

HITSAUSLISÄAINEEN JA KAASUJEN VAIKUTUKSET RAILON TUNKEUMAAN



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Riihimäki, syksy 2020

Jesse Toropainen

Tekijä	Jesse Toropainen	Vuosi 2020
Työn nimi	Hitsauslisäaineen ja kaasujen vaikutukset railon tunkeumaan	
Ohjaajat	Tapio Väisänen, Hämeen ammattikorkeakoulu HAMK & Olli Heinikainen, Makron Works Oy	

TIIVISTELMÄ

Erilaiset hitsausliitokset ovat tärkeä osa jokapäivästä arkeamme, vaikkakaan emme niihin kiinnitäkään yleisesti huomiota. Esimerkkejä löytyy enemmän kuin jaksaisi luetella aina autoista elintarviketeollisuuden tuotantokoneisiin. Aihe on laajempi kuin pintapuolisesti voidaan kuvitella ja siitä onkin jo tehty lukuisia kirjoja ja tutkimuksia. Tämä opinnäytetyö puolestaan pyrkii selvittämään koetukseen valittujen hitsauksen lisäaineiden vaikutuksia rakenneteräksen hitsausliitoksissa muutamilla yleisimmillä ainetta rikkomattomilla ja rikkovilla koetustavoilla.

Hitsauslisäaineen kelpoisuuden selville saamiseksi raskas konepajateollisuuden tarpeisiin vaaditaan siltä hyvää iskusitkeyttä sekä käyttötarkoituksen mukaista kovuutta.

Perusajatuksena koko työlle on tuotantoprosessin tehostaminen uuden hitsausohjeen muodossa joka myös vähentäisi hitsausroiskeiden määrää sekä haitallisia savuja ja huujuja.

Vaikkakin työstä saadut tulokset eivät käytetyillä parametreillä saavuttaneet toimeksiantaja Makron Works Oy: n toivomaa pohjaa uudelle hitsausohjeelle, saadaan tästä opinnäytetyöstä kuitenkin käsitys eri lisäaineiden vaikutuksista hitsissä ja sen ympäröivässä perusaineessa.

Avainsanat Hitsaus, menetelmäkoe, lisäaine, suojakaasu.

Sivut 47 sivua ja liitteitä 1 sivua

Author	Jesse Toropainen	Year 2020
Subject	Effects of welding filler materials and shield gasses on rail penetration	
Supervisors	Tapio Väisänen, Häme University of Applied Sciences & Olli Heinikainen, Makron Works Oy	

ABSTRACT

Various welding joints are an important part of our daily life, although we do not pay general attention to them. There are more examples of these than it could be listed, from cars to food production machines. The subject is wider than it can be imagined, and here have been numerous books and a lot of research made on this topic. This thesis seeks to find out the effects of welding filler materials for selected testing on structural steel welding joints using some of the most common non-destructive and destructive testing methods.

In order to find out the suitability of a welding consumable for the needs of the heavy engineering industry, it is required to have good impact toughness as well as hardness according to the intended use. The basic idea behind the thesis project was streamlining the production process by drafting a new welding guideline, which would also reduce both the amount of welding spatter and harmful fumes and steams.

Although the results obtained in this project did not use the parameters used by the commissioner Makron Works Oy for the new welding instructions, this thesis provides an understanding of the effects of various additives in the weld and its surrounding base material.

Keywords Welding, test method, filler material, shield gas

Pages 47 pages and appendices 1 pages

Sisälllys

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta.....	1
1.1	Tavoitteet.....	1
1.2	Tutkimuksen menetelmät.....	2
2	Hitsaus	2
2.1	Hitsauksen määritelmä	2
2.2	Valokaari	3
2.3	Jäähtymisnopeus ja lämmöntuonti.....	3
2.4	Sulahitsausliitos.....	5
2.5	Materiaalin hitsattavuus	7
2.6	Hiiliekivalentti.....	7
3	Kaarihitsaus	8
3.1	MIG/MAG-hitsaus	8
3.2	Täytelankahitsaus	9
3.3	Jauhekaarhitsaus.....	11
3.4	Puikkohitsaus	12
4	Hitsauksen suojakaasut	14
4.1	Suojakaasun vaikutukset.....	14
4.2	Suojakaasun vaikutukset MIG/MAG-hitsauksessa	15
4.3	Mison suojakaasu.....	16
5	WPS-hitsausohje.....	17
5.1	Käyttötarkoitus.....	17
5.2	Hitsausten tarkastus	18
5.3	WPS-hitsausohjeen laadinta ja hyväksyntä	19
6	Hitsausliitosten rikkomaton aineenkoetus.....	21
6.1	Ainetta rikkomaton NDT-tarkastusmenetelmä	21
6.2	Silmämääräinen tarkastus.....	23
6.3	Radiograafinen kuvaus.....	24
6.4	Ultraäänitarkastus.....	25
6.5	Magneettijauhetarkastus.....	26
6.6	Tunkeumanestetarkastus.....	27
7	Menetelmäkokeet	28
7.1	Koekappale.....	28

7.2	Charpyn iskukoe	29
7.3	Vickersin kovuuskoe	31
8	Työn suorittaminen	32
8.1	Hitsausnäytteet	32
8.2	Koesauvojen valmistus Charpyn iskukokeeseen	33
8.3	Iskukokeen tulokset	34
8.4	Näytteiden valmistaminen makrohietutkimukseen	35
8.5	Makrohietutkimus	36
8.6	Näytteiden vertailu	39
8.7	Kovuuden mittaus hitsiaineesta ja muutosvuohyikkeeltä	39
8.8	Austeniitin hajaantuminen hitsausliitoksessa	43
9	Johtopäätökset	44
9.1	Yhteenveto	44
9.2	Jatkotutkimus	45
	Lähteet	46

Liitteet

Liite 1 Vickersin kovuudet

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Makron Works Oy. Opinnäytetyn aiheen valinta juontaa juurensa raskaan konepajateollisuuden yleisistä tarpeista saada hitsauksen työprosesseista mahdollisimman sujuvia ja kilpailukykyisiä globaalisti ajatellen.

Tutkimuksen työmäärää on rajattu keskittymällä lähinnä ainoastaan rakenneterästen kaarihitsausmenetelmiin ja niiden koestuskäytäntöihin perehtymällä. Hitsausmenetelminä käsitellään ainoastaan käsinhitsausta. Mekanisoidut- ja robotisoiduthitsaukset niiden toimintaperiaatteineen on rajattu tämän työn ulkopuolelle.

Koestettavilla kappaleilla pyritään myös selvittämään optimaallisimpia lisäaineiden valintaa erilaisiin konepajateollisuuden tuotteisiin liittyen.

Tällä hetkellä käytössä oleva hitsauksen suojakaasu aiheuttaa ongelmia ja ylimääräistä työtä muun muassa roiskeiden poiston muodossa josta seuraa sitä myöden ylimääräisiä kustannuksia ja ajan kuluu.

1.1 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, onko mahdollista vaikuttaa hitsauksessa tapahtuvan tunkeumaan vaihtamalla hitsauksen suojakaasun seosta ja minkälaisia muutoksia tapahtuu hitsausauman laadussa, palossa ja lisäaineen tunkeumassa.

Tähän mennessä opinnäytetyötä eniten koskevassa asiakasyrityksen ohjeistuksessa on määritelty hitsausprosessissa käytettävät hitsauslisäaineet, suojakaasut ja hitsausmenetelmät tarkasti. Kuitenkin hitsaustyötä suorittavien Makronin konepajan työntekijöiden taholta on tehty havaintoja nykyisten käytännön ohjeiden ongelmallisuudesta ja josta on seurannut parannusehdotuksia hitsausprosessin mahdolliseksi helpottamiseksi.

Pääasiallisena tavoitteena onkin siis korvata hitsauksen lisäaineita vaihtamalla nykyisin käytössä oleva WPS -hitsausohje joka mahdollisesti tuloksesta riippuen voidaan esittää parannusehdotuksena esimerkiksi asiakasyrityksen nykyiselle hitsausohjeelle.

1.2 Tutkimuksen menetelmät

Saadakseen selville mahdolliset vaikutukset hitsauksen sauman tunkeumassa, täytyy laatia ensimmäisenä standardin ISO 15614-1 mukainen alustava hitsausohje pWPS, josta otetaan näytekappaleet tarkempia tutkimuksia varten.

Kuitenkaan opinnäytetyöntekijällä ei ole valtuuksia laatia virallista testauselostetta. Tavoitteena onkin ainoastaan tehdä alustava epävirallinen tutkimus joka ainoastaan antaa hyvän pohjakäsityksen lisäaineiden kelpoisuudesta vaadittaviin käyttösovelluksiin.

Mikäli voidaan havaita kokeista saadut tulokset tarkoituksen mukaisiksi, voidaan tilata ulkopuoliselta toimijalta varsinainen standardin mukainen virallinen testaus vastaaville näytteelle.

Tutkimus sisältää muutamia näytekappaleista otettavia kovuus- ja iskutkeys-kokeita jotka suoritetaan Hämeen ammattikorkeakoulu HAMK:n tiloissa olevilla testauslaitteilla Riihimäen kampuksella.

2 HITS AUS

2.1 Hitsauksen määritelmä

Hitsauksella tarkoitetaan kahden tai useamman kappaleen liittämistä yhteen lämmön ja/tai puristuksen avulla niin että ne muodostavat toisistaan jatkuvuuden. Hitsauksen ei välttämättä tarvitse olla vain pelkkää kappaleiden oman materiaalin yhteen sulattamista, vaan hitsausprosessissa voidaan käyttää myös lisäainetta yhteen sulautuvuuden apuna. Hitsausprosessin lämpötila tulisi olla lähelle samaa kuin perusaineen sulamislämpötila jolloin kappaleet sulautuvat yhteen mahdollisimman hyvin. (ESAB, n.d.-b).

Lämmön muodostuminen on tärkeä osa monessa eri hitsauksen prosesseissa jotta kappaleet saadaan sulautumaan yhteen. Tästä syntyvä hitsisula jähmettyessään liittää kappaleet yhteen toisiinsa. Yleisimpien hitsausmenetelmien lämmönlähde on valokaari, jonka takia tämänlaista hitsausprosessia kutsutaan kaarihitsaukseksi, johon tässä opinnäytetyössä pelkästään keskitytään. Hitsausprosessiin tarvittava sähköenergia muutetaan lämmöksi elektronina olevan lisäainelangan ja työkappaleen välissä palavan valokaaren avulla. (ESAB, n.d.-b).

2.2 Valokaari

Valokaari on hitsauksessa tarpeellinen sähkönpurkaus joka syntyy hitsauselektrodin ja hitsattavan kappaleen välille. Tällaista hitsausprosessia kutsutaan kaarihitsaukseksi. Valokaari saadaan syttymään kun elektrodin ja työskentelykappaleen välille muodostuu riittävän suuri jänniteimpulssi hitsauspistoolin liipaisinta painamalla maadoitettua kappaletta vasten tai kun esimerkiksi puikkohitsauksessa käytettävää lisäainepuikkoa raapaistaan kappaleen pintaan. Edellä mainittu on koko kaarihitsauksen perusta. Sen tarkoitus on sulattaa perusaine ja lisäaine kiinni toisiinsa. (KEMPPi, n.d.)

Kaarihitsauksessa sähköjännite purkautuu ja alkaa virrata ilmaraon läpi josta muodostuu valokaari. Valokaaren lämpötila voi olla korkeimmillaan n. 10 000 °C. (KEMPPi, n.d.)

Saadakseen valokaaren syntymään, täytyy hitsattavan kappaleen olla maadoitettu sähkövirran kulkemisen takaamiseksi energialähteeltä (hitsauskone) työskentelykappaleeseen. Tätä varten hitsauskoneissa on mukana tuleva maadoituskaapeli. (KEMPPi, n.d.)

Hitsin siistiyden ja pitävyyden takaamiseksi on pyrittävä saamaan aikaiseksi mahdollisimman tasainen valokaari. Tämän mahdollistamiseksi täytyy hitsauksessa käytettävät parametrit säätää oikeanlaisiksi materiaali ja sen paksuus huomioiden. (KEMPPi, n.d.)

2.3 Jäähdytysnopeus ja lämmöntuonti

Terästen hitsauksessa kriittinen lämpötila-alue mikrorakenteen muodostumisen kannalta on 500 - 800 °C, koska austeniittin hajoaminen tapahtuu lämpötilan laskiessa edellä

mainitun alueen läpi, mikäli jäähtymisnopeus ei ole niin suuri, että se estäisi diffuusion. Jäähtymisnopeus määrittää millä mekanismilla hajaantuminen tapahtuu, eli toisin sanoen mitä fraaseja teräksessä on austeniitin hajaantumisen jälkeen. Hitsausliitoksen ominaisuuksien kannalta liiallista martensiitin muodostumista tulee välttää jolloin jäähtymisnopeuden välillä 800 - 500°C ei tulisi olla liian suuri. Jäähtymisaikaa joka kulkee tämän lämpötila-alueen ohi kutsutaan $t_{8/5}$ -ajaksi. Lämpötila-aika -syklillä on siis huomattava vaikutus hitsin mekaanisiin ominaisuuksiin. Sykliin vaikuttavia tekijöitä ovat ainepaksuus, hitsityyppi, lämmöntuonti ja esikuumennuslämpötila. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 69)

Rakenneteräksen hitsiliitosten ominaisuuksia arvioidessa tulee ottaa huomioon että liian pieni $t_{8/5}$ aiheuttaa kovan ja hauraan liitoksen, kun taas liian suuri $t_{8/5}$ pilaa iskutkeyden. Syy ensimmäiseen selittyy martensiitin mikrorakenteella ja jälkimmäinen liiallisella raekoon kasvamisella. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 69)

Lämmöntuonti Q tarkoittaa hitsauksen aikana hitsiin tuotua lämpö määrää. Lämmöntuonnilla on suuri merkitys hitsin ominaisuuksia ajatellen. Suurella lämpö määrällä hitsi jäähtyy hitaamin vaikuttaen sen lopulliseen mikrorakenteeseen ja vedyn poistoon. Lämmöntuonti lasketaan sen omalla laskukaavalla (1). (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 70)

$$Q = k * \frac{I * U}{v * 1000} \text{ [kJ/mm]} \quad (1)$$

Kaavassa: k = terminen hyötysuhde,

I = hitsausvirta [A],

U = kaarijännite [V],

v = hitsausnopeus [mm/s].

