



TEKNIikka JA LIIKENNE

Kone- ja tuotantotekniikka

Koneensuunnittelu

INSINÖÖRITYÖ

TIG-HITSAUSKAMMIO TITANIN HITSUKSEEN

Työn tekijä: Janne Niemi
Työn ohjaajat: Pekka Hautala
Joel Kontturi

Työ hyväksytty: 30. 11. 2010

Pekka Hautala
Yliopettaja



ALKULAUSE

Tämä insinööryö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle, Tekniikan ja liikenteen toimialalle. Toimeksianto tuli Formula Student -tiimin taholta, koska he tarvitsivat sopivia olosuhteita titaanin hitsaukselle. Haluan kiittää projektissa mukana olleita projekti-insinööri Joel Kontturia ja lehtoreita, Juha Kotamiestä ja Pekka Hautalaa.

Helsingissä 24.11.2010

Janne Niemi

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Janne Niemi	
Työn nimi: TIG-hitsauskammio titaanin hitsaukseen	
Päivämäärä: 24.11.2010	Sivumäärä: 29 s.
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Koneensuunnittelu
Työn ohjaaja: Pekka Hautala TkL Työn ohjaaja: Joel Kontturi Insinööri(AMK)	
<p>Työn tarkoituksena on ratkaista pienten titaanikappaleiden hitsaukseen liittyen ongelmia ja suunnitella titaanin hitsauskammio TIG-hitsaus menetelmälle. Kammion tarve ilmeni, koska Metropolia Ammattikorkeakoulun formulatiimi tarvitsi toimivan järjestelmän hitsataksseen titaanisä pakoputkistoja. Titaani reagoi herkästi hapen, typen ja vedyn kanssa. Kammion on tarkoitus eristää kappaleen hitsaus ja jäähtyminen ilmassa olevilta kaasuilta.</p> <p>Kammio päätettiin suunnitella ja valmistaa itse kustannusten säästämiseksi. Valmistusmateriaalina päädyttiin käyttämään suurelta osin alumiinia keveyden vuoksi. Tärkein toiminnallinen kriteeri suunnittelussa oli kammion kyky pitää suojakaasu hitsauksen ja jäähtymisen suojana kammiossa. Kammion käytännöllisyyden kannalta keveys oli myös oleellinen kriteeri, jotta hitsauskammioita olisi helppo siirrellä työpajassa tarpeen tullen. Myös käytömukavuuteen yritettiin panostaa miettimällä työergonomiaa.</p> <p>Suojakaasuna kaapin sisällä käytetään titaania hitsatessa argonia. Suunnittelussa on pyritty sijoittamaan suojakaasun tulo- ja poistoaukot järkeviin paikkoihin kammioon, jotta voitiin varmistua parhaiten huuhtelusta.</p> <p>Työn tuloksena suunniteltiin ja rakennettiin itsenäinen ja toimiva titaanin hitsauskammio, jolla saa aikaan laadukasta titaani hitsiä. Kammiossa hitsataan pieniä ja muodoltaan hitsattavaksi vaikeita kappaleita.</p>	
Avainsanat: TIG-hitsaus, suojakaasu, titaanin hitsaus, argon, hitsauskammio	

ABSTRACT

Name: Janne Niemi

Title: TIG-welding chamber for titanium welding

Date: 15.01.2010

Number of pages: 29 pages.

Department:

Study Programme:

Mechanical Engineering

Machine Design Engineering

Instructor: Pekka Hautala Lic.Sc.(Eng.)

Supervisor: Joel Kontturi, B.Sc.(Eng.)

The purpose of this graduate study was to solve problems according titanium welding and to design TIG-welding chamber to weld titanium. Need for this welding chamber came from Metropolia's Formula Student-team that wants to make a titanium exhaust system for the formulacar. Titanium is reactive metal with atmospheric gases such as hydrogen, oxygen and nitrogen. The welding chamber is made to isolate welding process from atmospheric gases.

The welding chamber was made by-self, aiming low costs. The main material for the chamber was aluminium because it is light in weight and strong durability material. The most important functional criteria for the chamber was to keep shielding gas around the welding and cooling process. Chamber is made to be practical and light weight to make working with it easy and enjoyable. Ergonomical thinking has been part of the design process by thinking of working positions and comfortability.

When using the chamber to weld titanium, shielding gas has been designed to be at least 99,996 or above pure argon. Inlets and outlets of the chamber have been designed the way that they improve argon shield inside the chamber.

The result of this project is designed and built TIG-welding chamber for titanium welding that gives circumstances to have good quality titanium weld. Chamber is practically easy to use and has developed to work with small pieces that are hard to weld and shield with normal shielding gas techniques.

Keywords: TIG-welding, GTAW-welding, Titanium, Shielding gas, Argon, Welding chamber.

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	TIG-HITSAUSMENETELMÄ	3
2.1	Yleistä	3
2.2	Laitteisto	3
2.3	TIG-hitsauksen kehitys	5
2.4	Hitsaaminen	6
2.5	Hitsausmoodit	6
2.6	Turvallisuus	7
2.7	Elektrodit	8
2.8	Hitsattavat materiaalit	9
2.8.1	<i>Soveltuvuudet</i>	9
2.8.2	<i>Magnesium- ja alumiiniseokset</i>	9
2.8.3	<i>Teräkset</i>	9
2.8.4	<i>Titaani</i>	9
3	TITAANI MATERIAALINA	10
3.1	Yleistä titaanista	10
3.2	Standardit ja laadut	12
3.3	Reaktiivisuus	14
3.4	Hitsattavuus	15
3.4.1	<i>Yleistä</i>	15
3.4.2	<i>Ennen hitsausta</i>	16
3.4.3	<i>Suojakaasun tuonti</i>	16
3.4.4	<i>Titaanin hitsaus</i>	16
3.4.5	<i>Hitsin analysointi värianalyysillä</i>	17
3.4.6	<i>Titaanin päästö</i>	18
4	KAMMION SUUNNITTELU	19
4.1	Suunnittelun lähtökohdat	19
4.2	Materiaalin valinta	20
4.3	Koon määrittely	21

4.4	Ergonomia	22
4.5	Kammion argontäyttö	23
5	KAMMION KÄYTTÖ	24
5.1	Valmistelut	24
5.2	Kuvun salpaaminen ja täyttö	24
5.3	Kappaleen valmistelu	25
5.4	Hitsaaminen	25
5.5	Hitsauksen lopettaminen	25
6	TESTAUS JA HAVAINTOJA	26
7	KEHITYSALUEITA MENETELMÄLLE	28
7.1	Kammion tilavuus	28
7.2	Kaasutäyttö	28
	VIITELUETTELO	29

1 JOHDANTO

Metropolia Ammattikorkeakoulun formulatiimi tarvitsee sopivia olosuhteita titaanin hitsaukselle, valmistukseen pakoputkistoja kilpa-autoon. Vastaavalaisia hitsauskammioita on olemassa, mutta ne eivät ole tarpeenmukaisia tähän tarkoitukseen.

Titaania pidetään hankalana hitsattavana, mutta se johtuu titaanin ominaisuuksista ja niiden ymmärryksen puutteesta[7]. Titaanin hitsauksen ongelma on ympäröivän ilman kaasut, jotka kerääntyvät titaanin raerajoille asti, heikentäen merkittävästi hitsin laatua. Hitsaus tulee suojata joka puolelta, eli eristää kaasuepäpuhtauksilta kokonaan, myös jäähtymisen ajaksi. Lisäksi herkästi reagoiva titaani olisi puhdistettava ennen hitsausta pinnan oksidikalvolta ja epäpuhtauksilta.

