAG	Umpilanka	MISON 2	Hyvät lyhyt- ja kuumakaariominaisuudet. Vähän roiskeita ja pintakuonaa. Hyvin liittyvä tasainen hitsi. Erityisesti ohuille levynpaksuuksille.
		MISON 2He	Yleiskaasu, jolla on laaja käyttöalue. Vähän roiskeita ja pintakuonaa. Parempi tunkeuma ja hitsisulan juoksevuus kuin suojakaasuilla ilman heliumlisäystä. Hyvin liittyvä tasainen hitsi. Mahdollistaa suuren hitsausnopeuden. Erityisesti suuremmille levynpaksuuksille.
		CRONIGON He	Yleiskaasu, jolla on laaja käyttöalue. Vähän roiskeita ja pintakuonaa. Parempi tunkeuma ja hitsisulan juoksevuus kuin suojakaasuilla ilman heliumlisäystä. Hyvin liittyvä tasainen hitsipalko. Mahdollistaa suuren hitsausnopeuden. Ei hiiletä hitsisulaa. Ei otsonia poistavaa ominaisuutta.
	Rutiilitäytelanka	MISON 18	Yleiskaasu, jolla on laaja käyttöalue. Hitsausarvojen säätö on helppoa ja roiskeenmuodostus on vähäistä.
		MISON 25	Suosittelava vaihtoehto edellisen lisäksi. Etenkin täytelangoille, jotka on suunniteltu MISON 18 -suojakaasua hapettavammalla kaasulla hitsattavaksi.
TIG	Lisäaineella tai ilman	MISON Ar	Antaa vakaan valokaaren, joka on helppo sytyttää.
Juurensuojus		Argon	Inertti suojakaasu.

Taulukko 4. Austeniittisten ruostumattomien terästen hitsauskaasut. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.34)

Prosessi	Lisäaine	Suojakaasu	Ominaisuudet
MIG/MAG	Umpilanka	MISON 2 Lyhytkaari Kuumakaari Pulssihitsaus	Hyvät lyhyt- ja kuumakaariominaisuudet. Vähän roiskeita ja pintakuonaa. Antaa hyvin liittyvän tasaisen hitsin. Erittäin ohuille levynpaksuuksille
		MISON 2He Lyhytkaari Kuumakaari Pulssihitsaus	Yleiskaasu, jolla on laaja käyttöalue. Vähän roiskeita ja pintakuonaa. Parempi tunkeuma ja hitsisulan juoksevuus kuin suojakaasuilla ilman heliumlisäystä. Hyvin liittyvä tasainen hitsi. Mahdollistaa suuren hitsausnopeuden. Erittäin suuremmille levynpaksuuksille.
		CRONIGON He Lyhytkaari Kuumakaari Pulssihitsaus	Yleiskaasu, jolla on laaja käyttöalue. Vähän roiskeita ja pintakuonaa. Parempi tunkeuma ja hitsisulan juoksevuus kuin suojakaasuilla ilman heliumlisäystä. Hyvin liittyvä tasainen hitsi. Mahdollistaa suuren hitsausnopeuden. Ei hiiletä hitsisulaa. Ei otsonia poistavaa ominaisuutta.
	Rutiilitäytelanka	MISON 18	Yleiskaasu, jolla on laaja käyttöalue. Hitsausarvojen säätö on helppoa ja roiskeenmuodostus on vähäistä.
		MISON 25	Suosittelava vaihtoehto edellisen lisäksi. Etenkin täytelangoille, jotka on suunniteltu MISON 18 -suojakaasua hapettavammalla kaasulla hitsattavaksi.
	TIG	Lisäaineella tai ilman	MISON Ar
MISON H2			Vetylisäys antaa suuremman hitsausnopeuden, paremman tunkeuman ja pienemmän hitsin hapettumisen.
VARIGON H5			Erittäin mekanisoituun hitsaukseen. Antaa suuren hitsausnopeuden ja pienen hitsin hapettumisen.
Juurensuojus		Argon	Inertti
		FORMIER 10	Pelkistävä. Palava kaasuseos.
		VARIGON H5	Pelkistävä

3.2.3 Alumiini

Puhtaalla alumiinilla on huonot mekaaniset ominaisuudet, joten kantavissa rakenteissa käytetyt alumiinit ovat seostettuja ja lämpökäsiteltyjä. Tavallisimpia alumiiniin seostettavia metalleja ovat kupari, mangaani, pii, magnesium ja sinkki. Alumiini soveltuu puhtaana erittäin hyvin hitsattavaksi, mutta seosmetallit aiheuttavat hitsattavuuteen eroja. Alumiinin hitsaaminen on mahdollista kaikkien edellä mainittujen metallien kanssa seostettuna, mutta varsinkin sinkin tai kuparin kanssa seostetun alumiinin hitsausta tulisi välttää.

Alumiinin hitsaamiseen käytetään aina inerttiä suojakaasua. Alumiiniryhmien erot eivät vaikuta suojakaasuvalintaan, vaan kaarialue sekä hitsausprosessi määräävät käytettävän suojakaasun. Suojakaasun puhtaus muodostuu alumiinien hitsauksessa tärkeäksi tekijäksi. Jos hitsaus tapahtuu argonia käyttämällä, on sen puhtaus oltava 99,99 %. Pienikin määrä kosteutta tai muuta epäpuhtautta kaasun seassa aiheuttaa hitsiin huokoisuutta.