Jäähtymisaajan $t_{8/5}$ kasvaessa on sillä heikentävä vaikutus iskutkeyteen, mikä ilmenee muutosvyöhykkeen iskuenergian laskuna ja transitiolämpötilan nousuna. Syynä tähän on lämpötilan nousu heti sularajan vieressä niin korkeaksi, että austeniitin perinnäinen raekoko pääsee kasvamaan suureksi. Tämä puolestaan aiheuttaa austeniitin hajaantuessa karkeaa

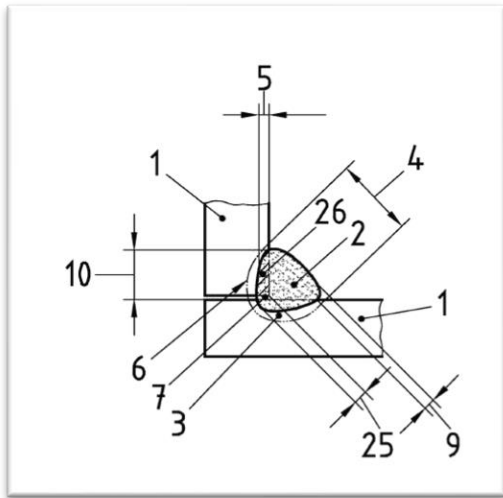
mikrorakennetta joka heikentää iskutiheyttä riippuen teräksen tyyppistä ja kemiallisesta koostumuksesta. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 70)

2.4 Sulahitsausliitos

Sulahitsausliitoksessa lämmöntuonti aiheuttaa hitsausliitoksen ja perusaineen yhteen sulamisen samalla muodostaen niihin eri vyöhykkeitä (Kuva 1). Osa liitoksessa jossa perusaineen mikrorakenteessa tapahtuu muutoksia hitsauksen lämpösykliä vaikutuksesta, kutsutaan muutosvyöhykkeeksi (heat-affected zone, HAZ). Muutosvyöhykkeen mikrorakenteeseen vaikuttavat teräksen koostumus ja lämpötilamuutokset. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 71)

Perusaineen ja hitsisulan jäähmettymiseen kuuluu kaksi vaihetta, ytimen muodostus ja kiteen kasvu hitsisulasta. Jähmettyessään hitsausprosessin jälkeen alkaa metallin kieteytyminen, edellyttäen energian sitoumista muuttuvaan ytimeen. Kuitenkin jäähmettymisestä aiheutuva metalliin sitoutuva latenttilämpö nostaa hitsin ja perusaineen lämpötilaa. Puhtaan metallin jäähmettyessä ytimen muodostus edellyttää sulan alijäähtymistä jossa hitsisula jäähtyy alle sulamislämpötilan. Puhtaassa metallissa ei ole ytimen muodostusta edistäviä tekijöitä kuten jähmeitä partikkeleita tai sulkemia ja muista aineista riippuvia vaikuttajia, jolloin edellytykset ytimen muodostumiselle hitsisulassa ovat kaikin puolin samanlaiset. Tällaista tilannetta voidaan kutsua homogeeniseksi ytimen muodostumiseksi jossa muodostuminen on mahdollista missä tahansa kohtaa hitsisulaa. Käytännössä kuitenkin seosmetallien jäähmettyemisessä on aina edellytykset jäähmettymisen alkamiselle termodynaamisesti edullisimmista paikoista, joita voivat esimerkiksi hitsiaineen sulkeumat. Tällaista tapahtumaa kutsutaan puolestaan heterogeeniseksi ydintymäksi. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 71)

Kuva 1. Sulahitsausliitoksen vyöhykkeet (SFS 17659/2004, s. 18)



Sulahitsausliitoksen (Kuva 1) terminologia:

1. Perusaine
2. Hitsiaine
3. Muutosvyöhyke
4. Hitsausvyöhyke
5. Sulantunkeuma
6. Sularaja
7. Hitsin juuri
8. Hitsin kupu
10. Pienahitsin kyljen leveys, kateetti mitta
25. Juuritunkeuma, tunkeuma
26. Sulamisvyöhyke

2.5 Materiaalin hitsattavuus

Materiaaliominaisuuksiltaan hitsattavuus on yksi olennainen tekijä terästen ominaisuuksista kun valitaan valmistusmenetelmiä haluttuun tuotteeseen. Teräksen hitsattavuus on hyvä silloin kun hitsausprosessi on toteutettavissa ilman mitään erityistoimenpiteitä ja jolloin sen paikalliset ominaisuudet sekä rakenne täyttävät niille annetut vaatimukset.

Hitsattavuudeltaan paremmille teräksille voidaan määritellä väljempiä rajoja esimerkiksi lämmöntuonnin ja hitsausmenetelmien suhteen sekä lisäaineiden valinnoille jotka parantavat valmistusprosessin kustannustehokkuutta. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 77)

Käytännössä standardi DIN 8528 hitsattavuuden määrittelee kolme tekijää joita ovat materiaali joka määrittelee hitsauksen soveltuvuuden, rakenne joka vaikuttaa hitsiliitosten luotettavuuteen ja turvallisuuteen sekä valmistuksesta joka vaikuttaa toteutuksen mahdollisuuksiin. Materiaalin hitsattavuuden takaamista vaikeuttaa yleisesti edellä mainitut kolme tekijää jotka täytyy huomioida sekä valmistusolosuhteet ja hitsattavan rakenteen vaikutukset. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 78)

Hitsausprosessin vaikutukset materiaalin käyttäymiseen riippuvat pääsääntöisesti aineen kemiallisesta koostumuksesta, metalurgisista ominaisuuksista sekä fysikaalisista ominaisuuksista. Terästen soveltuvuutta kaarihitsaukseen voidaan arvioida hiilipitoisuuden, hiiliekvivalentin CEV sekä mahdollisesti saatavilla olevien isotermisissä olosuhteissa määritettyjen TTT - ja aidosti jatkuvan jäähtymisen olosuhteissa määritettyjen CCT – diagrammien avulla. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 79)

2.6 Hiiliekvivalentti

Hiili Seosaineena vaikuttaa kaikkiin ferriittisten terästen mekaanisiin ominaisuuksiin lisäten lujuutta ja samalla haurastumista. Monet muutkin seosaineet vaikuttavat samalla tavalla ja joiden yhteisvaikutus on hiili mukaan lukien niin sanottu hiiliekvivalentti (CE, Ceqv) kaava (2), jota yleisesti käytetään rakenneterästen hitsattavuuden arviointikriteerinä.

Hiiliekvivalentti kuvaa teräksen karkenevuutta jolla on myös merkittävä vaikutus terästen vetyhalkeilutaipumukseen. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 79)

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr+\%Mo+\%V}{5} + \frac{\%Ni+\%Cu}{15} \quad (2)$$

Kaavaa sovelletaan käytettäväksi teräksille, hienoraeteräksille ja niukkaseosteisille teräksille, joiden hiilipitoisuus vaihtelee välillä 0.05 – 0.25%, mangaanipitoisuus (Mn) on alle 1.7%, kromipitoisuus (Cr) on alle 0.90%, molybdeenipitoisuus (Mo) on alle 0.75%, vanadipitoisuus (V) on alle 0.20%, nikkelpitoisuus (Ni) on alle 2.5% sekä kuparipitoisuus (Cu) on alle 1.0% ja joiden hiilievivalentin arvo vaihtelee välillä 0.30 – 0.70. CE-luvusta voidaan arvioida esikuumennuksen tarvetta ennen hitsausta. Luvun ollessa alle 0.40 p-% ei yleensä esikuumennusta tarvita ja puolestaan sen ollessa välillä 0.40 – 0.50 p-% ei yleensä tarvita esikuumennusta pienillä ainepaksuuksilla ja niukkavetyisillä lisäaineilla, mutta suurilla ainepaksuuksilla tarvitaan. Luvun ylittäessä 0.50 p-% tarvitaan esikuumennus ja mahdollisimman niukkavetyiset lisäaineet sekä mahdollinen jälkikuumennus. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 79)

3 KAARIHITSAUS

3.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsauksella tarkoitetaan metallikaasukaarihitsausta joka on kaasukaarihitsausprosessi jossa palava valokaari on suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välissä. MIG/MAG-hitsauksessa sula metallinen lisäainelanka siirtyy pieninä pisaroina hitsisulaan jota langansyöttökela syöttää hitsauspistooliin josta sitä edelleen valokaareen. (ESAB, n.d.-a).

MIG/MAG-hitsauksessa käytettävä lisäainelanka on ohut kelalla oleva lanka jota kutsutaan usein umpilangaksi toisin kuin täytelankoja. Useimmiten umpilangan halkaisijat ovat joko 1,0 mm tai 1,2 mm. Myös ohuempiakin lankoja on olemassa. Esimerkiksi 0.8 mm ainakin. Yleisimmät saatavilla olevat lankakerät myydään 18 kg:n painoisissa keloissa. Lankoja on myös saatavilla suuremmissakin paketeissa jotka voivat olla painoltaan useita satoja kiloja. (ESAB, n.d.-a).

Pinnaltaan seostamattomat ja niukkaseosteiset teräslangat ovat joko kuparoituja tai kuparoimattomia. Kuparoimattomat langat käsitellään valmistusvaiheessa liukastusaineella niiden suuren kitkakertoimen vuoksi. Ilman liukastuskäsittelyä koostumukseltaan täysin puhtaan langan ulossyöttö hitsauskoneesta olisi haasteellista ja aiheuttaisi tukoksia

langansyötössä. Kuparoimattomat langat ovat yleistyneet käytössä viime vuosina. Niiden etuina ovat huomattavasti pienemmät ongelmat langansyötössä kuin kuparilangoilla. Kuparoimattomista langoista ei irtoa langansyöttäjärjestelmään kuparipölyä joka aiheuttaisi tukoksia kuten kuparilankoja käyttäessä. Kuparoimattomat langat koostuvat ruostumattomista- ja ei-rautametallilangoista. Hitsauslangan kemiallisen koostumuksen tulisi yleensä vastata hitsattavan materiaalin koostumusta. (ESAB, n.d.-a).

MIG/MAG-hitsauksen nimike riippuu siinä käytettävästä suojakaasusta. MIG-hitsaus on lyhenne sanoista "Metal Inert Gas" jossa käytetään inertti suojakaasua. MAG tulee taas sanoista "Metal Active Gas" jossa käytetään aktiivista suojakaasua. MAG-hitsauksen aktiivinen suojakaasu reagoi sulassa metallissa olevien aineiden kanssa. Aktiivisia suojakaasuja ovat joko puhdas hiilidioksidi tai seoskaasu joka sisältää argonia ja happea tai argonia ja hiilidioksidia. Inertti suojakaasu on puolestaan reagoimaton suojakaasu jollaisia ovat argon ja helium. (ESAB, n.d.-a).

Pääasiassa MIG/MAG menetelmien jakautuminen tapahtuu siten että teräkset hitsataan aktiivikaasuilla ja ei-rautametallit inerttikaasuilla. Suurin syy miksi terästen hitsauksessa ei käytetä puhdasta argonia on epävakaasti käyttäytyvä valokaari aineensiirtymisen takia. Teräksiä hitsattaessa suojakaasun täytyy sisältää ainakin pieni määrä aktiivista kaasukomponenttia. (ESAB, n.d.-a).

Suojakaasuina seostamattomille ja niukkaseoksisille teräksille käytetäänkin useinmiten seoskaasuja. Sitä paremmat hitsausominaisuudet saavutetaan, mitä vähemmän aktiivista kaasua on. Haittapuolia ovat kuitenkin hitsauspistooliin kohdistuva lämpörasitus ja tiheysvarmuuden heikkeneminen, etenkin jos hitsattavat pinnat eivät ole täysin puhtaita. Ruostumattomia teräksiä hitsattaessa aktiivisen kaasukomponentin määrä täytyy olla vain muutamia prosentteja jotta hitsipalon korroosion kestävyys säilyy eikä seosaineiden palohäviöt pääse kasvamaan. (ESAB, n.d.-a).

3.2 Täytelankahitsaus

Täytelankahitsauksessa käytetään lähes pelkästään aktiivista suojakaasua, joten sitä kutsutaan MAG-täytelankahitsaukseksi. Täytelankahitsaus on toimintaperiaalteeltaan hyvin paljon samanlainen kuin jo aiemmin mainittu MAG-hitsaus. Hitsauksen lisäaineena on

täytelanka toisin kuin MAG-hitsauksessa jossa käytetään umpilankaa. Suojakaasun tyyppi täytelankahitsauksessa on myös aktiivikaasu kuten MAG: issa. Ilman suojakaasua tehtävät täytelankahitsaukset ovat harvinaisempi prosessi. Sitä voidaan kuitenkin käyttää esimerkiksi pienissä korjaustöissä ja päällehitsauksissa. (ESAB, n.d.-a).

Ydintäytelanka muodostuu putkimaisesta langasta jossa on teräskuori ja sisällä täytejauhe. Teräskuoren tarkoitus on muodostaa suoja täytejauheelle, toimia virranjohtimena sekä tuottaa ainetta hitsipalkoon. Täytelankojen kuori on seostamattomille ja matalaseoksisille teräksille niukkahiilistä ja ruostumattomille ruostumatonta terästä. (ESAB, n.d.-a).

Putkimaisen langan sisällä oleva täyteaine on koostumukseltaan hyvin paljon samanlaista kuin puikkohitsauksessa käytettävillä pääällystepuikoilla. Kuten puikkohitsauksessa puikotyyppit, voidaan täytelankahitsauksenkin lisäaineet jakaa kahteen pääryhmään. Näitä ryhmiä ovat rutiili- ja emästäytelangat. Emästäytelankojen pääraaka-aineet ovat hyvin paljon samoja kuin emäspuikoissa, kuten myös rutiilitäytelangoilla rutiilipuikkojen kanssa. Rutiilitäytelangat voidaan suunnitella kelpoisiksi ja ei-kelpoisiksi asentohitsaukseen niiden muodostaman kuonakerroksen perusteella. Rutiilitäytelangat voidaankin jakaa ryhmiin asentotäytelangat ja jalkohitsauslangat. Asentohitsauslangoilla hitsattaessa kuona-aine jähmettyy nopeasti, joka mahdollistaa asentohitsauksen tarvittaessa. Jalkolankoja käyttessä puolestaan kuona on hitaasti jähmettyvää, mikä rajoittaa niiden käyttöä vain jalko- ja alapienahitsauksiin. (ESAB, n.d.-a).

Eniten käytetty langanhalkaisija on 1,2 mm, mutta myös muitakin kokoja käytetään jonkin verran. Muita langanhalkaisjan kokoja ovat ainakin 0,8 mm ja 1,0 mm. Yleisin lankakelan paino on 16 kg. Saatavilla on myös suurkelapakkauksia jotka ovat tarkoitettu lähinnä mekanisoituun ja robotisoituun hitsaukseen. (ESAB, n.d.-a).

Myös täytelangan tyyppi vaikuttaa käytettävään suojakaasuun. MAG-täytelankaa käytettäessä jauhetäytelangoilla käytetään suojakaasuna samoja kaasuja kuin MAG-hitsausessa umpilangalla eli argonin ja hiilidioksidin seoskaasuja. Jonkin verran käytetään myös puhdasta hiilidioksidia. Nämä samat suojakaasut sopivat myös ruostumattomille teräksille. (ESAB, n.d.-a).

MAG-täytelankahitsaus on hitsausprosesseista nopeimmin kasvava. Se on jo ohittanut puikkohitsauksen käytettävyyden osuuden monessa maassa. Täytelankahitsauksen osuus kulutetusta lisäainemäärästä onkin jo noin 20 - 25%. Täytelankahitsauksen suurimmat käyttöalueet ovat telakka- ja offshore-teollisuudessa josta sen käyttö on laajentunut myös raskaaseen ja keskiraskaaseen konepajateollisuuteen. Sen suurimpia etuja ovat soveltuvuus kaikille teräksille, suuri tuottavuus, helppo mekanisoitavuus ja hyvät asentohitsausominaisuudet sekä hyvät hitsiaineen mekaaniset ominaisuudet. (ESAB, n.d.-a).