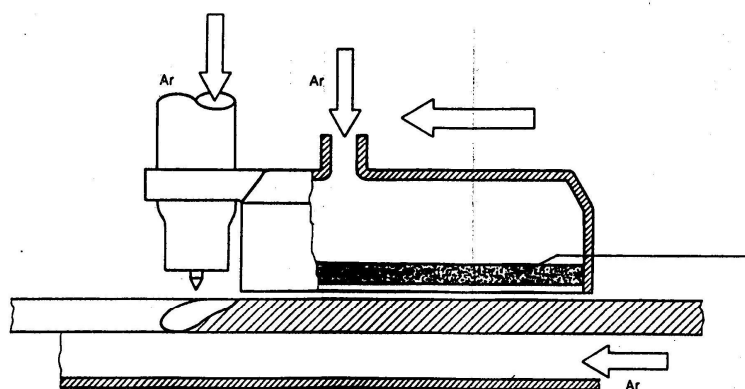
Titaaninen kappale on hitsattava ja annettava jäähtyä eristetyissä olosuhteissa, suojakaasun ympäröimänä. Normaalisti lisäsuojan saamiseksi hitsauksessa käytetään jälkisuojainta, joka suojaa saumaa jäähtymisen aikana sekä alapuolista juurisuojausta. Käytössä olevat suojakaasumenetelmät eivät sovi pienten ja ahdas paikkaisten kappaleiden hitsaamiseen, koska ne on suunniteltu paikkoihin, joissa on tilaa ja tasaisia pintoja. Kuvassa 1 on havainnollistettu käytössä olevia menetelmiä lisäsuojan saamiseksi. Edeltävistä syistä johtuen, päätettiin valmistaa erillinen hitsauskammio titaanin hitsaukselle, jolloin suojakaasulla täytetty kammio ratkaisee kaasusuojaukseen liittyviä ongelmia.

Titaanin hitsauksesta on olemassa VTT:n tutkimus vuodelta 1989: Kaasusuojan ja railon esikäsitteilyn vaikutus titaanin hitsausliitoksen ominaisuuksiin. Kaasumaiset epäpuhtaudet näkyivät hitsissä sinertävinä väreinä, erityisesti happi aiheutti liitosvirheitä ja huononsi TIG-elektrodin kuntoa, karstoitamalla sitä. Railon esikäsitteilyllä ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta titaanihitsin ominaisuuksiin. Tutkimuksessa esikäsitteilyt ovat tehty ilmaa ympäröivissä olosuhteissa, jolloin hitsattavat pinnat ovat oksidoituneet jo heti käsittelyssä. [3, s. 44.]

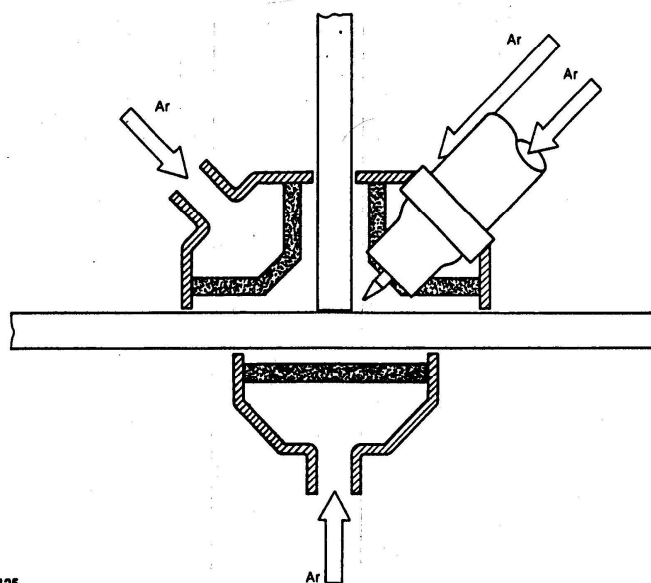
Hitsauskammio on eristetty työkammio, jossa työskentely tapahtuu kammion seinään asennettujen tiiviiden käsineiden läpi. Kammioon tulee TIG-hitsausletku, suojakaasusuuttimet 2 kappaletta ja poistokaasujen huuhtelu-

aukot 3 kappaletta. Näkyvyys kammion sisälle tapahtuu akryylisen ikkunan lävitse.

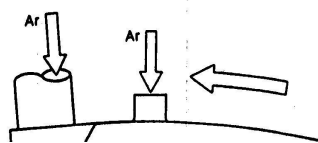
Kammiosta oli tarkoitus saada mahdollisimman kevyt ja käytännöllinen liikuteltava paketti. Työskentelyergonomiaan on panostettu miettimällä käyttäjän mukavuutta ja helppoutta sekä työskentelyasentoja.



Kuva 124. Jähkivirtausrasia.



Kuva 125.



Kuva 1. Kaasusuojauksen lisämenetelmiä [12].

2 TIG-HITSAUSMENETELMÄ

2.1 Yleistä

TIG-hitsaus on kaasukaarihitsausta, jossa valokaari palaa hitsattavan kappaleen ja sulamattoman wolframielektrodin välillä, suojakaasun ympäröimänä. TIG-hitsauksessa, joko voidaan käyttää lisäainetta, tai olla käyttämättä. Lisäaine on koostumukseltaan hitsattavaa materiaalia vastaavaa ja sitä syötetään käsin, noin metrin mittaisella, 1,5 - 3,5 mm paksulla langalla.

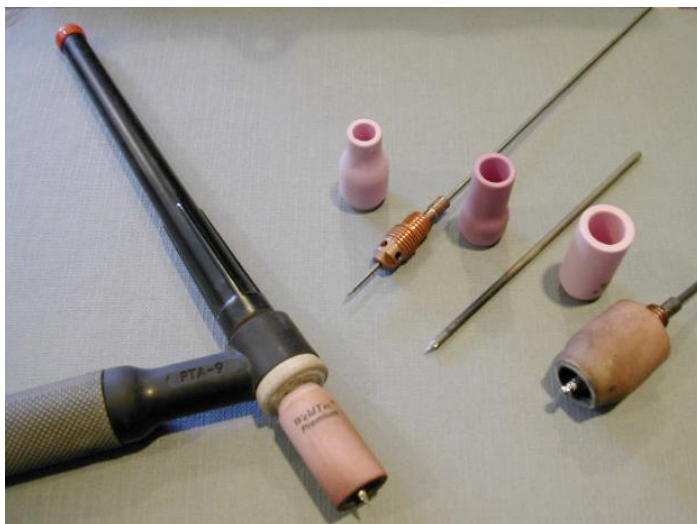
TIG-hitsausta käytetään vaativiin paikkoihin ja ohuisiin materiaaleihin sekä alumiinin ja erikoismetallien hitsaukseen. TIG-hitsauksen etuja ovat hyvä sulan ja tunkeuman hallinta, tarkasti säädeltävä lämmöntuonti ja hitsin puhtaus. TIG-hitsaus on hitaampi, kuin muut hitsausmenetelmät, mutta se on parempi kohteisiin, jotka vaativat tarkempaa hitsausta.

2.2 Laitteisto

TIG-hitsaus laitteisto muodostuu virtalähteestä, hitsauspolttimesta ja poltinkaapelista sekä maattokaapelista ja suojakaasulaitteistosta. Suojakaasuvirtauksen ohjaus on lähes aina integroitu virtalähteen yhteyteen. Suojakaasun lähteenä toimivaan kaasupulloon asennetaan paineenalennin ja alennettu kaasunpaine johdetaan hitsausvirtalähteeseen integroiduille suojakaasulaitteille. Tämän jälkeen kaasuvirtaus johdetaan poltinkaapelin suojakaasuletku- ja pitkin hitsauspolttimelle ja polttimen kaasuhylsyn lävitse suojaamaan hitsaustapahtumaa.

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan ja valmistetaan hitsauskammio TIG-hitsaukseen, joka ratkaisee kaasusuojaukseen liittyviä ongelmia titaanin hitsauksessa. Polttimen läpi virtaavaksi suojakaasuksi, on titaania hitsattaessa vaihdettava 99,996 tai puhtaampi argon. Kammioon tulee erillinen suojakaasulähde, joka täyttää ja huuhtelee kammion ennen hitsauksen aloittamista ja sen aikana.

Virtalähde tuottaa ja ohjaa hitsausvirtaa, joka syötetään poltinkaapelia pitkin hitsauspolttimen elektrodille. Kuljettuaan elektrodin ja työkappaleen välille syntyvän valokaaren kautta, virta kytkeytyy maattokaapelin kautta virtalähteen toiseen napaan. Kuvissa 2 ja 3 näkyy TIG-hitsauspolttimia ja niihin liittyviä tarvikkeita.



Kuva 2. TIG-hitsauspoltin ja siihen liittyviä tarvikkeita.



Kuva 3. Vesijäähdytetty TIG-poltin ja pienille virroille tarkoitettu pieni poltin.

2.3 TIG-hitsauksen kehitys

Valokaaren keksimisen jälkeen 1800-luvulla, kaarihitsaus on kehittynyt hiljalleen. Ei-ferriittisten metallien kuten alumiinin, magnesiumin ja titaanin, hitsaaminen on hankalaa, koska ne reagoivat ilman kanssa nopeasti muodostaen huokoisen ja huonolaatuisen hitsin. Idea hitsaamisesta inertin kaasun ympäröimänä syntyi 1900-luvun alussa. 1930-luvulla pulloitettua heliumia tai argonia suojakaasuna käyttäen hitsattiin jo lentokoneiteollisuudessa magnesiumia.