Otsonin muodostumisen on erityisesti alumiinin hitsauksessa kiusallista, koska sitä muodostuu runsaasti aiheuttaen ongelmia työterveyden kannalta. Siksi MISON -kaasujen otsonia ehkäisevää ominaisuutta kannattaa käyttää hyväksi. Ohuempien kappaleiden hitsaus onnistuu käyttämällä lähes puhdasta argonia, mutta paksummille materiaaleille on valittava suurempaan hitsausnopeuteen ja parempaan tunkeumaan mahdollistavaa heliumseosteista suojakaasua. Ongelmana osalle heliumseosteisille suojakaasuille on kuitenkin niiden puute estää otsonin muodostumista hitsausprosessin aikana. Taulukossa 5 on esitelty alumiinin MIG- ja TIG -hitsaukseen soveltuvia suojakaasuja. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.37-40)

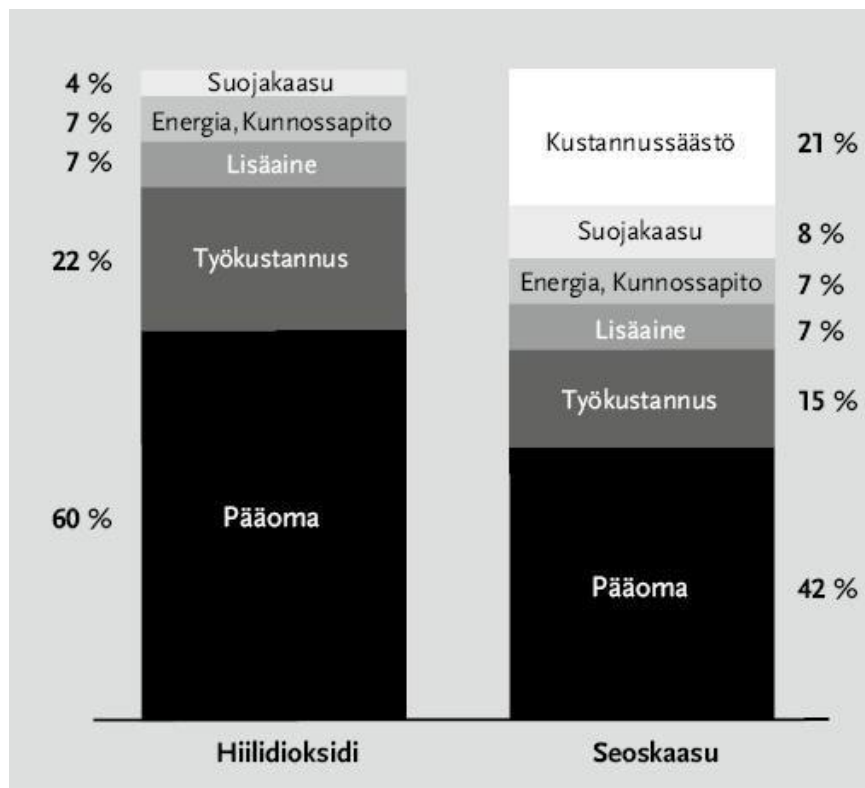
Taulukko 5. Alumiinin hitsaukseen soveltuvia kaasuja hitsausprosessin ja kaarialueen kannalta. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.40)

Prosessi	Lisäaine	Suojakaasu	Ominaisuudet
MIG	Umpilanka	MISON Ar Kuumakaari Pulssihitsaus	Antaa vakaamman valokaaren kuin argon tai argon-heliumseokset.
		MISON He30 Kuumakaari Pulssihitsaus	Yleiskaasu paksumpien aineenvahvuuksien hitsaukseen. Parempi sivutunkeuma ja suurempi hitsausnopeus johtuen. heliumseostuksesta.
		VARIGON He50 VARIGON He70 Kuumakaari Pulssihitsaus	Heliumin määrän kasvaessa lämmöntuonti hitsiin kasvaa. Parempi tunkeuma ja suurempi hitsausnopeus. Paksujen aineenvahvuuksien hitsaukseen. Ei otsonia poistavaa ominaisuutta.
TIG	Lisäaineella tai ilman	MISON Ar	Antaa vakaamman valokaaren kuin argon tai argon-helium-seokset. Helposti syttyvä valokaari. Argonia parempi tunkeuma.
		MISON He30	Yleiskaasu paksumpien aineenvahvuuksien hitsaukseen. Parempi sivutunkeuma ja suurempi hitsausnopeus johtuen. heliumseostuksesta.
		VARIGON He50 VARIGON He70	Heliumin määrän kasvaessa lämmöntuonti hitsiin kasvaa. Parempi tunkeuma ja suurempi hitsausnopeus. Paksujen aineenvahvuuksien hitsaukseen. Ei otsonia poistavaa ominaisuutta.