3.3 Jauhekaarhitsaus

Jauhekaarhitsauksella tarkoitetaan hitsausprosessia jossa valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välissä hitsausjauheen alla. Hitsausjauheen tarkoitus on suojata hitsaustapahtumaa ympäröivältä ilmalta. Jauhe sulaa osittain muodostaen hitsiaineen päälle kuonakerroksen, joka poistetaan myöhemmin. Erona muihin hitsausprosesseihin, jauhekaarhitsauksessa valokaari ei ole näkyvillä sen peittämän jauheen vuoksi. Tämän vuoksi jauhekaarhitsauksessa ei synny valo- ja lämpösäteilyä eikä hitsaussavuja, eikä täten vaadi työympäristön kannalta samanlaisia olosuhteita kuin muut hitsausprosessit. (ESAB, n.d.-a).

Jauhekaarhitsaus on usenmiten koneellinen hitsausprosessi jossa hitsaajan tehtävänä on ainoastaan valvoa prosessia ja tehdä pieniä korjauksia tarvittaessa. (ESAB, n.d.-a).

Hitsauslanka tai hitsausnauha ja hitsausjauhe ovat jauhekaarhitsauksen lisäaineet. Lankoina käytetään paksuja lisäainelankoja joita ovat halkaisjaltaan 1.6, 2.9, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0 ja 6.0 mm. Yleisin käytetty langan halkaisija on 4.0. Langan materiaali on yleensä samaa kuin hitsattavan kappaleen materiaali. Yleisin paino lankakelalle on 30 kg, mutta saatavilla on myös suurkeloja aina 1000kg asti. Suuriin pinnoitushitauksiin voidaan käyttää myös hitsausnauhoja. (ESAB, n.d.-a).

Koostumukseltaan hitsausjauheet ovat raemaisia, sulavia ja mineraalista sekä metaallista alkuperää olevia joita on saatavilla kemialliseltakoostumukseltaan erilaisia. Jauhetyypin koostumus vaihtelee jauhetyypin mukaan, joita ovat esim. alumiinioksidi, alumiinisilikaatti, mangaanisilikaatti, kalsiumsilikaatti ja emäs. Jauhetyypeistä yleisimmin käytetty on alumiinioksidi/emäs, joka sisältää alumiinioksidia, piioksidia, mangaanioksidia,

kalsiumkarbonaattia, magnesiumoksidia sekä kalsiumoksidia. Tyypillisin raekoko jauheilla 0,2... 1,6 mm. hitsiaineen iskutkeysominaisuudet paranevat mitä korkeampi jauheen emäksisyysaste on. (ESAB, n.d.-a).

Jauhekaarihitsauksen etuja ovat sen suuri hitsiaineen tuotto, suuri tunkeuma, pienet vaatimukset työympäristölle sekä tuulen ja vedon haittaamattomuus hitsausprosessissa. Jauhekaarihitsauksella tuotetaan hitsiainetta yleisimmin n. 6-12 kg/h, joka tarkoittaa sen sulattamaa lisäainemäärää tunnissa. Erilaisilla suurtehojauhekaariprosesseilla voidaan tuottaa hitsisulaa kymmeniä kiloja tunnissa. Minimi ainevahvuus jauhekaarihitsaukselle on noin 5 mm. Hitsausprosessi on useimmiten mekanisoitua hitsausta. Esimerkkinä usein käytetty niin sanottu traktori joka asetetaan kulkemaan haluttua reittiä pitkin hitsaamaan hitsisauman. (ESAB, n.d.-a).

Jauhekaarihitsauksen erilaisia variaatioita ovat myös tandem-hitsaus, kaksoislankahitsaus, metaallijauheen syöttö sekä kapearailohitsaus. Hitsausprosessina jauhekaarihitsausta käytetään lähinnä raskaassa ja keskiraskaassa konepajateollisuudessa sekä laivanrakennuksessa. (ESAB, n.d.-a).

3.4 Puikkohitsaus

Viimeisenä kaarihitsausprosessina esitetään puikkohitsaus jossa valokaari palaa hitsauspuikon ja työkappaleen välillä. Hitsauspuikon sydänlanka sulaa siirtäen hitsiainetta työkappaleen pintaan johon muodostuu kaasusta ja kuonasta syntyvä suojaava kerros. Jähmetyttyään kuonakerros poistetaan esimerkiksi vasaralla murtaen kuonakerroksen pinta hitsisauman päältä. Puikkohitsausprosessi suoritetaan aina käsinhitsauksena, eikä sen mekanisointi ole mahdollista lisäainepuikkojen lyhyiden määramittojen vuoksi. (ESAB, n.d.-a).

Puikkohitsauksen lisäaineena toimii määrämittainen hitsauspuikko joka on päällystetty suora lisäainelanka. Sen rakenne muodostuu kahdesta osasta: sydänlangasta ja sen päälläolevasta pinnoitteesta. Seostamattomista teräksistä valmistetuissa puikoissa sydänlanka on matalahiilistä seostamatonta terästä sekä niukkaseosteisissa teräspuikoissa usein myös

matalahiilistä seostamatonta terästä jossa seosaineet muodostuvat puikon päällysteestä. Ruostumattomille teräksille tarkoitetuissa puikoissa sydänlanka on omanlaistansa ruostumatonta terästä ja lisäseostukset muodostuvat puikon päällä olevasta kuoresta. (ESAB, n.d.-a).

Päällysteiden tarkoitus on muodostaa suojaava kuonakerros ja kaasusuoja hitsausprosessille sekä tukea ja säilyttää hitsisulan muoto kuonakerroksen avulla. Lisäksi niiden tehtäviä ovat hitsiaineen seostus, valokaaren syttymisen helpottaminen ja riittoisuuden nostaminen rautajauheen avulla. Hitsauspuikot jaotellaan päällysteensä perusteella neljään ryhmään. Näitä ryhmiä ovat: emäs-, rutiili-, selluloosa- ja hapanpäällystepuikot. Puikon hitsausominaisuudet määräytyvät puikon päällysteen mukaan. Päällysteen vaikutukset näkyvät hitsiaineen laadussa, tuottavuudessa ja hitsaushuurujen koostumuksessa. (ESAB, n.d.-a).

Emäspuikkojen päällysteet sisältävät suuria määriä kalsiumkarbonaattia ja rautajauhetta. Lisäksi ne sisältävät myös pieniä määriä titaanioksidia, raustaseoksia ja kvartsia. Etuina emäspuikoilla on hitsipalon matalavetyisyys, iskutikeys ja metallurginen puhtaus. (ESAB, n.d.-a).

Ruutilipuikkojen päällysteet puolestaan valmistetaan pääosin titaanioksidista. Muina ainesosina käytetään mm. kvartsia, karbonaattia ja rautaseoksia. Rutiilipuikot ovat pääsääntöisesti hyviä hitsausominauksiltaan ja ovat myös helppoja käyttää. Haittapuolina niissä ovat korkea vetypitoisuus hitsissä ja matalissa lämpötiloissa huonot iskutikeysominaisuudet. (ESAB, n.d.-a).

Seostamattomille teräksille tarkoitettut puikot ovat rutiili- tai emäspäällysteisiä, mutta suurin osa niistä on emäspuikkoja. Emäspuikkoja käytetään enimmäkseen niukkaseosteisten terästen hitsauksessa, kun taas rutiilipäällysteisiä käytetään ruostumattomien terästen hitsauksessa. Ruostumattomien terästen hitsauksessa emäspuikkojen laatuominaisuudet, matalavetyisyys tai korkea iskutikeys eivät juurikaan ole oleellisia ominaisuuksia, joten niiden hitsausprosessiin sopivat rutiilipuikot. (ESAB, n.d.-a).

Lisäksi on olemassa emäs-, rutiili- ja hapanpäällysteisiä suurriittoisuuspuikkoja, joiden riittoisuudet vaihtelevat n. 150 - 250%. Lisäainepuikkojen riittoisuudella tarkoitetaan saadun

lisäaineen määrän painoa / hitsatun puikon painolla. Tavallisella emäspuikolla riittoisuus on noin 125%, jonka päällysteessä on tällöin riittoisuutta nostavaa rautajauhetta. Rutiilipuikon riittoisuus on puolestaan normaalisti noin 95%. (ESAB, n.d.-a).

Standardisoidut lisäainepuikkojen halkaisijat ovat 1.6, 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 5.0 ja 6.0 mm. yleisimmät pituudet ovat puolestaan 300, 350 ja 450 mm. (ESAB, n.d.-a).

4 HITSUKSEN SUOJAKAASUT

4.1 Suojakaasun vaikutukset

Kaasukaarihitsausmenetelmissä suojakaasun päätarkoituksena on suojata kuumentunutta ja sulaa metalliainesta ympärillä olevan ilman haittavaikutuksilta ja edesauttaa valokaaren parasta mahdollista palamista. (AGA, n.d.)

Ympärillä olevan ilman päästessä kosketuksiin kuumen metallin ja hitsisulan kanssa, aiheuttaa ilman happipitoisuus sulan metallin ja sen ympäristön hapettumisen. Huokoisuus hitsiliitosten pinnassa puolestaan johtuu ilmassa olevasta typestä ja kosteudesta. (AGA, n.d.)

Sulavan lisäinelangan aineensiirtymä hitsisulaan riippuu suojakaasun koostumuksesta joka on omiaan vaikuttamaan hitsiaineeseen syntyvien roiskeiden määrään ja kokoon. (AGA, n.d.)

Riippuen suojakaasun tyypistä, on sillä erilaisia vaikutuksia myös hitsipalon ulkonäköön, muotoon, hitsausnopeuteen, seosaineiden palamishäviöihin, korroosio-ominaisuuksiin ja oksidien muodostumiseen hitsipalon pinnalle. (AGA, n.d.)

TIG- ja MIG/MAG-hitsauksessa käytettävällä pääkomponentilla argonilla ei ole vaikutuksia hitsin kemialliseen koostumukseen. Argon on inertti kaasu joka ei hapeta hitsisaumaa. (AGA, n.d.)

Sen sijaan puhdas argon ei kuitenkaan sovellu terästen hitsaukseen sen aiheuttaman hitsauskaaren epävakauden vuoksi. Hitsauskaaren vakaana pysymisen ehtona onkin suojaakaasun hapettava komponentti joka samalla varmistaa tasaisen aineensirtymän hitsausprosessissa. Hapettajana argonin kanssa käytetään joko happea tai hiilidioksidia joista

syntyy omat seoskaasunsa. Hiilidioksidin tai hapen määrä seoskaasussa riippuu hitsattavasta materiaalista. (AGA, n.d.)

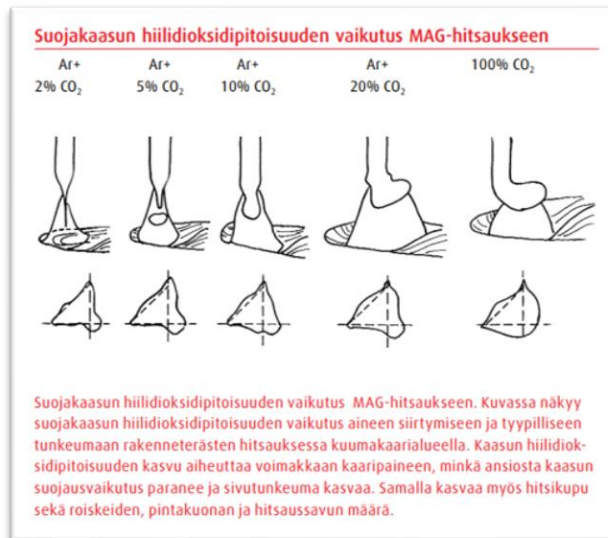
4.2 Suojakaasun vaikutukset MIG/MAG-hitsauksessa

Kaasukaarihitsauksessa katodi muodostuu kolmesta osasta: katodi, anodi ja kaariplasma. MAG-hitsauksessa lisäainelanka muodostaa positiivisen elektrodin, jota kutsutaan anodiksi. Hitsattavasta kappaleesta puolestaan muodostuu yksi tai useampi katodipiste joista syntyy katodinen alue. Jotta voidaan välttää roiskeiden ja epätasaisuuksien aiheutuminen hitsipalossa, tarvitaan hapettavaa suojakaasua stabilisoimaan katodipisteitä. (AGA, n.d.)

Valittaessa suojakaasun lisäkomponentiksi happea tai hiilidioksidia on hyvä ottaa huomioon hiilidioksidin ominaisuudet. Näitä etuja ovat hiilidioksidin tuoma siistimpi ulkomuoto hitsaussaumassa sekä parempi hitsisulan juoksevuus verrattuna argon-happiseoksiin. Nämä eroavaisuudet johtuvat lähinnä hitsisulan pintajännityksestä sekä hapettumisen määrästä. Hiilidioksidi suojakaasun komponenttina ehkäisee kuonan muodostusta joka taas vähentää jälkitöiden ajallista kestoja. (AGA, n.d.)

Kuvassa (Kuva 2) esitetään kuinka seoskaasuihin verrattuna puhtaalla hiilidioksidilla on parempi tunkeuma hitsipalossa, erityisesti sivutunkeuma. Tähän syynä ovat suurempi kaarijännite ja energian tuonti sekä suurempi kaaripaine jonka hiilidioksidi aiheuttaa. (AGA, n.d.)

Kuva 2. CO₂ -pitoisuuden vaikutukset (AGA, n.d.)



4.3 Mison suojakaasu

Suojakaasujen kehitystyössä on yleisesti keskitytty lähinnä suojakaasun rooliin hitsin suojelemisessa. AGA:n Mison suojaasujen kehitystyö on suunnattu vähentämään hitsauksesta syntyviä haitallisia epäpuhtauksia. Hitsausprosessissa syntyy aina epäpuhtauksina haitallisia savuja ja huuruja jotka muodostuvat pääosin metallien oksideista, kun taas kaasut puolestaan koostuvat otsonista, typpioksideista ja hiilimonoksidista. Keinoina vähentää haitallisia hitsauskaasuja ovat raitisilmamaskit, hengityssuojaimet ja poistoimurit työpisteillä. (AGA, n.d.)

Tehokkain tapa vähentää syntyviä hitsaussavuja olisikin pyrkiä tilanteeseen jossa niitä ei muodostuisi ollenkaan tai että niiden määrää voisi vähentää merkittävästi. AGA:n kehittämä Mison suojakaasu (Kuva 3) perustuu edellä mainittuun perusajatukseen sekä työn tuottavuutta parantaviin ominaisuuksiin. (AGA, n.d.)

Kuva 3. Toisena suojakaasun vaihtoehtona käytetty Mison 18 (AGA, n.d.)