Järjestelmästä tuli valmis 1941. Ongelmana kuitenkin havaittiin elektrodin kuumeneminen yli sulamispisteen ja sekoittuminen hitsiin. Tämä ratkaistiin kääntämällä elektrodin napaisuus positiivisesta negatiiviseksi, mutta se teki menetelmästä sopimattoman ei-ferriittisten metallien hitsaukseen. Vaihtovirta virtalähteiden kehittyminen kuitenkin mahdollisti riittävän hallitun valokaaren pidon ja ei-ferriittisten metallien hitsaamisen. Myöhemmin Linde Air Products kehitti vesijäähdytetyn kolvipään, joka helpotti suurilla virroilla hitsaamista, jolloin ylikuumeneminen oli ongelmallista.

Myöhemmin jotkut rupesivat käyttämään suojakaasuna hiilidioksidia sen halvemman hinnan takia heliumin ja argonin sijaan, mutta hiilidioksidi osoittautui huonoksi ei-ferriittisillä metalleilla, huonontaen hitsin laatua.

1950-luvulla otettiin käyttöön myös plasmakaarihitsaus, jonka kontrollointi oli vielä tarkempaa ja hitsilaatu parempaa, mutta se soveltuu lähinnä automatisoituihin sovelluksiin. Nykyään TIG-hitsauksesta on kehittynyt paljon erilaisia sovelluksia, tämä opinnäytetyötyö mukaan lukien. Suosituin lienee virtalähteen pulssiominaisuus, joka pulssittaa virtaa automaattisesti hitsaajan säätämällä ohjelmalla.

2.4 Hitsaaminen

TIG-hitsausta pidetään vaikeimpana tapana hitsata. Hitsaajan tulee pitää samanaikaisesti mahdollisimman lyhyt 1,5 – 3 mm valokaari, koskettamatta kuitenkaan elektrodilla työkappaletta. Tunkeuman hallinta tulee saada sopivaksi ja lisäainetta annostella oikein tarpeen mukaan.

Valokaari saadaan syttymään kipinän avulla, joka muodostetaan korkeataajuuksisella ja korkeajännitteisellä sondilla. Tämä tulee huomioida esimerkiksi autoa hitsattaessa, jolloin se saattaa vahingoittaa sähköjärjestelmiä.

Kaaren syttyessä, hitsaaja sulattaa työpaloihin niin sanotun hitsialtaan, joka muodostuu sulasta. Hitsiallasta viedään hiljalleen eteenpäin hitsattavaa saumaa, välillä lisäainetta lisäten tarpeen mukaan altaan etuosaan. Taakse jää valmis hitsi jäähtymään.

2.5 Hitsausmoodit

Elektrodia voidaan pitää joko tasavirta miinusnapana, tasavirta plusnapana tai vaihtovirralla. Tasavirta miinusnavan hyödyt ovat elektrodin puhtaanapysyvyys ja syvä kapea tunkeuma ja haittana työkappaleen kova lämpiäminen ja sulan vaikeampi hallinta. Tasavirta plusnavan hyödyt ovat leveä ja matala tunkeuma sekä helpompi sulan hallinta ja hitsin puhtaana pysyvyys, mutta haittana elektrodin lämpeneminen ja karstoittuminen. Vaihtovirralla hitsattaessa saa kummankin tasavirtapuolen edut ja haitat, mutta edut ovat suuremmat.

2.6 Turvallisuus

Kuten muissakin hitsaustavoissa, myös TIG-hitsauksessa on omat vaaransa. Valokaaresta lähtee ultraviolettisäteilyä, joka on vahingollista iholle ja voi aiheuttaa samanlaisia palaneita kohtia altistuneille alueille kuin aurinko. Pahimmassa tapauksessa pitkän altistuksen johdosta ihosyövän muodostuminenkin on mahdollista. Kipinät ja sulapisarot voivat myös aiheuttaa pahoja palovammoja tai tulipalon.

Hitsaajan tulisi aina varustautua nahkaisin suojakäsinein ja suojata itsensä UV-säteilyltä asianmukaisin varustein. Hitsatessa on aina käytettävä hitsauskypärää, jossa on himmentävä linssi, etteivät silmät vahingoittuisi kirkkaasta valokaaresta.

Hitsaaja altistuu myös hiukkassaasteille, esimerkiksi suojakaasulle, jolla on syrjäyttävä vaikutus happeen, joka täten aiheuttaa tukehtumista. Metalleista voi irrota haitallisia höyryjä, jotka saattavat kertyä keuhkoihin. Joistain aineista, esimerkiksi monista kumeista irtoaa UV-säteilylle altistettuna hääkloridia, joka on myrkyllistä. Hitsauspaikan ympärillä on tärkeää olla hyvä tuuletus.

2.7 Elektrodit

TIG-elektrodit ovat volframia tai wolframiseoksia, koska niillä on korkea sulamispiste muihin metalleihin verrattuna, joka on 3422 °C. Elektrodi ei kulu TIG-hitsauksessa, paitsi elektrodia hiotessa. Elektrodeja saa 0,5 mm - 6,6 mm paksuisia. Elektrodin paksuus riippuu hitsausvirran suuruudesta.

Elektrodit on standardoitu ISO 6848 ja AWS A5.12 standardeissa, jotka näkyvät taulukossa 1 [10][11]. Puhtaat wolframielektrodit on tarkoitettu perushitsaukseen ja ne ovat halvempia. Seosteiset elektrodit ovat kalliimpia ja ne on suunniteltu tietynlaiseen hitsaukseen. Ceriumoksidi -seosteiset ovat valokaareltaan paremmin hallittavia ja helpommin sytytettäviä. Lanthaanilla on seosaineena samanlaisia ominaisuuksia. Thoriumseosteiset elektrodit ovat tasavirtahitsaukseen suunniteltuja ja kestävät korkeampia lämpötiloja, mutta ovat jossain määrin radioaktiivisia.

Taulukko 1. Elektrodien standardit ISO 6848:n ja AWS A5.12:n mukaan.

ISO Luokka	ISO Väri	AWS Luokka	AWS Väri	Seos
WP	Green	EWP	Green	None
WC20	Gray	EWCe-2	Orange	~2% CeO ₂ ~1%
WL10	Black	EWLa-1	Black	La ₂ O ₃ ~1.5%
WL15	Gold	EWLa-1.5	Gold	La ₂ O ₃
WL20	Sky-blue	EWLa-2	Blue	~2% La ₂ O ₃
WT10	Yellow	EWTh-1	Yellow	~1% ThO ₂
WT20	Red	EWTh-2	Red	~2% ThO ₂
WT30	Violet			~3% ThO ₂
WT40	Orange			~4% ThO ₂
WY20	Blue			~2% Y ₂ O ₃ ~0.3%
WZ3	Brown	EWZr-1	Brown	ZrO ₂ ~0.8%
WZ8	White			ZrO ₂

2.8 Hitsattavat materiaalit

2.8.1 *Soveltuvuudet*

TIG-hitsausta voidaan käyttää ruostumattoman teräksen ja ei-ferriittisten materiaalien hitsaukseen. Se soveltuu muihinkin materiaaleihin, mutta halvempien hitsausmenetelmien olemassaolon takia ei ole järkeä käyttää sitä muihin materiaaleihin.

2.8.2 *Magnesium- ja alumiiniseokset*

Magnesiumia ja alumiinia hitsataan yleisimmin vaihtovirralla, mutta tasavirrankin käyttö on mahdollista, riippuen tavoiteltavista ominaisuuksista. Hitsattavien kappaleiden esilämmityksestä, magnesium 175 - 200 °C:seen ja alumiini 150°C:seen, on apua. Vaihtovirran käyttö helpottaa kappaleen ja elektrodin puhtaana pysymistä. Tasavirralla hitsattaessa tulisi käyttää elektrodina puhdasta volframia tai zirkoniumseosteista volframia. Suojakaasuna käytetään ohuilla materiaaleilla argon ja paksummilla helium, tunkeuman parantamiseksi.