4 HITSUKSEN TUOTTAVUUS

4.1 Tuottavuuden parantaminen kaasuvaihtojilla

Hitsauksen kokonaiskustannukset koostuvat monesta eri tekijästä, joista yksi on suojakaasu. Karkeasti voidaan arvioida hitsauskaasun muodostavan noin 4 % seostamattoman teräksen hitsauksen kokonaiskustannuksista sekä käsinhitsauksessa että mekanisoidussa hitsauksessa. Osuus on pieni, jos verrataan menoerää itse hitsaustyöhön ja pääomaan. Suojakaasun valinnalla on kuitenkin suuri merkitys hitsauksen tehokkuuteen, sillä suojakaasun vaihto puhtaasta hiilidioksidista optimaaliseen seoskaasuun lisää tuottavuutta noin 30 % ja alentaa kokonaiskustannuksia noin viidenneksellä. Voidaan siis todeta, että parhaaseen tulokseen antavaan suojakaasuun sijoitettu lisäkustannus aikaansaa merkittävän säästön kokonaiskustannuksissa. Kuvassa 2 on esitetty kustannusten jakautuminen käytettäessä suojakaasuna puhdasta hiilidioksidia tai hiukan kalliimpaa seoskaasua. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.17-19)



Kuva 2. Suojakaasun muutoksella saatava kustannussäästö (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.19)

4.1.1 Hitsausnopeus

Seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen MIG/MAG -hitsauksessa tehokkain tapa nostaa hitsausnopeutta on puhtaan hiilidioksidin sijasta käyttää argon-hiilidioksidi -kaasuseosta. Puhtaaseen hiilidioksidiin verrattuna Ar+8 % CO₂ seoskaasu kasvattaa hitsausnopeutta noin 30 % langansyöttönopeuden pysyessä vakiona. Runsasseosteisten terästen ja alumiinin hitsauksessa hitsausnopeutta voidaan kasvattaa lisäämällä argonin sekaan 30 % heliumia. Runsasseosteisten terästen TIG -hitsauksen nopeutta voidaan kasvattaa lisäämällä argonin sekaan vetyä. Vetypitoisuuden ollessa noin 20 %, kasvaa hitsausnopeus kaksinkertaiseksi verrattuna puhtaan argonin käyttöön.

Laserhitsauksessa voidaan argonin seassa käyttää hiilidioksidia nopeuttamaan hitsausta. Hitsausnopeuden lisääntyminen voi olla jopa 35 %, edellyttäen, ettei hitsin hapettuminen ole esteenä. Jos halutaan hitsata reagoimattomilla kaasuilla, hitsausnopeuden lisäämiseen voidaan käyttää heliumia.

Runsasseosteisten terästen plasmahitsauksessa hitsausnopeutta voidaan kasvattaa käyttämällä argon-vetyseosta, jonka ansiosta valokaaren energia kasvaa. Vetyseostuksen haittapuolena on yli 7 % vetypitoisuudella huokosien muodostuminen. Suuremmilla ainepaksuuksilla argonin sekaan voidaan lisätä heliumia, joka vedyn tavoin parantaa plasmakaaren lämmönjohtavuutta. Argon-helium -suojakaasulla voidaan hitsausnopeutta kasvattaa jopa 50 % argoniin verrattuna, kun heliumin seostusosuus on 50 %. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.20-21) (Lukkari, J., 2002, s.264,279) (Korjala, K., 2007, s.80) (Jernström, P., Plasmahitsauksen tehokas käyttö, 1997, s.28)

4.1.2 Sulatusteho

Sulatustehoa voidaan kasvattaa lisäämällä lämmöntuontia ja sulan juoksevuutta. TIG -hitsauksessa vedyn lisääminen suojakaasuun kasvattaa lämmöntuontia hitsiin ja pienentää sulan pintajännitystä, ja lisää tällä tavoin sulan juoksevuutta. MAG -hitsauksessa sulan pintajännitystä pienennetään hiilidioksidin ja hapen avulla. Jo 2 % hiilidioksidi- tai happipitoisuus suojakaasussa parantaa sulan hallintaa ja juoksevuutta. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.21) (Korjala, K., 2007, s.84) (Lukkari, J., 2002, s.264)

4.1.3 Tunkeuma

MIG/MAG -hitsauksessa tunkeumaan voidaan vaikuttaa suojakaasun hiilidioksidipitoisuudella. Argonvaltaisen suojakaasun hiilidioksidimäärää kasvattamalla hitsin tunkeumasta saadaan syvempi ja leveämpi. Syynä tähän on hiilidioksidin parempi lämmönjohtavuus argoniin verrattuna. Lämpö leviää laajemmalle, koska myös valokaaren ulkoreunat ovat kuumemmat suuremman hiilidioksidipitoisuuden vaikutuksesta. Haittapuolena on suurempi roiskeiden muodostus.

TIG- ja MIG -hitsauksessa tunkeumaa saadaan kasvatettua lisäämällä argoniin heliumia. Helium suurentaa kaarijännitettä ja lisää siten hitsausenergiaa parantaen tunkeumaa. Plasma- ja TIG -hitsauksessa voidaan tunkeuman parantamiseksi heliumin sijasta käyttää myös vetyä.

Ruostumattomien terästen laserhitsauksessa käytetään puhdasta typpeä, kun halutaan kasvattaa tunkeumaa. Tunkeuman kasvu voi typpeä käyttämällä olla 15-20 % suurempi verrattuna argonin tai heliumin käyttöön. (Lukkari, J., 2002, s. 198-203, 264) (Lasertyöstö, 2005, s. 171)

4.1.4 Hitsausvirheet ja hitsin laatu

MAG -hitsauksessa hitsin laatuun vaikuttaa paljolti hiilidioksidin määrä suojakaasussa. Roiskeiden muodostus kasvaa hiilidioksidin osuuden kasvaessa. Roiskeet ja pintaoksidit huonontavat hitsin laatua ja lisäävät jälkityöstön määrää. Hiilidioksidipitoisuuden alentaminen kahdeksaan prosenttiin myös lisää sulan juoksevuutta, joka parantaa hitsin liittymistä perusaineeseen hitsikuvun ollessa matala. Hiilidioksidin hyvänä puolena on suurempi lämmöntuonti, joka aiheuttaa hitsin hitaamman jäähtymisen. Hitsin jäähtyessä hitaammin, hitsauskaasut pääsevät pois hitsisulasta ennen sen jähmettymistä ja hitsiin jää vähemmän huokosia. Hiilidioksidin aiheuttama leveämpi tunkeuma myös vähentää liitosvirheriskiä.