5 WPS-HITSAUSOHJE

5.1 Käyttötarkoitus

WPS on lyhenne englanninkielien sanoista ”welding procedure specification” jolla tarkoitetaan hyväksyttyä hitsausohjetta. Hitsausohjeen tärkein käyttötarkoitus on toimia hitsauksen tuotannon, suunnittelun ja laadunvalvonnan perustana. Alustavaa toistaiseksi ei-hyväksyttyä hitsausohjetta kutsutaan puolestaan pWPS-hitsausohjeeksi. Standardin SFS-EN ISO 15609 mukaisen hyväksytyyn hitsausohjeeseen on tarkoitus antaa kaikki tarvittavat tiedot hitsauksen suorittamiseen sekä varmentaa hitsausten vaatimuksien mukaisuus. Hitsausohjeella myös varmistetaan tuotannossa käytettävien hitsausarvojen toimivuus ja että kaikki hitsaajat käyttävät samoja säätöarvoja. (Muhonen, 2011, s. 26)

Poikkeamat metalurgiassa aiheuttavat erityisongelman, sillä mekaanisten ominuuksien arviointi nykyisillä NDT-menetelmillä (rikkomaton aineenkoetus) on mahdotonta. Tästä johtuen on luotu tietyt säännöt hitsausohjeen hyväksymiseksi ennen tuotannossa käyttöönottoa. (Muhonen, 2011, s. 26)

Kullekin hitsausprosessille on ohjeistuksensa määritelty standarissa. Hitsausohje muodostuu käytännössä katsoen asiakirjasta johon määritellään hitsausprosessissa käytetyt eri tavat ja parametrit. Näihin parametreihin kuuluvat esim. hitsauksen suoritusarvot joihin kirjataan palko, lisäaineen koko, virta, jännite, virtalaji/napaisuus, langansyöttönopeus, palkopituus, kuljetinnopeus, kaarienergia, lämmöntuonti, kuva liitoksesta sekä hitsausjärjestys. (Muhonen, 2011, s. 26)

5.2 Hitsausten tarkastus

Jotta alustavaahitsausohjetta voitaisiin hyväksytysti käyttää tuotannossa, on ohjeen mukaiset hitsauksen ominaisuudet syytä vielä tarkastaa ja arvioida. Tarkastuksessa arvioidut hitsin ominaisuudet liittyvät usein hitsin kokoon ja mahdollisiin katkoksiin joilla voi olla suoria vaikutuksia sauman lujuuteen sekä siihen liittyvään suorituskykyyn. Alikokoinen hitsaussauma ei mahdollisesti kestä siihen kohdistuvia rasituksia. Myös hitsikatkokset voivat näyttäytyä tärkeässä osassa hitsattuja rakenteita. Nämä ovat hitsin sisäisiä virheitä joilla voi olla suoria vaikutuksia koosta ja sijainnista riippuen sauman tarkoituksenmukaisuuteen. Tällaisia katkosia kutsutaan hitsausvirheiksi silloin kun niiden kokoa ja sijaintia ei voi hyväksyä. Hitsausvirheet saattavat pahimmillaan aiheuttaa hitsauksen ennenaikaisen pettämisen heikentyneillä lujuusominaisuuksillaan sekä tuottaa rasituskeskittymiä hitsatussa rakenteessa. (ESAB, n.d.-c).

Hitsien tarkastukselle voi olla monia syitä. Tärkeimpänä kuitenkin hitsausohjetta laatiessa on sille asetettujen vaatimusten täyttäminen. Alustavasti hitsin laadun arviomiseksi tarvitaan jonkinlainen mittakappale, johon ominaisuuksia voidaan verrata. (ESAB, n.d.-c).

Alustavaa hitsausohjetta luodessa hitsin laatuvaatimukset voivat olla peräisin valmistuskuvista, lujuuslaskelmista ja/tai ulkonäkösyistä. Hitsausrakenteiden valmistuskuvista nähdään tyypillisesti hitsauksien koot ja muut mittatiedot, kuten paikka, sijainti ja hitsintyyppi. (ESAB, n.d.-c).

Hitsikatkosten hyväksymis- ja hylkäämisrajat hitsauksien tarkastuksessa tulee tavallisimmin hitsausmääräyksistä ja standardeista. Oleellisinta on kuitenkin valita hitsausstandardi joka on tarkoitettu kyseisen hitsausteollisuuden tarpeen mukaan. (ESAB, n.d.-c).

Hitsauksien tarkastajalta tulee löytyä vaadittava pätevyyskoulutus ja yleensä hyvää tietämystä hitsaustekniikoista sekä monialaista tietämystä hitsauspiirustuksista, hitsaussymboleista, hitsausrakenteista, määräysten ja standardien vaatimuksista sekä testaustekniikoista. (ESAB, n.d.-c).

5.3 WPS-hitsausohjeen laadinta ja hyväksyntä

Alustavahitsausohje pWPS laaditaan ja hyväksytään ennen varsinaista tuotantoa, jota noudattamalla voidaan valmistaa standardin EN ISO 15614 -mukaisia hitsattuja tuotteita joiden hitsausliitokset voidaan taata pitäviksi ja koetukset läpäseviksi. Hyväksynnän jälkeen pWPS-ohjeesta tulee varsinainen tuotantoon kelpaava WPS-hitsausohje. Hitsausohjeen hyväksynnän voi suorittaa viidellä eri tavalla jotka ovat esitetty laadinnan kulkukaaviossa (Kuva 4). Näitä standardin ISO 15607: n mukaisia hyväksymistapoja ovat: menetelmäkoe, testatut hitsausaineet, aikaisempi hitsauskokemus, standardihitsausohje ja esituotannollinen koe. (Muhonen, 2011, s. 27)

Testattujen lisäaineiden hyväksymistavalla määritetään kuinka alustavahitsausohje voidaan hyväksyä jo aikaisemmin testatuilla hitsausaineilla. Mikäli testattavalle tuotteelle ei ole esitetty hitsejä koskevia erityisvaatimuksia, voidaan tätä hyväksymistapaa hyödyntää. Lisäaine on asianmukaisesti testattu kun perusaineen muutosvyöhykkeellä syntyy hyväksyttäviä mikrorakeita sekä ominaisuuksia jotka eivät heikkene tuotteen käytössä. Testattujen hitsauslisäaineiden hyväksyntä rajoittuu seostamattomiin teräksiin (perusaineryhmä 1.1), austeniittisiin ruostumattomiin teräksiin (perusaineryhmä 8.1) ja alumiineihin (perusaineryhmät 21, 21.1, ja 22.2). Ainevahvuus on rajoissa 3-40 mm ja a-mitta hitsissä on > 3 mm. (Muhonen, 2011, s. 27)

Aikaisempaan tyydyttävään hitsauskokemukseen perustuvaa hyväksymistapaa voidaan myöskin käyttää hitsausohjeen laadinnan hyväksymiseen. Aikaisemman hitsauskokemuksen voi osoittaa valmistajan asianmukaisella dokumentilla hitsien valmistuksesta ja testauksesta, esimerkiksi rikkova aineenkoetus, rikkomaton aineenkoetus, paine- ja vuotokokeet tai tuote

on ollut käytössä tietyn ajanjakson ilman huomautuksia hitsausliitoksissa. Sopivaksi ajanjaksoksi voidaan katsoa 5-vuotta. (Muhonen, 2011, s. 27)

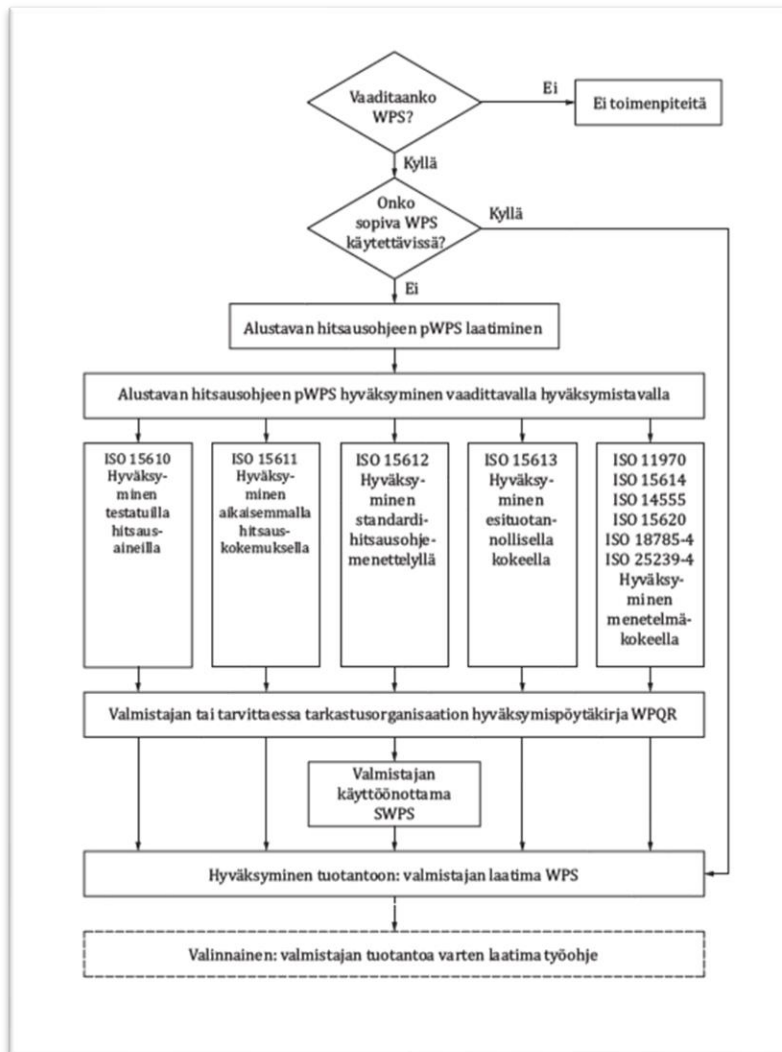
Standardihitsausohje määrittää kuinka valmistaja voi hankkia toiselta riippumattomalta valmistajalta standardihitsausohjeen joka on valmistettu ja testattu hyväksyttävästi menetelmäkokein. Standardihitsausohje (SWPS) voidaan hyväksyä jos kaikkien muuttujien vaihtelualueet ovat standardimenetelmän mukaisia. Käytön edellytyksenä on, että käyttäjä on nimennyt hitsauskoordinoijan sekä hitsauksen laatuvaatimuksia noudatetaan standardin mukaisesti. (Muhonen, 2011, s. 27)

Esituotannollista tapaa puolestaan on luotettavinta käyttää kun menetelmäkokeen koekappaleet eivät vastaa riittävästi varsinaista hitsaustapahtumaa esimerkiksi rakenteen muodon, rakenteen jäykkyyden ja lämmönsiirron mukaan, joiden esille saaminen luotettavasti ei muutoin onnistu. Tarkastuslaajuutta ja pätevyysaluetta voidaan osittain soveltuvasti verrata menetelmäkokeeseen. (Muhonen, 2011, s. 27)

Menetelmäkokeella hyväksymistä taas käytetään kun hitsaussaumamat ovat hitsattavan rakenteen kannalta kriittisiä. Menetelmäkokeella hyväksymisen vaatimukset voivat olla peräisin sovellus- tai tuotestandardien, tilaajan tai viranomaisten vaatimuksista. Standardia sovelletaan terästen ja nikkelin sekä nikkelseosten kaarihitsausprosesseihin.

Menetelmäkokeen tarkoitus on varmistaa hitsaussaumalle asetettujen vaatimusten mukaisuus. Kokeen hyväksynnästä seurauksena on pätevyysalue jonka mukaan voidaan laatia useampia hitsausohjeita jotka sisältyvät pätevyysalueeseen. (Muhonen, 2011, s. 28)

Kuva 4. Kulkukaavio hitsausohjeen laadintaan (SFS 15607/2019, s. 14)



6 HITAUSLIITOSTEN RIKKOMATON AINEENKOETUS

6.1 Ainetta rikkomaton NDT-tarkastusmenetelmä

Yleisimmät hitsausliitosten tarkatuksissa käytetyt ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät ovat radiograafinen kuvaus, ultraäänitarkastus,

tunkeumanestetarkastus, magneettijauhetarkastus ja silmämääräinentarkastus. Niitä voidaan soveltaa eri tarkoituksiin, jonka takia käytännössä tulee käyttää useampia tarkastusmenetelmiä, joista toisilla voidaan havaita hitsausliitosten pinnassa olevat viat ja toisilla syvemmällä hitsauspalossa olevat viat. (Leino, 2006, s. 48)

Ainetta rikkovat menetelmät soveltuvat lähinnä hitsaus- ja menetelmäkokeiden tarkastukseen, eivätkä täten varsinaisesti kuulu jokapäiväiseen konepajan tarkastustoimintaan. (Leino, 2006, s. 48)

Lähes 80 % teräsrakenteisiin suunnitelluista hitsauksista on pienahitsejä, joiden erityisesti syvemmällä olevien virheiden havaitseminen ainettarikkomattomilla menetelmillä vaikeaa tai mahdotonta. Tämän takia erityisesti kuormaa siirtävien primäärirakenne-elementtien välisissä kokoonpanohitsauksissa olevien pienahitsien valmistuksen laadunvarmistus on syytä suunnitella ja toteuttaa huolellisesti. Yleisesti pienahitsien tarkastusta pidetään kaikista hankalimpana hitsimuotona tarkastaa sen muotonsa ja silmämääräisesti päältäpäin havaitsemattomien juuripalon ja tunkeuman vuoksi. (Leino, 2006, s. 48)

Hyvän laaduntarkkailun on hyvä perustua ajatukseen, että jokaisella tarkastusmenetelmällä on omat perusongelmansa. Esimerkiksi ultraäänitutkimus ja radiograafinen kuvaus on suunnattavuustekijöiltään selkeästi erilaisia, mikä saattaa ohjata sopivamman menetelmän valintaa tehtävä kohtaisesti. Nämä eroavaisuudet saattavat ohjata valitsemaan tiettyyn tehtävään sopivimman menetelmän. Useinmiten niiden vahvuudet ja heikkoudet täydentävät toisiaan. Kun radiograafisella kuvauksella ei pystytä havaitsemaan laminoituvuustyyppisiä virheitä, puolestaan ultraäänitarkastuksella tämä onnistuu paremmin. Toisaalta ultraäänitarkastusta voidaan heikosti soveltaa erittäin huokoisten hitsien tarkastuksessa kun taas radiograafinen kuvaus soveltuu siihen huomattavasti paremmin. (Leino, 2006, s. 48)

Oleellista kuitenkin on mitä tahansa tarkastusmenetelmää käyttäessä huomioida hitsin laajuuteen vaikuttavat asiat, joita ovat tarkoituksen mukainen hitsausprosessi, liitoksen oikeanlainen muoto ja ja esivalmistelu, tarkkaan määritelty hitsausohje ja sen noudattaminen, laadun varmistaminen varsinaista tuotetta simuloivilla koekappaleilla sekä henkilöstön pätevyys. Ottamalla nämä seikat huomioon voidaan helpottaa ja vähentää

jatkotarkastuksia rutiininomaiseen määrään. Lisäksi ainetta rikkomattomat tarkastukset toimivat tällöin muuttujien vakioimisessa ja hitsien laadun pitämisessä standardien määrityksen mukaisena. (Leino, 2006, s. 48)

6.2 Silmämääräinen tarkastus

Hitsattujen rakenteiden pääperiaatteena on, että hitsin laatu voidaan aina tavalla tai toisella varmentaa. Hitsauksien hyvän tai huonon laadun kuitenkin määrittelee sen käytösovellukset ja vaatimukset. Hyvänä hitsauksena pidetään sellaista hitsiä joka täyttää sille annetun tehtävän tarkoituksen. Tämän takia laadun varmistamiseksi määritetään se tuotteen toimivuustaso, jonka käyttötarkoitus vaatii toimiakseen oikealla tavalla. Kuitenkin käyttötarkoituksesta tai laatustandardista riippumatta, tulee hitsaukset tarkastaa aina silmämääräisesti. (Leino, 2006, s. 49)

Hitsaukset tarkistetaan aina silmämääräisesti koko hitsauksen matkalta heti hitsaustapahtuman jälkeen. Tarkastukseen olisi hyvä osallistua sekä hitsaajien että työnjohtajan ja kokemusta sekä tietämystä omaavan tarkastajan. Tarkastuksen apuvälineitä voivat olla esimerkiksi lamppu ja peili. Silmämääräisellä tarkastuksella tarkastetaan hitsien sijainnin, koon ja muodon vaatimusten täyttyvyys sekä a-mitan riittävä koko. Muita tarkastelun kohtia ovat vielä hitsin pinnan suoruus ja kohtisuoruus, mahdolliset reunahaavat, sytytysjäljet ja hitsauksessa syntyvät roiskeet. (Leino, 2006, s. 49)

Siististä ja hyvältä näyttävästä hitsipalon pinnasta voidaan havaita ainakin ulkoisesti hitsin korkealaatuisuus, vaikkakaan se ei kerro vielä mitään sisäisestä laadusta eikä tunkeuman syvyydestä ja sauman kestävydestä. Silmämääräinen tarkastus on kuitenkin aina syytä tehdä ennen muita kokeita välttääkseen mahdollisesti epäonnistuvan kokeen tuomalta turhalta työltä ja kuluilta. (Leino, 2006, s. 49)

Ennen hitsausta on syytä tarkistaa hitsattavien materiaalien puhtaus ja eheys. Tällöin kannattaa poistaa rasvat pinnoilta ja tarkastaa liitettävien kappaleiden yhteensopivuus, suoruus, tasomaisuus ja mitat sekä muut hitsausprosessiin vaikuttavat tekijät.