2.8.3 *Teräkset*

Hiili- ja ruostumattomille teräksille lisämateriaalin valinta on tärkeä liiallisen huokoisuuden ehkäisemiseksi. Lisämateriaali ja työkappale tulee puhdistaa oksidikalvoista ennen hitsausta saastumien ehkäisemiseksi. Esilämmitystä ei tarvita, paitsi kun materiaali on yli tuuman paksua. Hitsauksessa käytetään normaalisti tasavirtaa ja thoriumelektrodia teräväksi hiottuna. Suojakaasuksi sopii hyvin argon ja paksummilla materiaaleilla helium, tunkeuman parantamiseksi.

2.8.4 *Titaani*

TIG-hitsaus on yleisin tapa hitsata titaania ja titaaniseoksia. Ohuiden työkappaleiden hitsaamiseen ei välttämättä tarvitse käyttää lisämateriaalia, mutta sitä on hyvä olla käden ulottuvilla tarpeen vaatiessa. Olosuhteiden titaanin hitsaukseen, tulee olla hyvin eristetyt kaasusaastumien ehkäisemiseksi. Hitsaus voi olla automatisoitua tai manuaalisesti tehtyä.

3 TITAANI MATERIAALINA

3.1 Yleistä titaanista

Titaani kuuluu kevytmetalleihin ja se on yleisimpiä maankuoren metalleja. Teollisesti titaania on kyetty valmistamaan vasta 1940-luvulla. Sitä pelkistetään sen yleisimmistä raaka-aineista rutiilista (TiO_2) ja ilmeniitistä (FeTiO_3). Titaanin ja sen erilaisten seosten käyttö on tähän asti painottunut puolustusväline-, ja lentokone- ja avaruusteknologiaan. Sen lujuus ja väsymiskestävyys suhteessa painoon ovat etuja teräkseen verrattuna. Titaanin fysikaaliset ominaisuudet on esitetty taulukossa 2. Prosessiteollisuudessa titaanin etu on korroosiokestävyys. Määrällisesti eniten titaania käytetään pinnoitteena ja väriaineena koneteollisuudessa, ei niinkään rakennemateriaalina.

Titaanin korroosiokestävyys perustuu hapettavissa olosuhteissa sen pinnalle muodostuvaan, erilaisista titaanin oksideista koostuvaan lujaan ja passiiviseen kalvoon. Pelkistävässä ja hapettomissa olosuhteissa oksidisuoja heikentyy ja mahdollistaa syöpymisen. [4, s. 9.] Paikoissa, jossa halutaan hyvää korroosiokestävyyttä, eikä äärimmäistä lujuutta, käytetään seostamattomia titaania. [8, s. 9-2.]

Seostamalla titaanista saadaan lähes yhtä lujaa kuin teräksestä, mutta 45 % kevyempää. Lujuudestaan huolimatta puhtaan titaanin kimmokerroin on kuitenkin vain noin puolet teräksen kimmokertoimesta, jonka vuoksi se ei ole yhtä jäykkää. Titaanisten osien suunnittelussa tulee keskittyä muotoiluun poikkileikkauksien osalta ja hakea sitä kautta jäykkyyttä rakenteeseen. Yleisin titaanin kaupallinen laatu on Ti-6Al-4V. Taulukossa 3 on Ti-6Al-4V fysikaaliset ominaisuudet. Ti-6Al-4V osuus titaanituotannosta on 45 %. Seostamattoman titaanin vastaava osuus on noin 30 % ja muiden seosten osuus jäljellejäävät noin 25 %.

Taulukko 2. Titaanin fysikaaliset ominaisuudet. [12]

Tiheys [kg/m ³]	Sulamispiste [°C]	Lämpölaajenemiskerroin [1/°C]	Lämmönjohtavuus [W/(m x K)]	Sähkönjohtavuus [1/(Ohm x m)]	Kimmomoduuli [Mpa]
4500	1670	8,4 X 10 ⁻⁶	17	1,8 x 10 ⁶	110 000

Taulukko 3. Ti-6Al-4V Fysikaaliset ominaisuudet. Pitoisuudet massaprosentteja. [8, s. 9-3.]

Vetomurtolujuus(min) Mpa	Myötölujuus 0,2-raja (Mpa)	N	C	H	Fe	O	Al	V
	900	830	0,1	0,1	0,0125	0,3	0,2	6 4

3.2 Standardit ja laadut

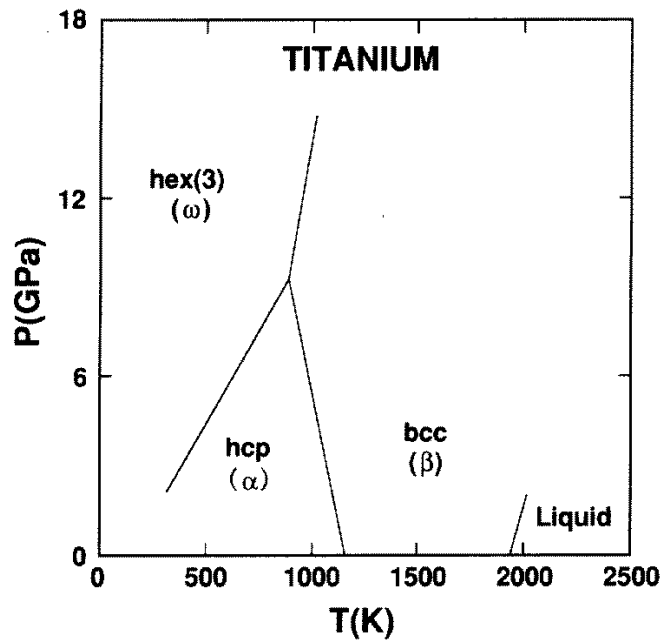
Eri mailla on omat titaanin luokitusstandardinsa. Kansainvälisesti käytetyin standardi on ASTM-luokitus, taulukko 4. Siinä titaani on luokiteltu siten, että pienin numero vastaa puhtainta laatua ja luvun suuretsa seosaineet lisäänty ja lujuus kasvaa.

Taulukko 4. ASTM -standardin mukaiset titaanilaadut [5].

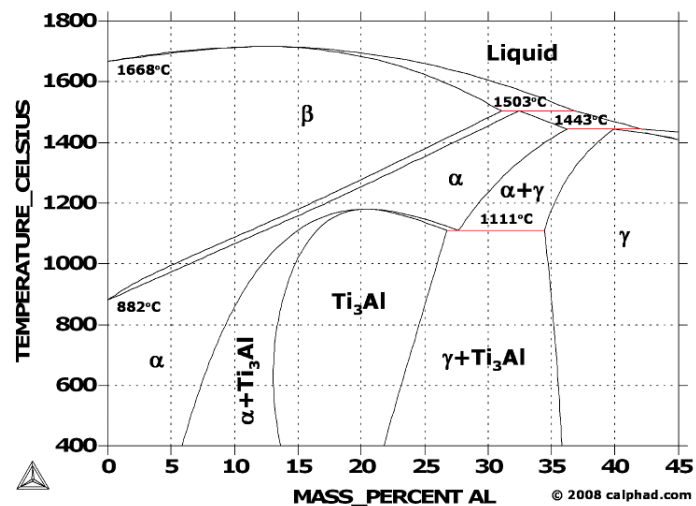
Titaani	Vetomurtolujuus (min) [MPa]	Myötölujuus $R_{p0,2}$ [Mpa]	Epäpuhtauspitoisuudet (paino-%)				Seosaineet (paino-%)	
			C max	H max	Fe max	O max		
Seostamattomat titaanit								
Ti1	240	170	0,10	0,015	0,20	0,18		
Ti2	340	280	0,10	0,015	0,30	0,25		
Ti3	450	380	0,10	0,015	0,30	0,35		
Ti4	550	480	0,10	0,015	0,50	0,40		
Ti7	340	280	0,10	0,015	0,30	0,25	Pd 0,2	
α -seos Ti12	480	380	0,10	0,015	0,30	0,25	Mo 0,3	Ni 0,8
$\alpha+\beta$ -seos Ti5	900	830	0,10	0,0125	0,30	0,20	Al 6,0	V 4,0

Taulukossa 4 on laadut ilmaistu Ti1-5, Ti12 ja Ti7. Samoista käytetään myös nimityksiä Grade1-5, Grade12 ja Grade7.

Titaanilla on kaksi allotrooppista kidemuotoa, (α -faasi) ja (β -faasi). Kiderakennetta voidaan säädellä erilaisilla seosaineilla, kuten alumiinilla ja hapella, jotka stabiloivat (α -faasi)-kiderakennetta. Myös lämpökäsittelyllä voidaan muokata kiderakennetta. Titaanin faasidiagrammi on kuvassa 4. Alumii-niseosteisen titaanin faasidiagrammi näkyy kuvassa 5.