Ruostumattomien terästen hitsauksessa voidaan argonvaltaiseen kaasun lisätä heliumia tai vetyä roiskeiden vähentämiseksi sekä hitsin ja perusaineen paremman liittymisen aikaansaamiseksi. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.25) (Lukkari, J., 2002, s.202)

4.2 Kaasujen toimitusmuodot

Suojakaasujen toimitus asiakkaalle voidaan suorittaa yksittäisinä pulloina, pullopaketteina tai nestemäisenä asiakkaan omaan säiliöön. Yleisin pullo koko on 50 litraa kaasun paineen ollessa 200 bar. Tällaisen pullon sisältö on noin 10 m³ kaasua. Ainoastaan hiilidioksidi toimitetaan pullossa nestemäisessä muodossa, kaikki muut ovat kaasuina.

Yksittäisten pullojen käyttö on paras ratkaisu, jos kaasun kulutus on pientä eikä asiakkaalla ole omaa kaasuverkostoa. Yksittäisiä pulloja on helppo siirrellä hitsauslaitteiston mukana, jos hitsaus ei tapahdu aina samassa paikassa.

Pullopaketissa kaasupullot toimitetaan 12 pullon nippuina. Pullot ovat kytkettyinä toisiinsa kiinteästi ja kaasu johdetaan pullopaketista asiakkaan omaan kaasujakeluverkostoon. Pullopaketin vaihtoehtona ovat pyöreät maksi- ja supermaksipallot, jotka ovat tilavuudeltaan 450-800 litraa. Pullopaketin tai maksipallon käyttö kannattaa vasta, kun kaasun vuosikulutus on yli 1500 m³ tai 150 pulloa. Mikäli kaasun kulutus on suurta eikä siirrytä pullopakettien tai maksipallojen käyttöön, yksittäisen kaasupullon vaihdosta ja täytöstä aiheutuva kustannuserä nousee suureksi ja pullojen vaihto aiheuttaa keskeytyksiä tuotannossa.

Kaasun vuosikulutuksen ylittäessä 5000 m³, on järkevintä siirtyä kaasun toimittamiseen nestemäisenä. Asiakkaan omista nestesäiliöistä kaasu johdetaan höyrystimen kautta kaasuverkostoon. Nestemäiset säiliöt lisäävät joustavuutta, sillä kaasut voidaan sekoittaa halutuksi seokseksi ennen verkkoon syöttämistä. (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.47) (Lukkari, J., 2002, s.198) (Korjala, K., 2007, s.67)

4.2.1 Suojakaasun kustannukset

Suojakaasun kokonaiskustannukset koostuvat välittömistä ja välillisistä kustannuksista. Välittömiä kustannuksia ovat itse kaasun hinnan ohella kaasun toimituskustannukset, pullovuokrat tai oman kaasujakeluverkoston investointikustannukset. Välillisiksi kustannuksiksi lasketaan hitsauskaasun valinnalla aikaansaadut tuottavuuden muutokset, kaasuvuodot sekä kaasun virtausmäärät. Kaasun ostohinta riippuu toimittajan ja asiakkaan välisestä sopimuksesta, mutta karkeasti voidaan arvioida seoskaasun maksavan noin 3€/kg. Tämä tarkoittaa 50 litraisien seoskaasupullon täytön maksavan noin 50-60 euroa.

Kaasuvuodot ovat yksi iso kustannuksiin vaikuttava tekijä. Suojakaasun vajaa saanti aiheuttaa ongelmia hitsin suojauksessa ja kaasun sekaan päässeet epäpuhtaudet aiheuttavat laatuongelmia. Huono hitsin laatu tai vajaahitsautuneisuus aiheuttaa suuria lisäkustannuksia. Varsinkin alumiinin hitsauksessa on suojakaasun laadussa oltava tarkkana, sillä pienikin määrä epäpuhtautta suojakaasussa saa aikaan huokoisuutta hitsiin.

Myös suojakaasun virtausmäärän optimointi on tärkeää hyvän hitsaustuloksen aikaansaamiseksi. Suojakaasun virtausmäärän on oltava riittävä hitsisulan suojaamiseksi, mutta liian suuri virtausnopeus saattaa aiheuttaa epäedullista pyörteilyä ja huonompaa suojausta. Tärkeitä hitsauslaatuun vaikuttavia asioita ovat myös suojakaasun esi- ja jälkivirtaus. Suojakaasun johtaminen hitsaustapahtumaan aloitetaan ennen valokaaren sytyttämistä ja lopetetaan reilusti kaaren sammumisen jälkeen. Näin varmistetaan hitsauksen alku- ja loppupäähän riittävä kaasusuoja. Hitsauksen loputtua on tärkeää suojata jäähtyvää hitsiä ja varsinkin TIG -hitsauksessa jäähtyvää volframielektrodia. (Lukkari, J., 2002, s.190,221) (Lukkari, J., Hitsausuutiset 1/2006, s.26) (Korjala, K., 2007, s.91-92) (Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet, 2005, s.165)