Hitsausprosessin aikana hitsin palon ja pään kraaterin tarkastelussa voi paljastua mahdollisia ongelmia, kuten halkeamia, epämääräisiä lävistyksiä ja kaasu- tai epäpuhtaussulkeumia.

Silmämääräisesti tunnistettavia hitsausvirheitä voivat olla esimerkiksi halkeamat, pintaviat, pinnan huokoisuus tai muut vastaavat. (Leino, 2006, s. 49)

Yksipalkkoisissa hitseissä riittää yleensä hitsin tarkastus kunkin hitsausoperaation jälkeen ja aika ajoin hitsaustyön edetessä. Useampi palkkoisia hitsejä hitsattaessa olisi hyvä tarkastaa jokainen palko erikseen ennen seuraavan hitsaamista. Monipalkkoisessa hitsauksessa juurihitsi on kaikkein riskialttein työvaihe. Juurihitsiin syntyy herkästi halkeamia koska se kiinteytyy nopeasti ja siihen voi kertyä kaasua tai likaa. Tästä syystä ongelmat seuraavia palkoja hitsattaessa saattavat helposti moninkertaistua. (Leino, 2006, s. 49)

Silmämääräisellä tarkastuksella pyritään välttämään ali- tai ylihitsaamista. Liian pieniä hitsejä ei voida hyväksyä. Ylisuuret hitsaukset puolestaan aiheuttavat ylimääräisiä kuluja sekä saattavat aiheuttaa rakenteen vääristymiä ja kutistumia. (Leino, 2006, s. 49)

Silmämääräisellä sauman tarkastelulla voidaan havaita mahdollisia hitsausvirheitä ja pintavikoja, kuten epätasaisuutta, halkeamia, huokoisuutta ja hitsikraatereita. Lisäksi mittaamalla voidaan havaita erilaisia hitsausvirheitä. Hitsien pinnat täytyy puhdistaa roiskeista, jotta voidaan todeta mahdolliset pintävirheet hitsaussaumassa. Pintoja ei kuitenkaan saa hiekkapuhaltaa ennen tarkastusta, koska se saattaa sulkea ohuet halkeamat ja tehdä niiden havaitsemisen mahdottomaksi. (Leino, 2006, s. 49)

Silmämääräisellä tarkastuksella voidaan havaita ainoastaan hitsien pinnassa olevia virheitä. Monissa tapauksissa saatetaan vaatia myös muita NDT-tarkastusmenetelmiä hitseille. NDT-menetelmillä ei kuitenkaan pystytä mittaamaan virheiden vaikutuksia hitsin käytettävyyteen tai toimintaan. Niiden tarkastamiseksi onkin käytettävä ainettarikkovia tarkastusmenetelmiä. (Leino, 2006, s. 49)

6.3 Radiograafinen kuvaus

Radiograafinen kuvaus on tapana suorittaa vasta valmistusprosessin loppuvaiheessa, esim. hionnan tai lämpökäsittelyn jälkeen. Yleensä säteilylähde on kuvattavan kappaleen etupuolella ja filmi sen vastakkaisella puolella. Radiograafinen kuvaus onnistuu ainoastaan

jos säteilylähde ja filmi voidaan sijoittaa kuvattavan kappaleen vastakkaisille puolille. Tämä ei onnistu jos esimerkiksi putkirakenteessa on suljetut päät, koska silloin rakenteen sisälle ei voida asettaa filmiä tai säteilylähdettä. (Leino, 2006, s. 50)

Kuvauksen tarkkuus todetaan standardin ISO 1027 mukaisella lankaidikaattorilla (IQI), joka asetetaan standardissa esitettyjen ohjeiden mukaisesti kuvattavan kohteen säteilylähteen puoleiselle pinnalle. Kuvatarkkuus ja sen luokka saadaan selville näkyvän langan halkaisijan säteilyn lävistämän kokonaisainevahvuuden suhteen. Kuvausluokkien A ja B käyttö määrittyy kokonaisainepaksuuden mukaan joka määrittää näkyvän langan vähimmäishalkaisijan. Yleisemmin käytetty kuvaustekniikka on luokka A. Luokkaa B käytetään silloin kun luokan A kuvatarkkuus ei ole oletetusti riittävä. (Leino, 2006, s. 50)

6.4 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastus on yksi rikkomattomista aineenkoetuksista jota käytetään tutkittaessa ja määrittäessä kappaaleen mittoja ja sen sisältämiä epäjatkuvuuksia, joita ovat aineviat ja liitoskohdat. (Leino, 2006, s. 51)

Poikkeamien etäisyydet ja paikat saadaan selville lähettämällä korkeataajuisia ääntä tarkastettavan kappaleen pintaan pulsseina tai jatkuvana värähtelynä. Hyväksytyinä ultraäänitarkastustapoina käytetään esimerkiksi kaikumenetelmää, läpäisymenetelmää ja resonanssimenetelmää. Ultraäänitarkastuksen voi suorittaa kappaleen yhdeltä puolelta, mikäli tutkittavan kappaleen ainepaksuus on riittävän suuri, tai huolehditaan siitä, että kappaleen niinsanottu kuollut alue minimoituu. (Leino, 2006, s. 51)

Ultraääni saadaan aikaan kun pitsosähköisiin kiteisiin johdetaan sähkövirtaa, alkavat kiteet värähdellä nopeasti josta siirtyy mekaanista aaltoliikettä. Ultraäänitarkastuksen tulokset saadaan selville kuvaputkea, mittaria tai digitaalilaskinta käyttäen. (Leino, 2006, s. 51)

Tarkastuskohdan pinta täytyy puhdistaa tutkittavaan aineeseen saakka, jotta saadaan hyvä akustinen yhteys ilman että pintaan jääneet kiinteät kerrokset aiheuttavat virhenäyttöjä. Tarkastettavan pinnan täytyy olla sitä sileämpi mitä suurempaa taajuutta käytetään ja mitä pienempiä epäjatkuvuuksia halutaan saada selville. Luotaintyyppi valitaan luotaus suunnan, aineen laadun, kappaleen koon ja esikokeiden perusteella. Yleensä valitaan mahdollisimman

pieni taajuuksinen ja suuri kokoinen luotain, koska silloin materiaalin ääniaaltoja vaimentavat vaikutukset ovat pienimmillään, luotaimen ohjaaminen on helpompaa eikä yhteysvaikeuksia esiinny samalla tavalla kuin pienemmillä luotaimilla. (Leino, 2006, s. 51)

Kappaletta luodattaessa luotaussuunta asetetaan kohtisuoraan oletettua heijastuspintaan nähden. Testauselosteeseen kirjataan ylös tiedot luotausjärjestelmästä, tarkastusvälineistä säätöarvoineen sekä tarkastustulos, josta ilmenee vikojen sijainti, suuruus, lukumäärä, laatu ja niiden arvostelu. (Leino, 2006, s. 51)

Ultraäänitarkastusta käytetään enimmäkseen erilaisten tunkeumahitsien tarkastusmenetelmänä, esimerkiksi V- ja K-hitsityypin hitsausliitoksiin. Ultraääni ei kuitenkaan yleensä sovellu pienahitsien tarkastusmenetelmäksi sen kappaleiden liitoksiin jäävien rakojen vuoksi. Lisäksi pienahitsien pinnat eivät ole liitettyjen kappaleiden pintojen kanssa samansuuntaisia, joka myöskin tekee ultraäänitarkastuksesta niihin soveltumattoman tarkastusmenetelmän. (Leino, 2006, s. 51)

6.5 Magneettijauhetarkastus

Magneettijauhetarkastus soveltuu ferromagneettisten aineiden pintaan asti avoimien tai pinnan läheisyydessä sijaitsevien virheiden kuten halkeamien, ylivalssautumien, taontapojen, huokosten sekä kuonasulkeumien havainnointiin.

Magneettijauhetarkastuksella voidaan myös saada selville muita rakenteesta tai aineesta johtuvia epäjatkuvuuskohtia jotka eivät ole luonteeltaan vikoja. (Leino, 2006, s. 52)

Magneettijauhetarkastuksessa tarkastettava kappale magnetisoidaan jonka jälkeen sen pinnalle levitetään magneettijauhetta. Kappaleen viat ja epäjatkuvuuskohdat aiheuttavat häiriökohtia magneetikenttään ja täten keräävät jauhetta näihin kohtiin. Kerääntyneiden jauhekeskittymien perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä kappaleen epäjatkuvuuskohdista. (Leino, 2006, s. 52)

Koostumukseltaan magneettijauhe on hieno- ja tasajakoista, ferromagneettista jauhetta, jota voidaan käyttää nesteeseen sekoitettuna tai kuivana. Jauhetyypit voidaan vielä erotella kahteen ryhmään: tavallisessa valossa erottuviin ja ultravioletivalossa erottuviin.

Tavallisessa valossa erottuvia kutsutaan värillisiksi tekniikoiksi, kun taas ultraviolettivalossa erottuvia kutsutaan puolestaan fluoresoiviksi tekniikoiksi. (Leino, 2006, s. 53)

Värillisten tekniikoiden tarkastuksessa tarkastelu tehdään päivänvalossa tai keinotekoisien valkoisen valon avulla. Keinotekoisia valonlähteitä käytettäessä värilämpötila ei saa alittaa 2500 K. Standardin ISO 3059: n mukainen suositeltu värilämpötila on yli 3300 K. Parhaat valo-olosuhteet aikaan saadaan kun ympärillä on jonkun verran taustavaloa. Käytettäessä keinotekoisia valonlähteitä, eivät ne välttämättä heti saavuta vakiotiolaansa ja niiden pitää antaa tasaantua ennen käyttöä. Valon voimakkuus saattaa vaihdella esimerkiksi valonlähteen vanhenemisen tai heijastinosan rappeutumisen vuoksi. (Leino, 2006, s. 53)

Fluoresoivia tekniikoita käytettäessä tarkastus tehdään käyttäen UVA-säteilyä.

Tarkastusprosessissa on tärkeää minimoida valon pääseminen työkohteeseen sekä välttää suoraan tai epäsuoraan tarkastajan silmiin kohdistuvaa valoa. (Leino, 2006, s. 53)

Tarkastusmenetelmä soveltuu hitsatuille, valssatuille ja taotuille pinnoille, hiekkapuhalletuille tai karkeahiotuille valukappaleille sekä työstetyille pinnoille. Tarkastus ei sovellu kaikille kierteille, karkeille valupinnoille tai rouhintatyöstetyille pinnoille. Mikäli kappaleelle tehdään myös ultraäänitarkastus, on suositeltavaa tehdä magneettitarkastus ensin. (Leino, 2006, s. 53)

Tarkastusselosteessa tulee olla esitettyinä lähtötiedot, tiedot kappaleesta, tarkastusvälineistä sekä tarkastustulos, josta selviää vikojen sijainti, suuruus, lukumäärä ja laatu sekä niiden arvostelu. (Leino, 2006, s. 53)

6.6 Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastus on ainetta rikkomaton koetusmenetelmä, jota voidaan käyttää pintaan asti avoimien vikojen, esimerkiksi halkeamien, ylivalssautumisen, huokosten, kerrostumien, liitosvikojen ja vastaavien epäjatkuvuuksien havainnointiin kappaleissa, jotka eivät luonnostaan ole huokoista materiaalia. (Leino, 2006, s. 54)

Tarkastus tehdään siten että, kappaleen pinta puhdistetaan epäpuhtauksista esimerkiksi mekaanisesti teräsharjalla ja liuottimella jonka jälkeen pinnalle levitetään tasainen kerros tunkeumanestettä, joka tunkeutuu kapilaarivoiman johdosta halkeamiin. Nesteen saatua aikaa tunkeutua noin 15 minuuttia epäjatkuvuuskohtiin, pestään ylimääräinen neste pois ja pinnalle levitetään kehite, johon imeytyy ja leviää osa virhekohtaan jääneestä tunkeumanesteestä. Kehitteeseen imeytyneen tunkeumanestenäyttämän sijainnin ja muodon perusteella voidaan havaita lineaariset ja epälineaariset näyttämät, jotka merkitään tarkastusselosteeseen. (Leino, 2006, s. 54)

Tarkastusmenetelmää voidaan käyttää pinnoittamattomille ja puhtaille hitseille, valssatuille ja taotuille pinnoille, hiekkapuhalletuille tai karkeahiotuille valukappaleille sekä työstetyille pinnoille. Tarkastettavan kappaleen täytyy olla puhdas ja kuiva. (Leino, 2006, s. 54)

Tarkastuselostuksessa tulee olla esitettynä tiedot tarkastettavasta kappaleesta, kuten nimi, merkinnät, tunnusnumero, materiaali, valmistusvaihe, pinnan laatu ja tarkastettavat alueet. Myöskin esitettynä täytyy olla tiedot tarkastusvälineistä ja menetelmistä, sekä tarkastustulos, kuten vikojen sijainti, suuruus, laatu ja lukumäärä sekä niiden arviointi. (Leino, 2006, s. 54)