Kuva 4. Titaanin faasidiagrammi paineen funktiona lämpötilaan nähden [13].

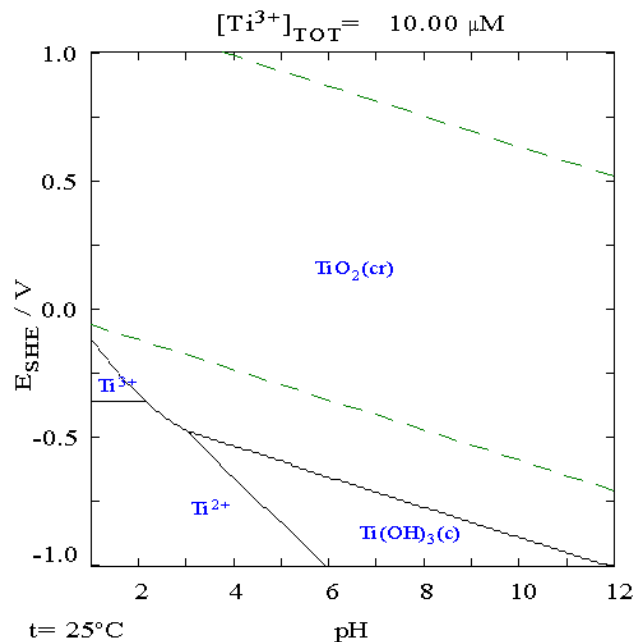


Kuva 5. TiAl faasidiagrammi, jossa faasit on ilmastu lämpötilan funktiona alumiinin massaprosenttiin nähden [13].

Taulukossa 4 näkyvät α -seos sekä $\alpha+\beta$ -seos, joka on kahden eri faasin seos. Myös β -seoksia on olemassa. Sitä stabiloivia aineita ovat vanadiini, molybdeeni, kromi, mangaani ja rauta. [4, s.11.]

3.3 Reaktiivisuus

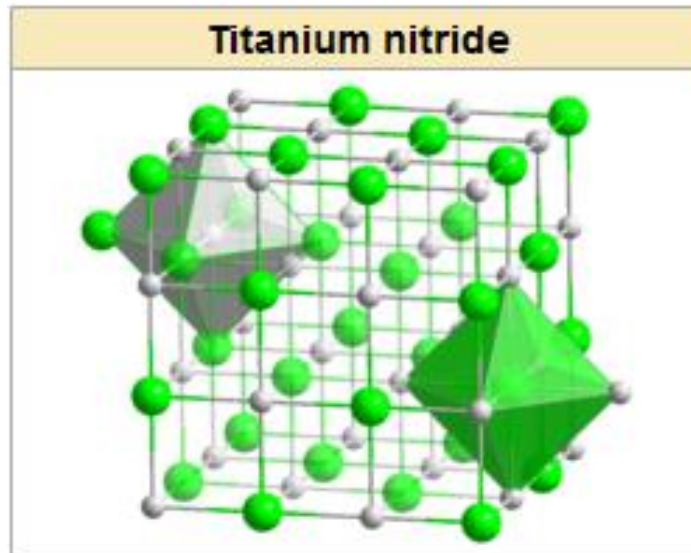
Titaani on varsin herkästi reagoivaa hapen, typen ja vedyn kanssa. Se muodostaa titaanioksidia hapen kanssa huonelämpötilassa. Tähän perustuu hyvä korroosiokestävyys. Pourbaixin diagrammi, kuva 6, kuvaa aineen eri ioni- en reagoimispotentiaalia muiden aineiden kanssa. Kuten kuvassa 6 näkyy, huoneenlämpötilassa titaani on pinnastaan oksidoitunutta TiO_2 :a. Titaani palaa välittömästi muodostaen oksidikalvon pinnalleen. Huoneolosuhteissa voi nähdä leimahduksen, esimerkiksi jos titaaninen osa sattuu murtumaan. Tämä ei kuitenkaan riitä sytyttämään koko kappaletta, mutta asettaa vaatimuksia titaanin työstölle, kuten lastuamiselle ja hitsaamiselle.



Kuva 6. Pourbaixin diagrammi. Titaanin potentiaali/pH diagrammi [14].

Pourbaixin diagrammissa kuvataan potentiaalia volteissa reagoida muihin aineisiin Ph-lukuun verrattuna [6]. Kuvassa on viivoin rajattu titaani-ionien pysyvyysalueet. SHE (standard hydrogen electrode).

Typen kanssa titaani muodostaa titaaninitridiä, joka on erittäin kovaa keraamista materiaalia. Titaaninitridin kiderakenne on kuvassa 7. Sitä käytetään teollisuudessa esimerkiksi työstöterien päällysteenä. Titaanin reagointi typen kanssa hitsattaessa tekee aineesta vaikean hitsattavan. Hitsauksessa käytettävä suojakaasu ei saa sisältää typpeä.



Kuva 7. Titaaninitridin kiderakenne.

Vety sen sijaan tekee titaanista lasimaisen haurasta kerääntyen titaanikiteiden raerajoille.

Tässä työssä keskitytäänkin kaasumaisten epäpuhtauksien ehkäisemiseen titaanin hitsauksessa. Vääränlaiset hitsausmenetelmät ja olosuhteet voivat vaikuttaa merkittävästi titaanista tehtyjen komponenttien käytettävyyteen.

3.4 Hitsattavuus

3.4.1 Yleistä

Seostamaton titaani ja kaikki α -titaanit ovat hitsattavia. Myös α - β -seos Ti-6Al-4V ja muut lievästi β -stabilisoituneet seokset on hitsattavia. Vahvasti β -stabiilit, α - β -seosteiset titaanit ovat hauraita hitsattaessa. Suurin osa β -seoksista ovat hitsattavia, mutta ne tulee päästää lopuksi [9].

Hitsauksella on kaikista työstömenetelmistä suurin riski vaikuttaa titaanin ominaisuuksiin. Kaikentyyppisissä titaanihitsauksissa tulee hallita kaasumaisten epäpuhtauksien pitoisuudet hitsissä. Lämmitettäessä titaania normaali-ilmatilassa, se alkaa muodostaa karbideja, nitridejä ja oksideja, jotka tekevät titaanista kovaa ja haurasta. Lisäksi vety tunkeutuu titaanin raerajoille asti yli 500 °C:ssa, tehden siitä lasimaisen haurasta [7]. Pääasiassa hitsaus tekee titaanista lujaa ja haurasta. Titaanin taipuvuus ja kestävyysominaisuudet heikkenevät. Pienten osien hitsaus tulisi suorittaa eristetyssä kammissa. [8, s. 9-7.]

3.4.2 Ennen hitsausta

Titaaniset hitsattavat pinnat tulee puhdistaa hyvin öljystä, pölystä ja liasta. Puhdistukseen sopii hyvin vahva emäs, kuten natriumhydroksidi (NaOH), jolla pyyhkii hitsattavat pinnat. Viimeiset orgaaniset yhdisteet titaanin pinnalta saa pois metyylialkoholilla, asetonilla tai jollain muulla kloorittomalla liuottimella. Teräsharjan käyttö oksidikalvon poistamiseen on suositeltavaa. Liuottimien täytyy antaa haihtua pois pinnalta ennen hitsauksen aloittamista. Kumiset hanskat eivät ole parhaat, koska niistä saattaa irrota klooria. Muovi-hanskojen käyttöä suositellaan [7].