4.2.2 Laitteet ja varusteet

Kaasun johtaminen pulloista hitsaustapahtumaan vaatii tietynlaisia laitteita. Kaasu johdetaan pullosta pulloventtiiliin, virtaussäätimen, magneettiventtiiliin ja kaasuletkun kautta hitsauspistooliin tai hitsaimeen, jonka painalluksesta magneettiventtiili aukeaa. Virtaussäädin liitetään yleensä pulloon ja varustetaan rotametrillä tai kellolla, joka ilmoittaa kaasun virtauksen litroina minuutissa. Parhaan virtausmäärän varmistamiseksi kannattaa kaasuvirtaus

tarkastaa erikseen vielä hitsauspistoolin päähän asennettavalla rotametrillä, sillä pulloon asennettu virtausmittari ei ota huomioon laitteistosta aiheutuvia virtausvastuksia.

Kaasuletkujen hyvä kunto on tärkeässä osassa laitteistoa, jotta epäpuhtauksia ei pääse suojakaasun sekaan. Pidemmän ajan kuluessa ehjänkin muovisen kaasuletkun läpi pääsee kuitenkin suotautumaan happea, typpeä tai kosteutta. Epäpuhtauspitoisuudet letkun sisällä laskevat kuitenkin nopeasti, kun kaasuvirtaus käännetään takaisin päälle.

Jos kaasu on nestemäisenä säiliössä, se on puhdasta yksikomponenttikaasua. Esimerkiksi argon ja hiilidioksidi ovat erillään nestemäisinä. Aluksi nesteet höyrystetään kaasuiksi ja johdetaan mikseriin, jossa ne sekoitetaan halutuksi seoskaasuksi. Tämän jälkeen kaasu johdetaan kaasuverkostoon, joka johtaa kaasun halutuille työpisteille. Kaasuverkkoon voidaan johtaa kaasua myös pullopatterista, mutta paine on ensin alennettava kaasupullon kahdestasadasta baarista kaasuverkoston 4-6 baariin. (Lukkari, J., 2002, s.189-199)

5 TYÖTURVALLISUUSNÄKÖKOHDAT

Hitsaussuojakaasuina käytettävät argon, helium, typpi ja hiilidioksidi syrjäyttävät ilmasta happea. Näiden kaasujen käytön vaarat korostuvat pienissä työtiloissa, joissa ilmaa on vähän ja tuuletus vajavaista. Pieninä pitoisuuksina ne aiheuttavat uneliaisuutta, pahoinvointia ja pahimmassa tapauksessa jopa tukehtumisen. Ihminen ei voi aistia kaasupitoisuutta, vaan apuna on käytettävä kaasuanalysointia. Suojakaasuista argon ja hiilidioksidi ovat ilmaa raskaampia ja ne kerääntyvät työtilan alimpaan kohtaan. Erityisesti vaarallisia paikkoja ovat siilot ja säiliöt, joihin kaasu on kerääntynyt, sillä puhtaan kaasun hengittäminen aiheuttaa välittömästi tajuttomuuden ja muutaman minuutin kuluessa kuoleman.

Hapen ja paineilman käsittelyssä on noudatettava huolellisuutta, sillä ne edistävät palamista. Normaalisti palamattomat materiaalit saattavat helposti syttyä tuleen hapekkaassa ilmassa. Tämän takia työvaatteiden puhdistaminen hapella tai paineilmalla on työturvallisuuden näkökulmasta ehdottomasti kiellettyä, sillä happi sitoutuu kankaan kuituihin ja saattaa aiheuttaa nopeasti etenevän palon pienestä kipinästä. Myös vedyn käsittelyssä on oltava

huolellinen, sillä se on herkästi syttyvä ja palava kaasu. Hitsauksessa käytettävä FORMIER 10 -kaasu sisältää vetyä, joten sen käyttö säiliöiden juurensuojuksessa on vaarallista räjähdysvaaran takia. (Terveys ja turvallisuus hitsauksessa, 2006, s.143-144)

5.1 Hitsaussavu

Hitsaussavulla tarkoitetaan hitsauksessa syntyvien, ilmassa leijuvien partikkeleiden ja kaasujen seosta. Hitsaussavun syntyyn vaikuttaa hitsausprosessin lisäksi hitsattava materiaali ja käytettävä lisäaine, suojakaasu ja hitsausarvot. Myös materiaalin pinnoite, esimerkiksi maali vaikuttaa savun syntyyn. Hitsaussavu sisältää käytettävien suojakaasujen lisäksi kaasuja, jotka syntyvät valokaaren läheisyydessä kuten otsoni. Savu sisältää myös kiinteitä hiukkasia, jotka syntyvät valokaaren höyrystämien alkuaineiden oksidoituessa valokaaren ulkopuolella. Hitsaussavu on terveydelle haitallista, sillä sen sisältämät pienimmät partikkelit kulkeutuvat keuhkoihin. Paras tapa suojautua hitsaussavulta on järjestää hitsauspaikalle tehokas savunpoisto tai käyttää hengityssuojainta. Otsenin syntymistä voidaan tehokkaimmin ehkäistä lisäämällä suojakaasun sekaan pieni määrä typpimonoksidia, joka valokaaren UV - säteilyn kanssa reagoiessaan yhtyy otsonin kanssa ja muodostaa typpidioksidia ja happea. (Terveys ja turvallisuus hitsauksessa, 2006, s.61-62) (Suojakaasukäsikirja, 2010, s.14)