7 MENETELMÄKOKEET

7.1 Koekappale

Tuotantohitsauksia edustaville liitosmuodoille voidaan tehdä tarpeen tullen joko yksi tai usempia standardikoekappaleita. Esimerkiksi iskukokeita vaadittaessa hitsauksen muutosvyöhykkeeltä (HAZ) kirjataan tuotestandardin vaatiessa levyn valssaussuunta joka mainitaan iskukoepöytäkirjassa. Koekappaleiden mitat, määrä ja muoto on määritelty tapauskohtaisesti standardissa ISO 15614-1. Jotta kokeet voidaan vaaditusti suorittaa, on mittojen ja kappaleiden määrän oltava riittävät testauksen suorittamiseen. (SFS 15614-1/2017, s. 9)

Koekappaleen irrotuksessa on vältettävä kappaleen ominaisuuksien muuttumista. Kappale on irroitettava siten, että sen lämpötila pysyy vakiona. Tärkeää on myös vältellä

muokkauslujittumista. Yleensä koesauvat irroitetaan hitsatusta kappaleesta hitsin pituusakselin suuntaisesti, mutta voidaan ottaa tarvittaessa myös hitsiin nähden muistakin suunnista. Koekappaleen tulisi sisältää hitsin molemmilla puolilla olevat muutosvyöhykkeet. (SFS 17639/2013, s. 12)

Koekappaleet irroitetaan hitsausliitoksesta sahaamalla irti standardin määrittelemistä kohdista. Ainevahvuuden ja halkaisijan koekappaleissa tulisi olla samat sekä levyiltä että putkilta vaaditulta hitsauspituudelta. Tämä ei kuitenkaan päde haaraliitoksissa tai T-liitoksissa. Irroituksessa on kuitenkin tärkeitä huomioida NDT-menetelmällä havaitut hyväksytyt hitsausvirheet ja välttää koekappaleen irroitusta näistä kohdista. Tämän jälkeen makro- tai mikrohietutkimusta varten irroitettavat kappaleet voidaan viimeisteillä tarkoituksenmukaisesti leikkaamalla, kiinnittämällä, hiomalla ja/tai kiillottamalla ja/tai syövyttämällä. Viimeistelymenetelmät eivät kuitenkaan saa vaikuttaa haitallisesti tutkittavaan pintaa. (SFS 17639/2013, s. 12)

7.2 Charpyn iskukoe

Charpyn iskukoe tehdään murtamalla lovettu koesauva yhdellä iskulla keskelle koekappaletta. Koesauvaan tehdään V- tai U-lovi määritetyn geometrian mukaisesti ja se sijaitsee kannattimien puolivälissä, vastakkaisella puolella iskettävää kohtaa. Yleensä iskukokeessa määritetään sitoutunut energia, poikittainen laajenema ja sitkeän murtuman osuus. Iskuenergian arvot vaihtelevat useissa eri metallisissa materiaaleissa lämpötilan mukaan, on koe tehtävä määritellyssä lämpötilassa. Useinmiten iskukoe tehdään kuitenkin huoneenlämpötilassa. Muussa tapauksessa on koekappaleet esilämmitettävä tai jäädytettävä tarvittavaan lämpötilaan. Charpyn iskukoe soveltuu hyvin teollisuudessa käytettäväksi rutiinihyväksymiskokeeksi sen lyhyen ajankeston vuoksi. Koetusmenetelmässä ei ole tärkeintä murto- tai koesauva täysin, osittain vai tapahtuuko siinä plastista muovautumista ja tukien välistä iskeytymistä. (SFS 148-1/2016, s. 8-12)

Kaikki iskukoetulokset eivät ole suoraan verrannollisia toisiinsa nähden, koska esimerkiksi iskuriin kiinnitettävän heilurin pyörästysäde saattaa vaihdella tai koesauvan loven geometriat saattavat poiketa toisistaan antaen erilaisia mittaustuloksia koekappaleista. Tämän takia onkin syytä noudattaa järjestelmällisesti standardin ISO 148-mukaisia ohjeistuksia. Lisäksi

myös selkeät ja täydelliset koelaitteiden ja koesauvojen sekä iskettyjä koesauvoja koskevien yksityiskohtien raportoinnit ovatkin oleellisia tulosten vertailua ajatellen. (SFS 148-1/2016, s. 8-12)

Iskukokeessa vakio pituus koesauvalle on 55 mm ja poikkipinta on neliön muotoinen jonka sivut ovat 10 mm. Pituuden puoliväliin lovetaan joko V-lovi jonka kulman on oltava 45°, syvyyden 2 mm ja loven pohjan pyöristyssäde 0,25 mm tai vaihtoehtoisesti U-lovi jonka syvyys on 5 mm ja pohjan pyöristyssäde 1 mm normaalitapauksessa. Loven pohjan pyöristyssäteeseen ei saa jäädä valmistuksesta aiheutuvia työstöjälkiä, koska ne saattavat vaikuttaa sitoutuneeseen energiaan. (SFS 148-1/2016, s. 8-12)

Iskurin teräosassa tulee olla määriteltynä 2 mm tai 8 mm pyöristyssäde. Saadut testaustulokset yleensä vaihtelevat käytetyn pyöristyssäteen mukaan. Kokeen jälkeistä testausselostetta laatiessa on suositeltavaa kirjata teräosan pyöristyssäde alaindeksinä kuten: KV_2 tai KV_8 ja KU_2 tai KU_8 . (SFS 148-1/2016, s. 8-12)

Toisinaan materiaalin hyväksymiskokeen koesauvat eivät aina murru kahteen osaan jolloin testauselosteeseen ei tarvitse kirjata epätäydellistä murtumaa koskevia tietoja. Muissa tapauksissa on syytä kirjata kokeen epätäydellisen murtuman tiedot. Jos taas koesauva puolestaan juuttuu iskun voimasta kiinni testauslaitteeseen, on tulokset hylättävä ja laite tarkastettava mahdollisten vaurioiden osalta, jotka voivat vaikuttaa kalibrointiin. (SFS 148-1/2016, s. 8-12)

Materiaalin kyky vastustaa murtumaa kolmiaksisiaalisessa jännitystilassa, kuten V-koesauvan loven pohjalla, ilmenee materiaalin muodonmuutoksena tässä kohtaa. Tässä tapauksessa muodonmuutos on kutistuma. Yleensä mitataan koekappaleen laajenema, joka esiintyy murtopinnan vastakkaisella puolella, koska muodonmuutosta on vaikea mitata iskun aiheuttaman murtuman jälkeen. Tästä syystä käytetään mittauksessa murtopinnan laajenemaa kutistuman sijaan. (SFS 148-1/2016, s. 8-12)

Poikittaisen laajeneman mittauksessa on otettava huomioon, että murtopinta harvemmin leikkaa suurimman laajeneman kohdan molemmilta puolilta koesauvaa. Katkaistun koesauvan toinen puolikas saattaa sisältää suurimman laajeneman molemmissa puolikkaissa, toisessa puolikkaassa tai ei kummassakaan puolikkaassa. Käytettävän tekniikan

tuloksena olisi saatava laajeneman arvo, joka on molemmilta puolilta mitattujen kahden suurimman arvon summa, molemmat puolikkaat erikseen mitattuina. (SFS 148-1/2016, s. 8-12)

7.3 Vickersin kovuuskoe

Vickersin kovuuskoemenetelmässä painetaan pyramidin muotoista timanttikärkeä tietyllä voimalla koestettavan kappaleen pintaan ja mitataan syntyneen nelikulmaisen painauman lävistäjät. Tuloksena saatu kovuusluku on kuormituksen ja painauman pinta-alan lukuarvojen välinen suhde. Painuman oletetaan olevan neliöpohjaisen säännöllisen pyramidin muotoinen jonka kärkikulma on sama kuin paininkärjellä. Koestettavan pinnan tulee olla sileä ja tasainen, puhdas oksidihilseestä sekä voitelu aineista, ellei tuotestandardissa toisin määritellä. Mitattavan kappaleen pinnan laatu on oltava riittävä painuman lävistäjien tarkkaan määrittämiseen. Pinnan esivalmistelussa on pyrittävä välttämään pinnan vaurioitumista ja ettei kappaleen pintakovuus muutu esimerkiksi liiallisen kuumenemisen tai kylmämuokkauksen johdosta. Painuman pienestä koosta johtuen on erityisen tärkeää valmistella pinta huolellisesti Vickersin kovuuskoetta varten. Suositeltavaa on käyttää materiaalille sopivinta kiillotusmenetelmää. Koekappaleen paksuuden tai testattavan pintakerroksen paksuuden tulee olla vähintään 1,5-kertainen painuman lävistäjään nähden. Kokeen jälkeen kappaleen vastakkaisella pinnalla ei saa näkyä muodonmuutoksia. (SFS, 2018, s. 7-9)

Tavallisimmin kovuuskoe suoritetaan lämpötilan ollessa 10 – 30°C. Koekappale tulee asettaa jäykälle alustalle. Tukipintojen on oltava puhtaat, eikä niillä saa olla vieraita aineita kuten oksidihilsettä, öljyä tai likaa. Koekappaleen tulee olla kiinnitettynä mahdollisimman tukevasti, jotta se ei pääse liikkumaan kokeen aikana vaikuttaen tulokseen. Paininkärki asetetaan pinnalle ja painetaan ilman sysäyksiä, tärinää tai ylikuormitusta kohtisuoraan pintaan vasten, kunnes saavutetaan vaadittu koevoima. Vaadittu koevoima tulisi saavuttaa 2 - 8: n sekunnin välisenä aikana. (SFS 6507-1/2018, s. 10-11)

Vierekkäisten painumien keskipisteen etäisyys koekappaleen reunasta tulee olla teräksillä, kuparilla ja kupariseoksilla vähintään 2,5 painuman lävistäjien keskiarvo. Vierekkäisillä painumilla keskipisteiden välinen etäisyys teräksillä, kuparilla ja kupariseoksilla tulee

puolestaan olla vähintään kolme kertaa painuman lävistäjän keskiarvo. Vierekkäisten painumien ollessa erikokoisia on niiden vähimmäisetäisyys määritettävä suuremman painuman perusteella. (SFS 6507-1/2018, s. 11)

Kovuusmittausarvo lasketaan mittausjäljen diagonaaleista ja käytetystä voimasta. Laskennassa F on kokeessa käytetty voima ja d on diagonaalien pituuksien laskettu keskiarvo. Käytettävän voiman suuruus riippuu mitattavasta materiaalista. Vickers -kovuudet soveltuvat sekä koville että pehmeille materiaaleille. Testaustulos on riippumaton kuormitusvoimasta, kunhan käytetty voima ylittää 30N. Geometrisesti painuman jälki on sama riippumatta painuman koosta. Painuma on pienempi kuin esimerkiksi Brinellin kokeessa, eikä siten vahingoita kappaletta. Kovuusmittauksia voi suorittaa myös ohuille kappaleille. Mahdollista on myöskin käyttää alle kilogramman painoja. Käytettäessä hyvin pieniä painoja voidaan mitata niinsanottuja mikrokovuuksia. (Tut, n.d.)

8 TYÖN SUORITTAMINEN

8.1 Hitsausnäytteet

Ensinmäisenä työn suorittamisen vaiheena on laatia perusaineelle alustava hitsausohje pWPS, joka tässä työssä oli jo valmiiksi annettu halutuille hitsausnäytteille. Hitsauksen lisäaineina on neljä erilaista variaatiota kahdesta erilaisesta hitsauksen suojakaasusta ja kahdesta erilaisesta lisäainelangasta. Vaihtoehtoina olivat suojakaasuista hiilidioksidi CO_2 ja Mison 18 -seoskaasu jonka koostumus on 82 % argonia ja 18 % hiilidioksidia. Lisäainelankoina puolestaan käytetään kauppanimiltään 136 OK Autrod 15.00 ja 136 Outershield T55-H -lankoja. Hitsattavana perusmateriaalina on teräs S355J2G3 ainevahvuudeltaan 16 mm jonka liistosmuotoina monipalkoinen V-hitsi jossa railokulma on 60° ja palkojen määrä kahdeksan sekä yksipalkopienahitsi. Näytekappaleita on yhteensä kahdeksan joista neljä kappaletta ovat V-hitsejä ja neljä kappaletta pienahitsejä. Kaikki näytekappaleet ovat hitsattu käsin ilman mekanisoituja avustimia. Silmämääräisellä tarkastuksella koekappaleista on päällisin puolin vaikea havaita eroavaisuuksia muualta kuin V-hitsin läpipaloista, koska kaikista näytekappaleista oli hitsausroiskeet poistettu jo valmiiksi ennen näytekappaleiden luovutusta joten niiden osalta analysointia on tässä tapauksessa lähes mahdotonta tehdä.

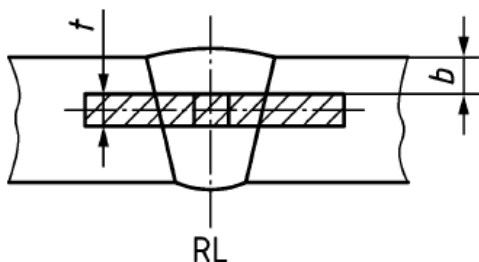
8.2 Koesauvojen valmistus Charpyn iskukokeeseen

Iskukoesauvojen valmistus aloitettiin jyrsimällä V-hitsien näytekappaleiden päällipinnasta ensin pois 2 mm ja loput ylimääräinen materiaali poistettiin kappaleiden alapinnasta jotta saadaan saavutettua haluttu standardin SFS-EN ISO 148-1 -mukainen 10 mm ainepaksuus. Tämän jälkeen näytekappaleista irroitetaan kahdeksan kappaletta 13 millimetrin paksuisia poikittaissuuntaisia siivuja joissa on 3 mm työstövaraa. Työstövarat myös koneistetaan molemmin puolin jotta saadaan halutunlainen 10 x 10 -vakiokoesauva aikaiseksi.

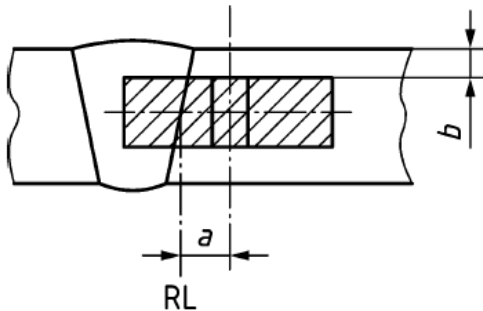
Vakiokoesauvalle on edellä mainitussa standardissa myös määritetty pituusmitta 55 mm sekä standardissa SFS-EN ISO 9016 paikka hitsiin nähden, riippuen mistä kohtaan iskusitkeyttä halutaan tutkia. Tässä työssä tutkitaan kohtia VWT0/2 (Kuva 5) joka on keskeltä hitsaussaumaa sekä kohtaa VHT2/2 (Kuva 6) joka on puolestaan 2 mm hitsin sularajasta sivusuuntaan.

Ennen Charpyn iskusitkeyskoetta määrämittaisen vakiokoesauvan keskelle täytyy vielä koneistaa 2 mm syvä 45° :n V-lovi jonka pohjapyöristyssäde on 0,25 mm. Lovi koneistetaan hitsin sivuprofiilin suuntasesta pinnasta.