3.4.3 Suojakaasun tuonti

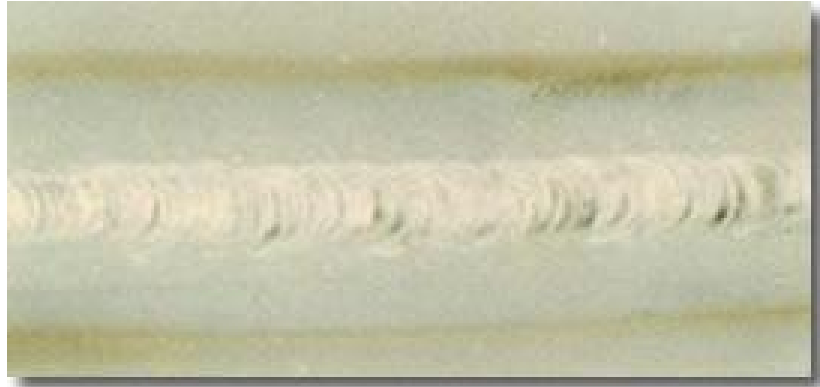
Kaupallisista laaduista Suomessa, sopivin on AGA:n tai Woikosken myymä argon 5,0 tai argon 4,8. Kaasut ovat käytännössä samoja, mutta 5,0 on korkeellisesti todennettu. Molemmat laadut edellä mainituista tehdään samalla systeemillä, mutta argon 4,8 ei ole testattu, jolloin sitä ei voi myydä 5,0:na. Suojakaasua käytetään suojaamaan materiaalia ilmakehän kaasuilta. Kuumma titaani hapettuu reagoidessaan hapen kanssa. Happi, typpi ja vety seostuvat titaaniin tarpeeksi korkeassa lämpötilassa. Tämän vuoksi on löydettävä oikeanlainen inertti suojakaasu suojaamaan hitsausprosessia kaasuepäpuhtauksilta. Argonin pitää olla 99,999% puhdasta. 99,995% puhdas argon saattaa näkyä kellertävinä raitoina hitsissä. Kaikki muut värit kuin kirkas ja väritön hitsissä, kertovat kaasumaisista epäpuhtauksista. Hyvän hitsilaadun varmistamiseksi titaania hitsatessa tulee varmistua, että kammio on täynnä argonia ennen hitsauksen aloittamista ja polttimen läpi tulee puhdasta argonia. Hitsattaessa paksumpaa työkappaletta heliumin käyttö voi tulla kysymykseen, paremman tunkeuman saavuttamiseksi.

3.4.4 Titaanin hitsaus

Titaani ei ole kovin lämmönjohtavaa materiaalia, mutta hitsaus on kumminakin tehtävä hitaasti, ettei kappale lämpiäisi yli sallittujen rajojen. Titaanikapaleen on annettava jäähtyä alle 280 °C:n ennen, kuin sitä voi altistaa ilmalle.

3.4.5 Hitsin analysointi värianalyysillä

Titaanihitsin laadun tarkkailuna voidaan pitää hitsin silmämääräistä värianalyysiä. Puhdas, hyvälaatuinen titaanihitsisauma on kirkkaan heijastavan elohopean värinen, kuten kuvassa 8. Saastunut ja huonolaatuinen sauma on puolestaan sinertävä. Hitseille on olemassa standardin mukainen väriluokitus, ANSI/AWS D10.6-85. [3, 2/2]



Kuva 8. Titaanihitsi. Kuvassa näkyvät myös kaasuepäpuhtauksista johtuvat kellertävät raidat [7].

3.4.6 Titaanin päästö

Suurin osa hitsatuista titaaneista päästetään mahdollisten jännitysten aiheuttamien halkeamien ehkäisemiseksi. Päästäminen parantaa myös väsymiskestävyyttä. Päästöön liittyviä arvoja eri seoksille esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Titaanin päästöarvoja [15].

Alloy	Solution temperature [°C]	Solution time [h]	Cooling rate	Aging temperature [°C]	Aging time [h]
α or near-α alloys					
Ti-8Al-1Mo-1V	980-1010	1	Oil or water	565-595	
Ti-2.5Cu (IMI 230)	795-815	0,5-1	Air or water	390-410	8-24 (step 1)
				465-485	8 (step2)
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	955-980	1	Air	595	8
Ti-6Al-5Zr-0.5Mo-0.2Si (IMI 685)	1040-1060	0,5-1	Oil	540-560	24
Ti-5.5Al-3.5Sn-3Zr-1Nb-0.3Mo-0.3Si (IMI 829)	1040-1060	0,5-1	Air or oil	615-635	2
Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-0.7Nb-0.5Mo-0.3Si (IMI 834)	1020	2	Oil	625	2
α-β alloys					
Ti-6Al-4V	955-970	1	Water	480-595	4-8
	955-970	1	Water	705-760	2-4
Ti-6Al-6V-2Sn (Cu+Fe)	885-910	1	Water	480-595	4-8
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	845-890	1	Air	580-605	4-8
Ti-4Al-4Mo-2Sn-0.5Si (IMI 550)	890-910	0.5-1	Air	490-510	24
Ti-4Al-4Mo-4Sn-0.5Si (IMI 551)	890-910	0.5-1	Air	490-510	24
Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr	845-870	1	Air	580-605	4-8
Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si	870-925	1	Water	480-595	4-8
β or near-β alloys					
Ti-13V-11Cr-3Al	775-800	1/4-1	Air or water	425-480	4-100
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn (Beta III)	690-790	1/8-1	Air or water	480-595	8-32
Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr (Beta C)	815-925	1	Water	455-540	8-24
Ti-10V-2Fe-3Al	760-780	1	Water	495-525	8
Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn	790-815	1/4	Air	510-595	8-24

4 KAMMION SUUNNITTELU

4.1 Suunnittelun lähtökohdat

Kammion koon määrää paljolti se, minkä kokoisia kappaleita sen sisällä on tarkoitus valmistaa. Formulan pakoputkiston mahtuu hyvin hitsaamaan tässä työssä valituilla kammion pohjajamitoilla 700x1300.

Tarkoitus on, että kammiossa on jatkuva argonhuuhtelu käynnissä koko työskentelyn ajan, eikä kammion sisällä ollenkaan laatuun vaikuttavia haitallisia kaasuja. Suojakaasun on oltava titaanin hitsauksessa reagoimaton kaasu, joka ympäröi hitsausprosessia täydellisesti. Argon on sopii hyvin tähän tarkoitukseen ja sitä käytetään TIG-hitsauksessa.

Kammiolla pyritään saamaan tilaa työn tekoon, karsimalla laitteita pois edestä sekä saamaan paremmin suojakaasu suojaamaan hitsiä ja sen jäähtymistä. Ilmaa raskaampana kaasuna argonilla on tapa valua pois, kuten vesi, hitsattavalta pinnalta. Kun on tarkoitus hitsata pieniä putkia, on erityisen vaikeaa saada argon pysymään valumasta oikealla paikalla. Paras keino on upottaa koko hitsausprosessi argoniin.

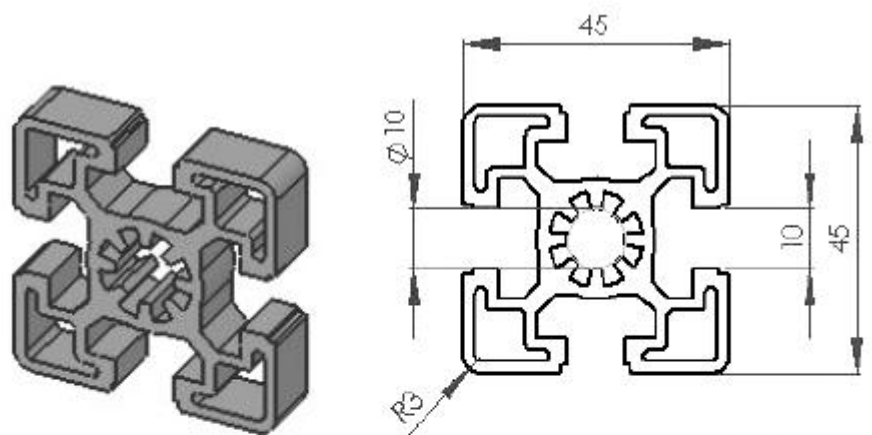
Työskentely kammion sisällä on mahdollista kammioon asennettujen ilmatii- viiden hanskojen kanssa. Työtasolla voi olla tarpeellisia kappaleen kiinnipitiä, niin paljon, kun sisään kammioon mahtuu.

Tehdään alarunko, jonka päälle kiinnitetään työtaso. Työtason päälle tehdään kupu, jonka saa käännettyä kätevästi sivuun, jolloin kuvun sisään pääsee työskentelemään hyvin. Kuvun sisään on nähtävä vaivattomasti ja työskentelyasennon tulee olla siedettävä, niin etteivät paikat liikaa väsy hitsattaessa.

Kammioon tulee saada TIG-hitsausletku sekä suojakaasu sisään ja ulos avaamatta kupua. Koko systeemin tulee olla tiivis paketti hitsauslaitteineen ja suojakaasupulloineen, jotta se olisi helposti liikuteltavissa.