5.2 Hitsaussäteily

Valokaari muodostaa säteilyä, joka voidaan jaotella UV-säteilyksi, infrapunasäteilyksi ja näkyvän valon säteilyksi. Hitsaussäteilyn syntyyn vaikuttaa hitsausprosessi, hitsattava materiaali ja lisäaine, suojakaasu ja hitsausarvot. Säteilylajeista ympäristölle haitallisimman on UV-säteily, joka vahingoittaa silmää ja ihoa. UV-säteily aiheuttaa suojaamattoman ihon punoitusta ja palamista. Tietty UV-säteilyn aallonpituudet nopeuttavat ihon vanhenemista ja lisäävät ihosyövän riskiä. Tämän takia paljas iho on suojattava enne hitsauksen aloittamista. Infrapunasäteily tuntuu paljaalla iholla lämpönä mutta ei aiheuta sen vakavampia oireita. Infrapunasäteily saattaa kuitenkin vahingoittaa silmän verkkokalvoa tai sumentaa silmän mykiötä tai sarveiskalvoa. UV-säteily ei aiheuta silmälle pysyviä vammoja lyhytkestoisina altistumisina, mutta pitkäkestoinen altistuminen saattaa aiheuttaa silmään harmaakaihia. Näkyvä valo saattaa vahingoittaa silmän verkkokalvoa ja heikentää valon aistimusta. Tämän takia hitsaussuojalasien käyttö on välttämätöntä. Taulukossa 6 on esitetty suojalasien valinta

hitsausmenetelmän, käytettävän virran ja lasien tummuusasteen mukaan. (Terveys ja turvallisuus hitsauksessa, 2006, s.99-100)

Taulukko 6. (Terveys ja turvallisuus hitsauksessa, 2006, s.103)

		Virta (A)																				
		1,5	6	10	15	30	40	60	70	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	600
Puikko-hitsaus		8							9	10			11			12			13			14
MAG-hitsaus		8							9	10	11			12			13					
TIG-hitsaus		8			9		10			11			12		13	14						
MIG-hitsaus ¹⁾									9	10	11			12		13	14					
MIG-hitsaus ²⁾									10			11	12	13	14							
Hiiikkaaritalltaus		10										11	12	13	14	15						
Plasmaleikkaus									9	10	11	12			13			14				
Plasmahitsaus		4	5	6	7	8	9	10	11			12										
		1,5	6	10	15	30	40	60	70	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	600

1) Teräs, kupari jne. 2) Alumiini

5.2 Henkilökohtainen suojavarustus

Hitsaajan on työssään suojauduttava hitsauskipinöiltä, hitsaussavulta, sularoiskeilta, melulta sekä UV-säteilyltä. Näistä syistä johtuen oikeanlaisten suojavarusteiden käyttö on tärkeää. Suojavarusteet ovat henkilökohtaisia ja niihin kuuluu hitsausmaski asianmukaisella lasintummuudella, kuulosuojaus, teollisuuskypärä mahdollisten putoavien esineiden suojaukseen, hengityssuojain, oikeantyyppiset hitsauskäsineet, suoja- tai turvakengät sekä suojavaatetus, jonka ominaisuudet täyttävät hitsaustyön edellyttämät vaatimukset. Työnantajan tehtävä on antaa hitsaajalle asianmukaiset suojaimet, järjestettävä niiden säännöllinen huolto, annettava opastus suojainten käyttöön sekä valvoa niiden asianmukaista käyttöä. (Terveys ja turvallisuus hitsauksessa, 2006, s.127-135)

6 TUOTTAVUUSCASET

6.1 Plasmahitsauksen tehokkuuden parantaminen

Plasmahitsauksen tuottavuutta voidaan kaasuvaihtelulla parantaa tehokkaasti, sillä plasma- ja suojakaasuksi voidaan valita eri kaasut tai kaasuseokset. Plasmakaasuna yleisesti käytetty kaasu on argon, mutta sen huonon lämmönjohtavuuden vuoksi käytetään usein argon-vety -seosta. Vedyn lisääminen plasmakaasuun parantaa hitsausnopeutta ja pienentää reunahaavan riskiä paremmalla hitsin ja perusaineen liittymisellä.

Argon-vety -seosta voidaan käyttää myös suojakaasuna, mutta sen käyttö on huomattavasti kalliimpaa kuin puhtaan argonin. Suojakaasun virtausnopeus on noin neljä kertaa suurempi kuin plasmakaasun, joten tapauskohtainen harkinta on kannattavaa kustannussyistä. Argon on metallurgisesti turvallinen valinta plasmahitsauksen suojakaasuksi sen reagoimattomuuden ja hyvän ilman syrjäyttämiskykynsä vuoksi.

Galvanoimis Oy tutki plasmahitsauksen soveltuvuutta painesäiliön pituus- ja kehärailon hitsaukseen. Painesäiliön materiaalina käytettiin RAEX perusterästä sekä ruostumatonta AISI 316L -terästä. Ainepaksuus molemmilla materiaaleilla oli 4mm ja railomuotona I-railo. Molemmille materiaaleille käytettiin plasmakaasuna argon-vety -seosta 5 % vetypitoisuudella, suojakaasuna puhdasta argonia ja juurikaasuna typpeä. Plasmakaasun virtausmäärä oli 3,6 l/min ja suojakaasun 15 l/min. Lisäaine oli lankamaista ja syöttönopeus molemmissa tapauksissa 98 mm/min.