Kuva 5. VWT 0/b (SFS 9016/2016, s. 11)



Kuva 6. VHT a/b (SFS 9016/2016, s. 11)



8.3 Iskukokeen tulokset

Kokeiden tekeminen osoittautui hieman luultua haasteellisemmaksi Hamkin työsalista löytyvän vuodelta 1964 peräisin olevan iskukoevasaran vuoksi. Jonkin verran ongelmia aiheuttivat saatujen tulosten yksiköt jotka olivat kilopondimetreinä joulejen sijasta, laitteiston epätarkkuus sekä koesauvan loven keskittäjän paikoitus joka teki sillä keskittämisen mahdottomaksi. Ratkaisuna näihin ongelmiin joutui tyytymään jokaisen koesauvan keskitykseen työntömitalla ja vähentämällä jokaisesta saadusta tuloksesta arvioidun epätarkkuuden joka oli 3 kilopondimetriä sekä laskemaan yksikkömuunnokset jokaisesta saadusta tuloksesta.

Iskukokeen tuloksista (Kuva 7) voidaan havaita kuinka Lisäainelanka 136 Outersshield T55-H ja suojakaasu Mison 18 antaa heikomman iskusitkeyden muutosvyöhykkeen läheisyydestä. Puolestaan kun tarkastellaan muutosvyöhykkeen kohtaa jossa suojakaasuna on käytetty hiilidioksidia ja lankana 136 OK Autrod 15.00: aa voidaan havaita selkeä paremmuus iskusitkeydessä tämän kokeen perusteella.

Itse lisäaineen keskeltä otettu näyte osoittaa kuinka Mison 18/15.00: n yhdistelmä antaa parhaan iskusitkeyden kun taas haurain aines olisi CO₂/T55-H: n yhdistelmä. Monissa rasiuksen alaisuudessa olevien hitsausliitosten vaurioissa on usemmiten havaittavissa murtumat juurikin muutosvyöhykkeen tuntumasta itse hitsisauman sijasta.

Korjaustoimenpiteitä ja niiden kustannuksia ajatellen olisikin optimaallisin tilanne vaurioiden

sattuessa niiden sijoittuminen ainoastaan hitsiaineeseen perusaineen sijasta. Tällöin voitaisiin välttää ylimääräisen hitsiaineen lisääminen korjaustoimenpiteissä joka saattaa pahimmillaan tehdä muutoksia perusaineen materiaaliominaisuuksille ja täten aiheuttaa lisää rasisurmurtumia hitsatussa rakenteessa. Tähän mennessä kokeista saatujen tulosten perusteella CO₂/15.00 -yhdistelmä olisi sopivin valinta iskukitkeyttä ja vaurioiden korjattavuutta ajatellen.

Kuva 7. Charpyn iskukokeen tulokset

Iskukoe				Potentiaalienergia 30 [kpm] = 294,2 [J]				
Nimike	Loven sijainti	Sauvan tyyppi	Koelämpötila [C°]	Iskutyö [J]				Keskiarvo [J]
Mison 18 T55-H	VWT0/2	KV2 10x10	20	128	136	176	165	151
Mison 18 15.00	VWT0/2	KV2 10x10	20	195	155	186	181	179
CO2 15.00	VWT0/2	KV2 10x10	20	170	154	156	165	161
CO2 T55-H	VWT0/2	KV2 10x10	20	146	137	140	152	144
Mison 18 T55-H	VHT2/2	KV2 10x10	20	72	76	78	72	75
Mison 18 15.00	VHT2/2	KV2 10x10	20	111	89	124	82	102
CO2 15.00	VHT2/2	KV2 10x10	20	136	176	151	172	159
CO2 T55-H	VHT2/2	KV2 10x10	20	72	118	77	77	86

8.4 Näytteiden valmistaminen makrohietutkimukseen

Yksipalkopienahitsien T-liitoksia tutkiessa työn ensimmäisenä vaiheena oli irroittaa ilman materiaalin lämpötilamuutoksia sopivan kokoiset näytekappaleet hitsatuista levyistä kiillotusta varten. Näytteiden kiinnittäminen tukevasti ei kuitenkaan onnistunut kiillotuskoneen kiinnikkeisiin niiden muotonsa vuoksi, joten kaikki neljä näytettä täytyi valaa epoksiin. Valaminen tapahtui asettamalla tutkittava pinta alaspäin valuastian pohjalle jonka jälkeen kaadetaan sekoitettu epoksi kovetteineen päälle ja annetaan kuivua. Vaihtoehtona pinnan kiillotukselle olisi muutoin ollut ainoastaan käsinkiillotus joka olisi vienyt huomattavan paljon enemmän aikaa kuin koneellinen kiillotus, eikä kappaleiden pinnoistakaan olisi varmuudella saanut täysin suoria.

Näytevalukappaleiden oltua kovettuneita, täytyy näytteet hioa ja kiillottaa jotta niistä saadaan selkeitä tuloksia ja makrohiekuvat. Hionta ja kiillotus tehtiin Hamkin tiloissa Riihimäen kampuksella olevalla Struers Laboforce-100 -mallisella kiillotuskoneella Hamk tech: n labrahenkilökunnan (Eetu Kivirasi) ohjeistuksella.

Hionta ja kiillotus tapahtui neljä vaiheisella kiillotuslaitteen ohjelmalla jonka käyttöarvot (Kuva 8) löytyvät laitteen käyttöohjeesta sekä laitevalmistajan verkkosivuilta.

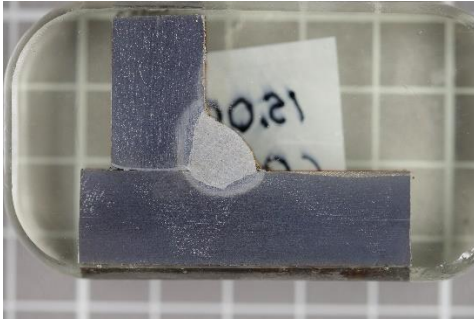
Kuva 8. Hionnan ja kiillotuksen käyttöarvot (Struers, n.d.)

Carbon and low alloy steel welds				
Step	PG	FG	DP 1	DP 2
Surface	MD-Piano 220	MD-Allegro	MD-Plus	MD-Nap
Abra- sive	Type			
	Size			
Suspension / Lubricant	Water	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Plus 3	DiaPro NapB 1
Rrpm	300	150	150	150
Force (N)/ specimen	150	210	180	150
Time	1 min.	4 min.	4 min.	1 min.

8.5 Makrohietutkimus

Jotta näytekappaleista voidaan saada selville miten eri hitsauslisäaineet ja suojakaasut vaikuttavat yksipalkopienahitsin tunkeumaan ja muutosvyöhykkeeseen T-liitoksessa, täytyy kiillotettujen näytteiden pinta vielä syövyttää hitsin rajojen erottamisen vuoksi. Tässä tapauksessa syövyttäminen tapahtui upottamalla kappaleen pinta astiassa joka sisälsi Nital -happoa jonka käyttö on erityisesti tarkoitettu hiiliterästen mikrorakenteen paljastamiseen. Sauman muodon ja muutosvyöhykkeen erotuttua selkeästi syövytyksen jälkeen voidaan näytteistä ottaa mikro- ja makrohiekuvat (Kuvat 9 – 16).

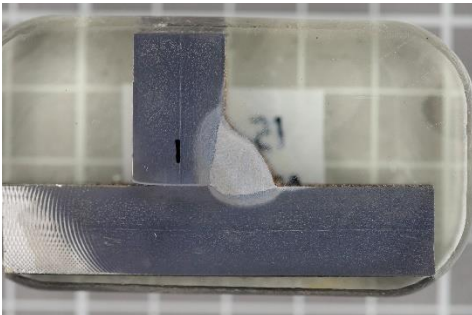
Kuva 9. Makrohie 15.00/ CO₂



Kuva 10. Makrohie 15.00/ CO₂



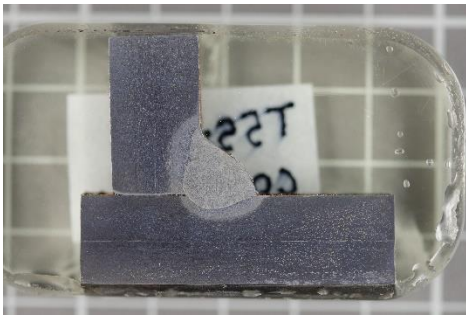
Kuva 11. Makrohie 15.00/Mison 18



Kuva 12. Makrohie 15.00/Mison 18



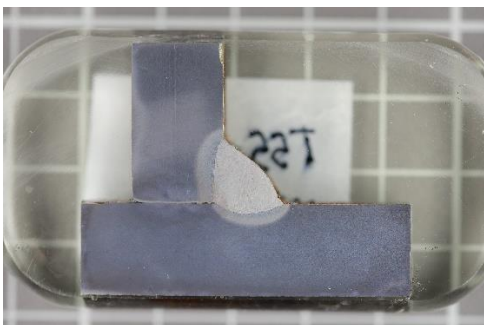
Kuva 13. Makrohie T55-H/ CO₂



Kuva 14. Makrohie T55-H/ CO₂



Kuva 15. Makrohie T55-H/Mison 18



Kuva 16. Makrohie T55-H/Mison 18



8.6 Näytteiden vertailu

Tarkastellessa edellä olevia makrohiekuvia voidaan selkeimmin havaita eroavaisuuksia Mison 18 ja CO₂ suojakaasujen välillä. Tunkeuman syvyyksiä kun vertailee, on silmin nähden selkeästi CO₂ syvemmän hitsin tunkeuman aiheuttava suojakaasu verrattuna Mison 18 suojakaasuun. Mison 18 suojakaasun edut vaikuttaisikin olevan tähän mennessä tutkitun perusteella työympäristön ja tuottavuuden parantamisessa ainoastaan.

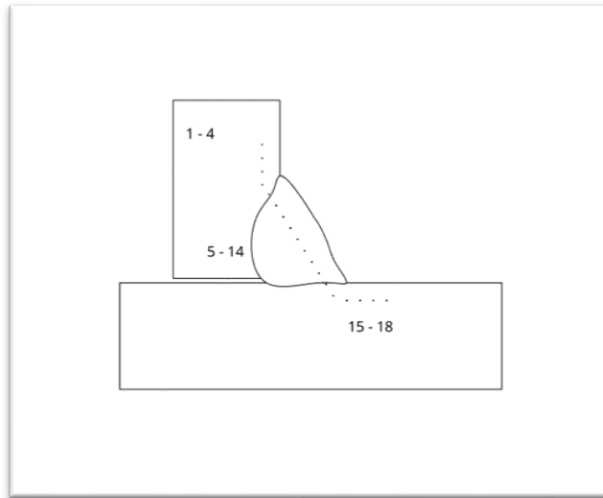
Lisäainelankojen vaikutuksia hitsaussauman tunkeumaan pelkästään makrohiekuvia katsomalla ei ole edellä olevista kuvista havaittavissa. Niiden syvempi tarkastelu ja toisiinsa vertailu vaatisi kappaleen pintaa tarkemmin tutkivaa mikrohietutkimusta jonka tarkempi analysointi rajattu tämän työn ulkopuolelle.

8.7 Kovuuden mittaus hitsiaineesta ja muutosvuöhykkeeltä

Jotta tutkimus ei jäisi puolitiehen, täytyy tehdyistä hienäytteistä selvittää vielä niiden kovuudet hitsiaineesta ja sen ympäristöstä. Näiden selvittämiseen on käytetty Vickersin kovuuskoetta jossa painetaan pyramidin muotoisella timanttikärjellä tutkittavaan pintaan. Tämänkin tutkimiseen käytössä oli ainoastaan vanhoja laitteita ilman minkäänlaista mitta-asteikolla varustettua säätöpöytää, joten painaumien paikoitukset joutui arvioimaan silmämääräisesti.

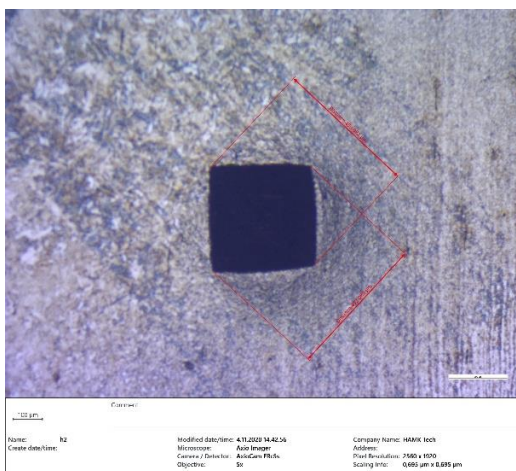
Jokaiseen näytteeseen on painettu 18 painauma josta ensimmäiset neljä ovat ylhäältä katsoen hitsiainetta kohti, seuraavat 10 hitsiaineesta sekä sen muutosvyökkeeltä ja loput neljä hitsiaineesta oikealle perusaineeseen (Kuva 17).

Kuva 17. Havainnekuva painumien paikoituksesta



Vickersin kovuuskokeessa paininkärjen jättämien neliön muotoisten jälkien lävistäjät mitataan molemmin puolin ja lasketaan näiden keskiarvo. Mittaamisessa käytettiin Axioskop 2 -mallista mikroskooppia 20 kertaisella suurennoksella johon liitetyn kameran avulla sai livekuvan näkymään suoraan ZEN core v3.0 mittausohjelmassa (Kuva 18). Ohjelman mittatyökalulla sai aikaiseksi tarkat mitoitukset ja kuvat painumista joiden tuloksista saadaan laskettua Vickersin kovuudet sen laskukaavalla (Kuva 19).