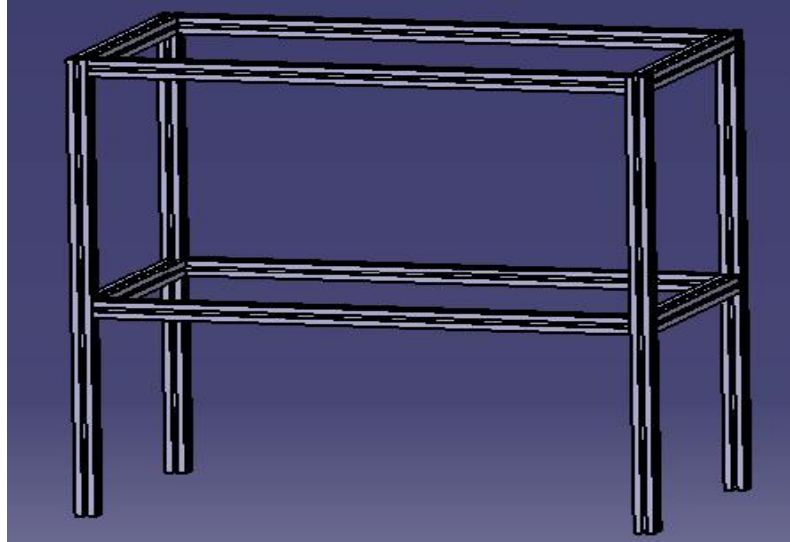
4.2 Materiaalin valinta

Rakenteen tuli olla jäykkä ja kevyt, jolloin materiaalivalinta oli alumiiniprofiili, kaikilta niiltä osin, mihin se vain sopi. Alumiiniprofiili, josta kaapin alarunko koottiin, on 45mm x 45mm profiilia, johon päädyttiin sen helppokäyttöisyyden ja helpon saatavuuden takia. Valittua alumiiniprofiilia on helppo kiinnitellä toisiinsa niin sanottujen kulmakiinnikkeiden avulla, joita sai alumiiniprofiilin toimittajalta. Kuvassa 9 on tietoa profiilin ominaisuuksista. Alarunkoon meni profiilia 8,8m. Kuvassa 10 näkyy 3-D mallinnus alarungosta.



Artikelnummer		BSB 2513
Profil		45 x 45
Nut		10 mm
Masse		1,9 Kg/m
Trägheitsmoment	Ix cm⁴	17,7
	Iy cm⁴	17,7
Widerstandsmoment	Wx cm³	6,9
	Wy cm³	6,9
Profilfläche	A cm²	9,2

Kuva 9. Alumiiniprofiilin tekniset ominaisuudet.



Kuva 10. Kammion alumiiniprofiilinen alarunko.

Alarungon päälle leikattiin 4 mm paksu teräslevy työtasoksi, joka kiinnitettiin alarungon päälle uppokanta ruuvein. Työtasolle liimattiin reunoihin tiivistepinnat, joita vasten saatiin kiinnitettyä kupu tiiviisti.

Kuvulle hitsattiin alumiinisesta L-profiilista kehikko, johon liimattiin ja niitattiin seinämät. Kuvun seinämämateriaaliksi tilattiin 1,5 mm paksuista anodisoitua alumiinilevyä. Seinämämateriaalin tuli olla mahdollisimman vähän heijastavaa, ettei valokaaren heijastus häiritsisi hitsausta. Anodisoidussa levyssä on päällä himmentävä oksidikalvo, joka on myös erittäin hyvä korroosiosuoja. Kuvun etuosaan liimattiin 4 mm paksuista akryylilevyä, jonka läpi näkee hyvin. Etuosaan asennettiin tiiviisti hitsauskäsineet.

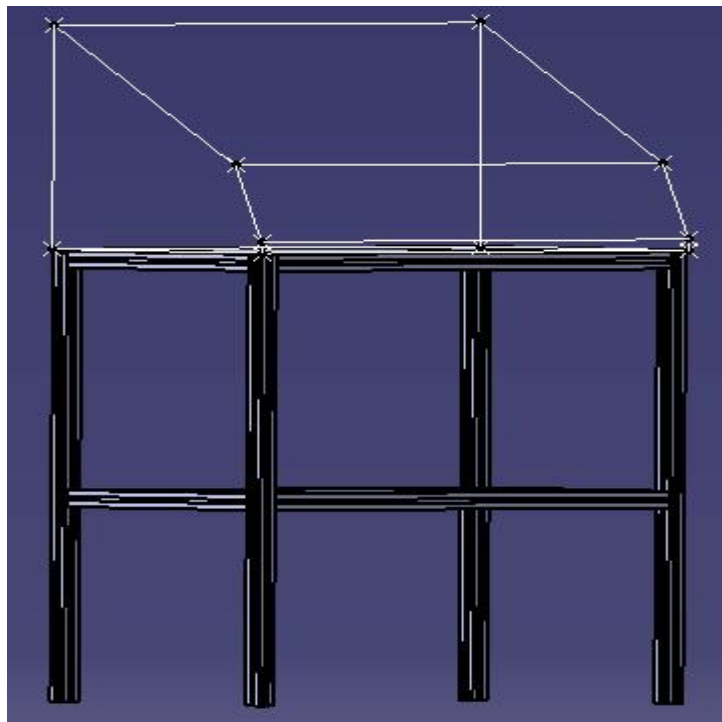
4.3 Koon määrittely

Kammiossa on tarkoitus hitsata Metropolian formulatiimille pakoputkistoja, jotka ovat 0,5 m x 0,5 m kokoluokkaa olevia osia. Lisäksi, mitä isompi kammion tilavuus on, sitä enemmän kuluu argonia. Kammiolle päätettiin tehdä 1300mm x 700mm pohjamitoilla kehikko. Työtason korkeus on 1200 mm. Kammion tilavuus on 400 litraa.

4.4 Ergonomia

Ergonomia on erittäin tärkeä osa suunnittelua kahdestakin syystä. Hyvän hitsin aikaansaamiseksi, hitsaajan on saatava tukeva asento tehdä töitä. Kammio on yritetty suunnitella siten, että hitsaaja voi hitsata kyynärpäihinsä nojaten ja saada näin tukevamman asennon ja vakaammat kädet työnte-koon. Seisomakorkeutta voi säädellä asettamalla sopivan korokkeen itsel-leen jalkojensa alle. Hitsauskammion etureunaa on taivutettu eteenpäin, jot-ta hitsaajan olisi mahdollista nojata eteenpäin päästäkseen paremmin kam-mion ylle näkemään työskentelyä sekä saamaan hyvän asennon. Kammioon kiinnitettyjen hitsauskansikkaiden on tarkoitus yltää jokaiseen kaapin kul-maan, jotta tilaa olisi mahdollista käyttää hyväksi.

Lisäksi ergonomian on oltava sellainen, että kammiolla jaksaa työskennellä yhtäjaksoisesti selän ja niskan liikaa väsymättä. Kuvassa 11 on kammion kuvun rautalankamalli.



Kuva 11. Kammion kupu, lankamalli.

4.5 Kammion argontäyttö

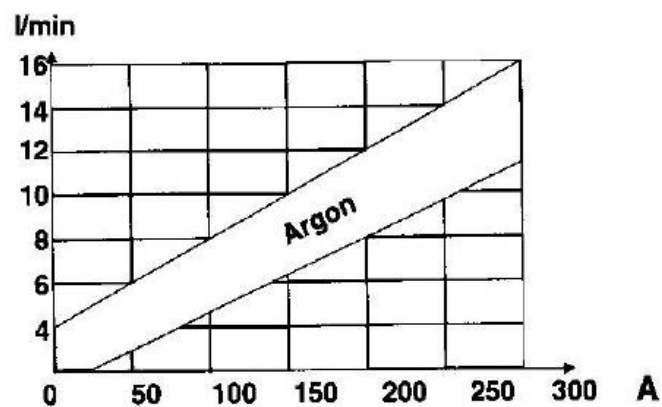
Ilmaa raskaampana kaasuna, argon asettuu kammiossa omaan faasiinsa kammion alaosaan, kuin täyttäisi vedellä kammiota. Tästä syystä suojakaasun tuonti on järkevää sijoittaa kammion alaosaan, josta argonia lasketaan hiljalleen sisään. Argonsuuttimet näkyvät kuvassa 12, työtason kulmissa. Ilma pääsee pois kammion yläosaan sijoitetuista huuhtelurei'istä. Kammio tulee huuhdella hyvin ilmasta puhtaaksi suojakaasulla.



Kuva 12. Hitsauskammion argonsuuttimet näkyvät työtason takakulmissa.

Hitsattaessa on kaasua pidettävä virtaamassa koko ajan. Kaasunvirtaus on hyvä pitää kuvan 13 mukaisena.