Testituloksista huomattiin, että plasmahitsaus soveltuu hyvin varsinkin ruostumattoman teräksen hitsaukseen, jossa hitsausnopeus oli 400 mm/min hitsausvirran ollessa 180 A. RAEX perusterästä hitsattaessa 188 A virralla päästiin vain 320 mm/min hitsausnopeuteen.

Hitsin laatu saatiin testissä hyväksi, sillä hitsauspää pystyttiin pitämään paikoillaan ja syöttöliike tehtiin pyörittämällä säiliötä. Jos hitsattava säiliö on liian suuri eikä sitä pystytä pyörittämään, täytyy hitsauslaitetta kuljettaa säiliön kehällä. Varsinkin jos säiliö on vaakasuorassa, hitsausasento muuttuu jalkoasennosta lakiasentoon ja vaikeuttaa näin hitsaustapahtuman säätöä ja parametrien hallintaa. Tällaisissa tapauksissa tyypillisiä

hitsausvirheitä ovat liian suuri tunkeuma jalkoasennossa ja kupera hitsi lakiasennossa. (Jernström, P., Plasmahitsauksen tehokas käyttö, 1997, s.44,50)

6.1 Case Allure of the Seas

27.11.2009 Turun telakalta lähtenyt Allure of the Seas on maailman suurin risteilyalus. Alus on 361 metriä pitkä, 66 metriä leveä ja kokonaisuudessaan 73,2 metriä korkea. Laiva on rakennettu 500 000 yksittäisestä osasta, jotka on hitsattu yhteen. On siis selvää, että hitsaus on ollut merkittävä valmistustekniikka laivaa rakennettaessa.

Aluksen hitsien yhteispituus on noin 2400 kilometriä ja niiden valmistamiseen kului yli 1000 tonnia hitsauslisäaineita. Kaikista hitseistä 73 % suoritettiin MAG -täytelankahitsauksella. Lisäainevalintojen ohella oikeiden suojakaasujen käyttö on ollut tärkeässä roolissa hitsaustyön optimoinnissa. Metallitäytelangan suojakaasuna käytettiin M21 seoskaasua, joka vastaa AGAn MISON 25 -suoja-kaasua. Rutiilitäytelangan suojakaasuna käytettiin puhdasta hiilidioksidia.

Yksi syy näiden suojakaasujen käytölle on hyvä epäpuhtauksien sietokyky. Telakalla hitsausympäristö ei välttämättä ole riittävän puhdas käytettäväksi argonvaltaisempia kaasuja. Suurempi hiilidioksidipitoisuus metallitäytelankoja käytettäessä antaa erittäin tiiviin hitsin epäedullisissakin olosuhteissa. Myöskään hitsausjäljen siisteysvaatimukset todennäköisesti eivät ole korkeimmat mahdolliset liitettäessä yhteen rungon osia, joten jälkityöstöä hitsin siistimiseksi ei välttämättä tarvita kovinkaan paljoa. (Lukkari, J., Hitsausuutiset, 2/2010, s. 3-5)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET

Suojakaasun valinnan merkitystä ei välttämättä tule ajatelleeksi tarpeeksi suuressa mittakaavassa, sillä hyvät seoskaasut maksavat enemmän kuin yksikomponenttikaasut. Nopeasti ajateltuna saatetaan hylätä parempi suojakaasu sen korkean hinnan vuoksi, eikä nähdä lisäsijoitusta tarpeellisena. Tarkemmin asiaa kuitenkin tutkiessa, helposti huomataan hieman suuremman suojakaasuinvestoinnin maksavan itsensä takaisin vähentyneen jälkityöstön määrässä ja kasvaneena hitsausnopeutena. Myös työympäristön ilmanlaadulla on suuri vaikutus hitsaustyön mielekkyyteen ja työntekijöiden hyvinvointiin. MISON - suojakaasujen kyky vähentää otsonin syntymistä on etu, jota ei tänä päivänä voi jättää huomioimatta, sillä työturvallisuus ja työntekijän hyvinvointi menevät aina etusijalle.

Suojakaasujen kehitys on vuosien saatossa johtanut yhä argonvaltaisempien kaasujen käyttöön. Samalla hiilidioksidin määrä on seoskaasuissa pienentynyt ratkaisevasti. Seostamattomien terästen käsinhitsauksessa käytettävät kaasut ovat tänä päivänä hyvin optimoituja. Tulevaisuudessa kehitys saattaa johtaa ruostumattomien- ja ultralujien terästen mekanisoidussa hitsauksessa käytettävien suojakaasujen kehittämiseen. Mekanisoidussa ja robotisoidussa hitsauksessa poistetaan ihmisestä aiheutuvat virheet, kuten suutinetäisyyden muutokset ja hitsauspistoolin asennon epäedulliset muutokset. Tämän ansiosta voidaan keskittyä optimoimaan suojakaasua, joka räätälöidään tarkasti tietyille materiaaleille ja hitsausprosesseille. Kaasun seoskomponenttien määrää voidaan lisätä ja kaasun seospitoisuuksia tarkentaa, jotta päästään yhä tehokkaampaan hitsaustulokseen. Käytetyn suojakaasun talteenotto ja kierrätys ovat varteenotettavia jatkotutkimuskohteita, sillä kaasujen uudelleenkäyttö luonnollisesti alentaa kaasujen hankintakustannuksia. Myös lämmöntuonti on hitsauksessa oleellinen seikka, johon voidaan seoskaasun ominaisuuksilla vaikuttaa. Suojakaasujen kehitys saattaa johtaa myös hybridihitsauksen suuntaan, sillä kyseinen prosessi on todettu äärimmäisen tehokkaaksi esimerkiksi laivanrakennuksessa. Tehokkuutta voitaisiin kenties edelleen parantaa käytettäviä suojakaasuja kehittämällä ja kaasun virtausmääriä optimoimalla.