Suojakaasun virtausmäärä



Kuva 13. Suojakaasun virtaus hitsausvirtaan nähden [12].

5 KAMMION KÄYTTÖ

5.1 Valmistelut

Työ on hyvä suunnitella alusta loppuun asti, ennen kuin sulkee kuvun ja alkaa täyttää kammiota argonilla. On mietittävä, mitä hitsaa ja minkä hitsikoneen haluaa kiinnittää kammioon. Suojakaasupullot on oltava valmiina ja kaikki sisään menevät letkut sekä tarvikkeet kammion sisällä. Kammiota ei kannata avalla turhan takia, argonin säästämiseksi.

5.2 Kuvun salpaaminen ja täyttö

Kuvun tiivistepinnat kannattaa tarkistaa ja puhdistaa ennen jokaista täyttöä. Kaikki neljä kiinnityssalpaa, jotka näkyvät kuvassa 14 kammion etuosassa, tulee vetää kiinni ja varmistaa vielä kuvun tiiviys silmämääräisesti kiertämällä kammion ympäri.



Kuva 14. Kammio etupuolelta. Sivussa näkyy argonpullo.

Kaasupullo avataan ja virtaus säädetään halutulle suuruudelle, jolla kammio täyttyy. Kammion tilavuus on 400 litraa, ja se täyttyy virtauksella 10l/min 40 minuuttia. Hitsauskoneen läpi kulkeva kaasu tulee olla argon 5.0, ja sitä kannattaa päästää koneen läpi ennen hitsausta sen verran, että letkut täyttyvät argonista.

5.3 Kappaleen valmistelu

Kammion sisällä on hyvä pitää jotain puhdistavaa kemikaalia, kuten natriumhydroksidia sekä teräsharjaa. Kappaleet kannattaa puhdistaa ja harjata hyvin ennen hitsauksen aloittamista. Sisälle kammioon voi viedä etukäteen kiinnittimiä, joilla saa kappaleen kiinnitettyä hyvin hitsauksen onnistumiseksi.

5.4 Hitsaaminen

Titaanin hitsauksessa kannattaa käyttää tasavirtaa ja elektrodia pitää miinusnapana. Erittäin ohuita materiaaleja hitsatessa kannattaa kokeilla kääntää napaisuus toisinpäin. Hitsiä tulee seurata siten, että se pysyy kirkkana, eikä rupea sinertämään liikaa. Tarpeen vaatiessa kannattaa kokeilla muuttaa hitsausparametreja ja saada sitä kautta jälkeä paremmaksi.

Putkistoja hitsatessa tulee varmistua, ettei putken sisään juuren puolelle jäisi ilmalukkoja, jotka saattaisivat heikentää hitsiä ja sen laatua.

5.5 Hitsauksen lopettaminen

Titaanihitsin tulee antaa jäähtyä alle 300 °C:seen ennen kuvun avaamista. Käytännössä tulee odotella rauhassa ja käydä vaikka kahvilla, ennen kuin avaa kuvun.

Kammioista purkautuva argon ei ole myrkyllistä, mutta ei kannata yrittää vedellä sitä henkeen, koska se saattaa olla tukehduttavaa.

6 TESTAUS JA HAVAINTOJA

Hitsauskammiota testattiin koulussa Groniuksen TIG-hitsauskoneella. Projekti-insinöörin kaapeista löytyi joitain titaanikappaleita, joilla päästiin kokeilemaan hitsausta. Hitsausparametreja muuttamalla täyty hakea oikeat arvot mahdollisimman hyvän hitsin saamiseksi. Koekappaleita hitsatessa päästiin tyydyttävään jälkeen, joka oli puhdas ja kirkas sauma, mutta perusaineen puolelle jäi vielä sinertäviä värejä.

Huuhtelemalla kammiota paremmin argonilla ja tarkemmalla testaamisella ja hitsausarvojen hakemisella pääsee todennäköisesti hyvään tulokseen titaania hitsatessa. Tämän opinnäytetyön puitteissa loppui aika pidemmälle tutkimukselle.

Vertauskappaleeksi saatiin Akrapovicin titaaninen moottoripyörän pakoputki. Akrapovic on tämän hetken arvostetuimpia pakoputkivalmistajia, jotka käyttävät titaania materiaalina valmistamissaan pakoputkistoissa. Akrapovicin pakoputkia ei kuitenkaan luultavasti hitsata kammiossa, mutta yhtiö ei kerro valmistusmenetelmistään. Kuvassa 15 näkyy Akrapovicin hitsiä.



Kuva 15. Akrapovicin titaanihitsiä.

Metropolia Ammattikorkeakoulun formulatiimillä, jolta alun perin tuli tarve titaanihitsausmenetelmälle, on aikomuksena hitsata titaanista pakoputkistoja. Pakoputkisto lämpenee kuummimmillaan noin 1000 °C:seen ajossa, jolloin koko putkisto tulee sinertävän purppuran väriseksi, riippumatta siitä

kuinka hyvät hitsausmenetelmät ovat olleet. Kuvassa 16 näkyy motocrosspyörässä oleva titaaninen putki. Kannattaa kiinnittää huomiota putken väriin.



Kuva 16. Motocrosspyörän titaaninen pakoputki. Sinertävä ja purppurainen väri syntyy, kun putki kuumenee ja titaani reagoi ilman kaasujen kanssa.

7 KEHITYSALUEITA MENETELMÄLLE

Kukaan ei ole seppä syntyessään, ei myöskään hitsauskammio. Muutama asia, jotka tulevat mieleen, on syytä kertoa kammion kehittämiseksi tulevaisuudessa.

7.1 Kammion tilavuus

Mitä ikinä hitsaakin, kammion koon olisi edullista olla sopiva, kaasun säästämiseksi. 400 litraa vetoisuudeltaan oleva kammio vie 50 litran kaasupullon melko nopeasti. Kuvun ei tarvitse olla niin korkea, kuin se tässä opinnäyte työssä on. Varsinkin hitsatessa, tekee mieli päästä kappaleen ylle hyvän näkyvyyden takia ja sen vuoksi hieman matalamman tai ylipäätään huolellisemmin suunnitellun kuvun valmistus tulisi kysymykseen.

7.2 Kaasutäyttö

Kaasutäytön suunnittelu tehtiin hyvin vahvasti oletusten perustella, jotka olivat, että argon asettuisi alas ja ilma ylös kammiossa. Testatessa kammiota jäi kuitenkin epäilyksi asiasta ja jäi kiinnostamaan kuinka asia oikeasti on.

Tulisi tutkia, miten argon asettuu eristetyssä tilassa ilman kanssa ja kuinka kauan asettuminen faaseihin kestää. Lisäksi argonin tulosuuttimien asemaa ja suuntausta tulisi miettiä paremmin, siten että ne eivät aiheuttaisi runsaasti pyörteitä ja sekoittaisi kaasuja, paremman hyötysuhteen saamiseksi täytössä.

VIITELUETTELO

- [1] ASM Handbook Volume 6 Welding, Brazing, and Soldering. 1995. 1021 s.
- [2] Kyröläinen Lukkari: Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. 1999. 514s.
- [3] VTT tutkimuksia 600. Kaasusuojauksen ja railon esikäsittelyn vaikutus titaanin hitsausliitoksen ominaisuuksiin. 1989. 46s.
- [4] Väisänen Tapio. Titaanin koneistaminen. 2000. 27s.
- [5] Heikinheimo L, Titaaninhitsauksen tuottavuus ja laatu. 1991. 39s.
- [6] Ignasi Puigdomenech, *Hydra/Medusa Chemical Equilibrium Database and Plotting Software* (2004) KTH Royal Institute of Technology
- [7] thefabricator.com. Verkkodokumentti.
<http://www.thefabricator.com/article/arcwelding/titanium-you-can-weld-it>.
Päivitetty 6.4.2004. Luettu 24.11.2010.
- [8] Metals Handbook Desk Edition. 1995.
- [9] Webster T. Welding of Titanium Alloys. Juha Kotamiehen arkistot.
- [10] ISO 6848:2004
- [11] AWS A5.12:2007
- [12] Juha Kotamies. Opintomoniste.
- [13] Verkkodokumentti. <http://www.calphad.com/titanium-aluminum.html>.
20.11.2010
- [14] Verkkodokumentti. <http://en.wikipedia.org/wiki/Titanium>. 20.11.2010
- [15] Verkkodokumentti. <http://www.keytometals.com/Article97.htm>. 20.11.2010