8 YHTEENVETO

Hitsauksessa käytettävän suojakaasun tehtävä on suojata hitsisulaa ilman haitallisilta vaikutuksilta ja edesauttaa valokaaren optimaalista palamista. Suojakaasun valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat käytettävä hitsausprosessi, lisäaine sekä hitsattava materiaali. Argon on hitsaussuojakaasun peruskomponentti, johon sekoitetaan eri osakomponentteja halutun hitsaustuloksen aikaansaamiseksi.

Seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen hitsaamiseen käytetään argonvaltaista suojakaasua johon on sekoitettu 8-25 % hiilidioksidia. Pieni määrä hiilidioksidia on välttämätöntä valokaaren hyvän syttymisen ja vakaan palamisen kannalta. Jos hiilidioksidia ei voida hitsausprosessista johtuen käyttää, voidaan sen tilalla käyttää heliumia tai vetyä. Heliumin tai vedyn lisäys kasvattaa kaarienergiaa ja mahdollistaa suuremman hitsausnopeuden, paremman tunkeuman sekä perusaineen ja hitsipalon paremman liittymisen.

Runsasseosteisten terästen hitsauksessa on käytettävä vähähiilidioksidista suojakaasua, jotta välttyään hapettamasta hitsin pintaa. Suojakaasussa on kuitenkin oltava pieni määrä hiilidioksidia vakauttamassa valokaaren palamista. Hiilidioksidi voidaan tarpeen vaatiessa korvata seostamalla argoniin heliumia, vetyä tai typpeä.

Alumiinin hitsauksessa on käytettävä aina inerttiä suojakaasua. Suojakaasun on myös oltava erittäin puhdasta, sillä pienikin määrä epäpuhtauksia tai kosteutta suojakaasussa aiheuttaa hitsiin huokoisuutta. Käytettävä suojakaasu on pääasiassa argonin ja heliumin seos, mutta koska alumiinin hitsauksessa otsonin muodostuminen on suuri ongelma, on kaasuun lisättävä vielä typpimonoksidia.

Kaikkiin MISON -suojaasuuihin on lisätty 0,03 % typpimonoksidia, joka ehkäisee otsonin muodostumista. Otsoni on erittäin myrkyllinen kaasu, jota muodostuu kun valokaaren synnyttämä UV-säteily kohtaa ilmassa olevat happimolekyylit. Suojakaasun typpimonoksidi reagoi otsonin kanssa ja reaktiotuotteena syntyy happea ja vähemmän haitallista typpidioksidia. Tämä ominaisuus on työterveyden kannalta äärimmäisen tärkeää, sillä

hitsauspaikalle ei aina ole mahdollista järjestää tehokasta ilmanvaihtoa tai hitsaussavun kohdepoistoa.

Kaasun toimitusmuodot riippuvat asiakkaan tarpeista ja kulutuksesta. Pienille asiakkaille suojakaasu toimitetaan valmiiksi sekoitettuna kaasupulloissa, Jos suojakaasun kulutus on suurta, kaasu toimitetaan nestemäisenä asiakkaan omiin säiliöihin joista se kaasutetaan ja sekoitetaan halutuksi seokseksi.

Hitsauksen tehokkuutta voidaan parantaa merkittävästi oikeilla suojakaasuvalinnoilla. Pienillä kaasuihin kohdistuvilla lisäinvestoinneilla voidaan parantaa tuottavuutta jopa kolmanneksella, sillä oikeanlainen suojakaasu mahdollistaa suuremman hitsausnopeuden, paremman tunkeuman, herkkäliikkeisemmän hitsisulan ja hitsin paremman visuaalisen laadun.

LÄHDELUETTELO

Fronius, esitemateriaali

Jernström, P.: Plasmahitsauksen tehokas käyttö, MET -julkaisu nro 5/1997, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, 60 s., ISBN 951-817-671-X

Korjala, K.: Hitsausuojakaasujen tehokas ja taloudellinen käyttö, diplomityö, LTY, 2007, 136 s.

Kujanpää, V., Salminen, A., Vihinen, J.: Lasertyöstö, Teknologiainfo Teknova Oy 2005, 373 s., ISBN 951-817-876-3

Lepola, P., Makkonen, M.: Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet 1.-2. painos, WSOY, 2006, 429 s., ISBN 951-0-27158-6

Lukkari, J.: Hitsaustekniikka, perusteet ja kaarihitsaus 4. painos, Opetushallitus Edita Prima Oy 2002, 292 s., ISBN 952-13-1409-5

Lukkari, J.: Hitsausuutiset 1/2006, ESAB Oy, 32 s.

Lukkari, J.: Hitsausuutiset 2/2010, ESAB Oy, 24 s.

Lukkari, J.: Terveys ja turvallisuus hitsauksessa, Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö SPEK, Savion Kirjapaino OY, 2006, 151 s., ISBN 951-797-232-6

Suojakaasukäsikirja, 2010, Oy AGA Ab, 52 s.

Woikoski, esitemateriaali