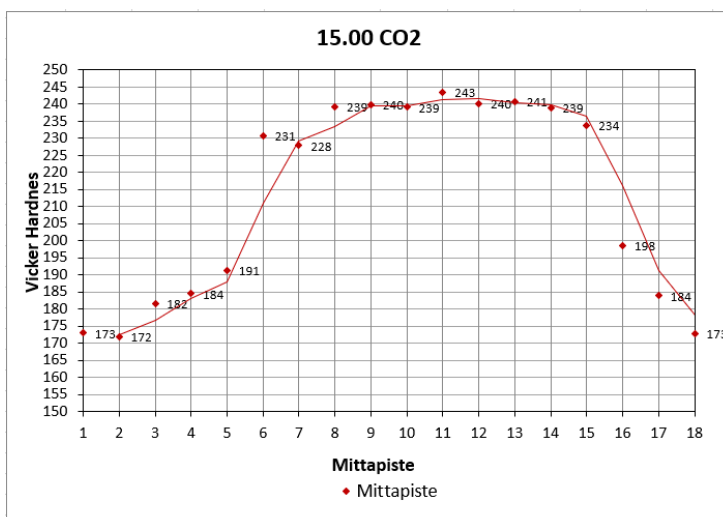
Kuva 18. 15.00/ CO₂ painuma kohdasta 6



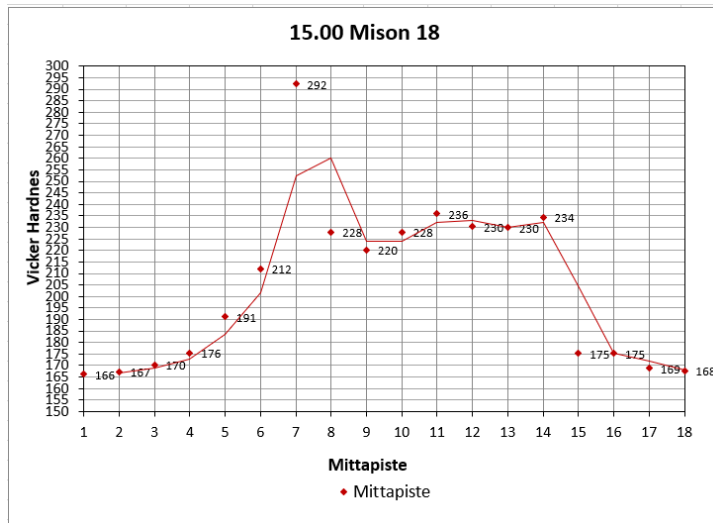
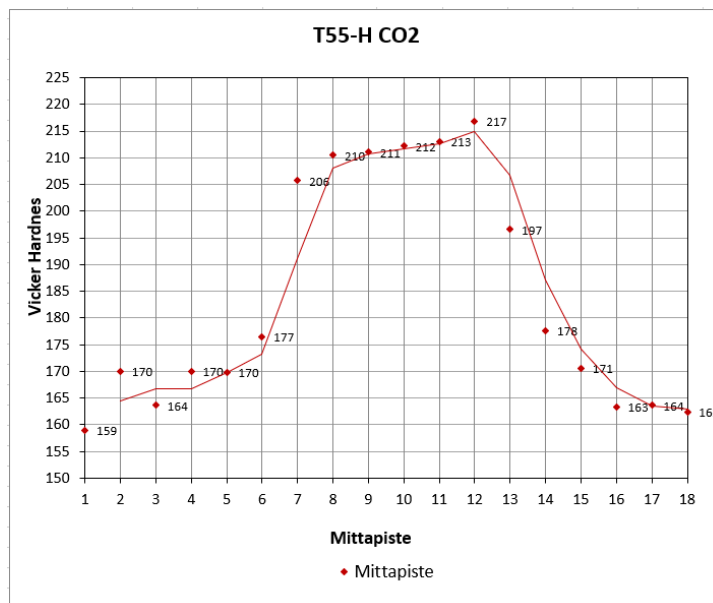
Kuva 19. Vickersin kovuuden laskukaava (SFS 6507-1/2018, s. 8)

Tunnus	Käsite
α	Paininkärjen vastakkaisten sivutahkojen välisen kulman keskiarvo (nimellinen kulma 136°) (ks. kuva 1)
F	Koevoima newtoneina (N)
d	Lävistäjien $d1$ ja $d2$ aritmeettinen keskiarvo (ks. kuva 1) millimetreinä
HV	$\text{Vickersin kovuus} = \frac{\text{Koevoima (kgf)}}{\text{Painuman pinta-ala (mm}^2\text{)}}$ $= \frac{1}{g_n} \times \frac{\text{Koevoima (N)}}{\text{Painuman pinta-ala (mm}^2\text{)}}$ $= \frac{1}{g_n} \times \frac{F}{d^2 \cdot \left(2 \sin \frac{\alpha}{2}\right)^2} = \frac{1}{g_n} \times \frac{2 F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2}$ <p>Nimelliskulmalla $\alpha = 136^\circ$,</p> $\text{Vickersin kovuus} \approx 0,1891 \times \frac{F}{d^2}$
HUOM. 1 Painovoimasta johtuva kiihtyvyyys $g_n = 9,806\ 65\ \text{m/s}^2$, joka on muunnoskerroin yksiköstä kgf yksikköön N	
Epävarmuuden pienentämiseksi Vickersin kovuus voidaan laskea paininkärjen mitattujen kulmien keskiarvolla α .	

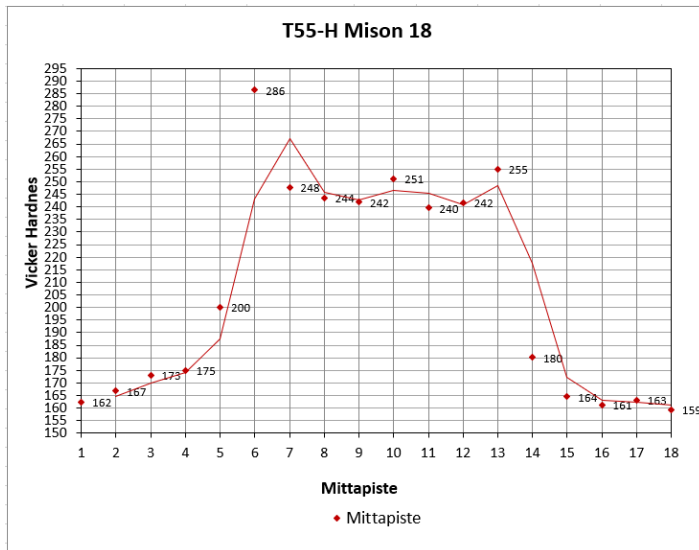
Alla olevista kovuuksien profiileista voidaan nähdä hiilidioksidin aiheuttama tasalaatuisuus perusaineesta hitsiin ja takaisin perusaineeseen. Puolestaan Mison 18 aiheuttaa selkeästi havaittavissa olevan kovuuspiikin muutosvyöhykkeen tuntumassa. Tarkemmin tutkiessa mikroskoopilla näitä kohtia vaikuttaisikin Mison 18 muodostavan Widmanstättenin ferriittiä (Kuva 24) näissä kohdin.

Kuva 20. Kovuuden profiili 15.00/ CO₂

Kuva 21. Kovuuden profiili 15.00/Mison 18

Kuva 22. Kovuuden profiili T55-H/ CO₂

Kuva 23. Kovuuden profiili T55-H/Mison 18



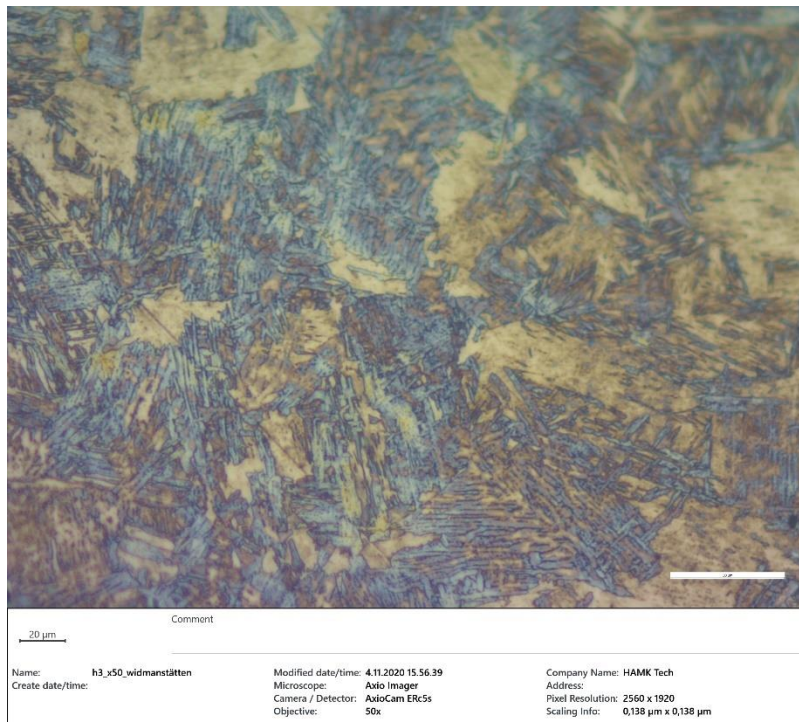
8.8 Austeniitin hajaantuminen hitsausliitoksessa

Erytyspiirteenä hiiliteräkselle on sen austeniittisen rakenteen hajaantuminen lämpötilan laskiessa 850°C :n alapuolelle. Riippuen lisäaineen seostuksesta ja jäähtymisnopeudesta, on hitsisäineen mikrorakenteessa ferriittiä, perliittiä, bainiittiä ja/tai martensiittiä. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 74)

Hitsiaineen jähmetyttyä alle 850°C :n alapuolelle alkaa austeniitin hajaantuminen ferriitin ydintymisellä raerajoille, josta se kasvaa Widmanstättenin mekanismilla kohti rakeiden keskustaa. Johtuen ferriittikiteen muodosta, suuri osa hiilestä pääsee pakenemaan kasvavien kiteiden sivuille niin, että kiteiden kärki kohtaa uutta austeniittia. Tavallisilla hitsikoostumuksilla Widmanstättenin ferriitti muodostuu sekunnin murto-osissa johtuen sen suuresta kasvunopeudesta. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 75)

Lämpötilan laskiessa edelleen muodostuu asikulaarista ferriittiä. Tämä ferriitti muodostaa uusia ytimiä kasvavan ferriitin eteen. Jähmettymisen yhteydessä asikulaariset ferriittikiteet ydintyvät useinmiten oksidisiin sulkeumiin. Hitsausliitoksien mikrorakenteissa tämä ferriitti parantaa liitoksen sitkeyttä ja täten estää sen lukitsevan luonteen ja hienon raekoon ansiosta halkeamien syntymistä. (Kyröläinen & Kauppi, 2016, s. 75)

Kuva 24. 15.00/Mison 18 muodostunutta Widmanstättenin ferriittiä



9 JOHTOPÄÄTÖKSET

9.1 Yhteenveto

Tavoitteena tässä opinnäytetyössä oli selvittää suojakaasun vaikutuksia hitsisauman iskutheyteen, tunkeumaan ja kovuuteen sekä tutustua lähemmin ainetta rikkovien koestusmenetelmien tekemiseen käytännön tasolla. Lisäksi työn hyötyjä olivat tietoisuus vertailtavien kohteiden paremmuusjärjestyksestä toisiinsa nähden lujuuden näkökulmasta.

Kokeiden tuloksia pystyi hieman arvioimaan ennakolta jo aiemmin laaditun hitsausohjeen sekä lähteenä käytetyn verkkomateriaalin perusteella. Tutkimuksen lopputuloksena voidaan tehdä makrohiekuvista havaita hiilidioksidin aiheuttama selkeästi parempi tunkeuma hitsipalossa. Lujuuden ja iskutheyden näkökulmasta voidaan puolestaan nähdä hiilidioksidin selkeää paremmuutta tässä työssä käytettyyn seoskaasun nähden. Edellä mainitut seikat osoittavat ettei hiilidioksidin käytöstä hitsauksen suojakaasuna raskaassa

konepajateollisuudessa olisi ainakaan toistaiseksi vielä syytä luopua vaikkakin sen haittapuolina ovat hitsauksesta aiheutuvat savut ja huurut.

Vastaavaa aihetta käsitteleviä tutkimuksia ei juurikaan löytynyt verkkojulkaisun muodossa muualta kuin kaasualmista AGA: n teoksesta jossa oli mainintaa hiilidioksidin tunkeumasta muutamalla sanalla. Koska kyseinen teos on kaupallisentoimijan itse kirjoittama, puuttui siitä olennainen kritiikki omaa tuotetta kohtaan joka puolestaan tämän opinnäytetyön tuloksia vertailemalla nousee esille.

Työn tekeminen itsessään sujui omiin oletusarvoihin nähden hyvin. Vaikka käytössä olikin vanhoja testauslaitteita, sai niistä kuitenkin tulokset esille selkeästi luettavaan muotoon. Suurimmaksi yllätykseksi osoittautui kuitenkin kuinka paljon aikaa vaativaa työtä jokaisen näytteen mittaus ja tulosten tulkinta on sekä kuinka hankalaksi tulosten analysointi osoittautui.

Kokonaisuudessaan opettavainen aihevalinta työnantajalta ja varmasti hyödyllinen mikäli aiheeseen liittyvää tulee vielä jokin päivä tehtyä tulevaisuudessa.

9.2 Jatkotutkimus

Aihetta voisi mahdollisesti vielä jatkaa huomattavasti pidemmälle esimerkiksi lisäämällä vertailukohdiksi pulssihitsauksella hitsatut näytteet sekä robotisoidut hitsausnäytteet joissa hitsisauma olisi aina tasalaatuista. Lisäksi näytekappaleista olisi mahdollista tehdä vetokoesauvat joita koestaa sekä tutkia kuinka eri hiiliteräsmateriaalit käyttäytyvät vastaavilla hitsauksen lisäaineilla. Myöskin tämän opinnäytetyön näytekappaleita olisi syytä mikrohietutkia tarkemmin sekä analysoida syvemmin hitsiaineen tekemiä muutoksia perusaineessa.

Lähteet

AGA. (n.d.). Suojakaasukäsikirja. Haettu 14.5.2020 osoitteesta

<http://viewer.webproof.com/pageflip/277/102221/files/M-Handbook-Protection-FI.pdf>

ESAB. (n.d.-a). Hitsausmenetelmät. Haettu 29.4.2020 osoitteesta

<https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/hitsausmenetelmat.cfm>

ESAB. (n.d.). Hitsauslisäaineet-kirja. Haettu 4.5.2020 osoitteesta

<https://assets.esab.com/asset-bank/action/viewAsset?id=12268&index=10&total=11&view=viewSearchItem&id=12268&index=10&total=11&view=viewSearchItem>

ESAB. (n.d.-c). Johdanto hitsaustarkastukseen. Haettu 15.5.2020 osoitteesta

<https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/an-ntroduction-to-welding-inspection.cfm>

Kemppi. (n.d.). Mitä hitsaus on. Haettu 29.04.2020 osoitteesta [https://www.kemppi.com/fi-](https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/mita-hitsaus-on/)

[FI/tuki/hitsausaapinen/mita-hitsaus-on/](https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/mita-hitsaus-on/)

Kyröläinen, A., Kauppi, T. (2016). Hitsauksen materiaalioppi. Osa 1. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.

Muhonen, J. (2011). Hitsausohjeet (WPS) ja niiden hyväksyntä. Hitsaustekniikka 6/11, ss. 26-28.

Leino, T. (2006). Staattisesti kuormitettujen hitsausliitosten suunnittelu. Opetusministeriö, Ympäristöministeriö, Teräsrakenneyhdistys RY, ss. 48-54. Haettu 27.5.2020 osoitteesta https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2006/HitsLiitSuunn_19-7-2006.pdf

SFS-EN ISO 9016:2016. (2016). Hitsien aineen rikkova koetus metalleille. Iskukoe. Koesauvan sijainti, loven suunta ja tarkistus. SFS Online.

SFS-EN ISO 17659:2004. (2004). Hitsaus. Hitsausliitosten monikielinen kuvallinen sanasto. SFS Online.

SFS-EN ISO 15614-1:2017. (2017). Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntä menetelmäkokeella. SFS Online.

SFS-EN ISO 17639:2013. (2013). Hitsien rikkova aineen koetus metalleille. SFS Online.

SFS-EN ISO 15607:2019. (2019). Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Yleisohjeet. SFS Online.

SFS-EN ISO 148-1:2016. (2016). Metallien Charpyn iskukoe. Osa 1: Menetelmä. SFS Online.

SFS-EN ISO 6507-1:2018. (2018). Metallien Vickersin kovuuskoe. Osa 1: Menetelmä. SFS Online.

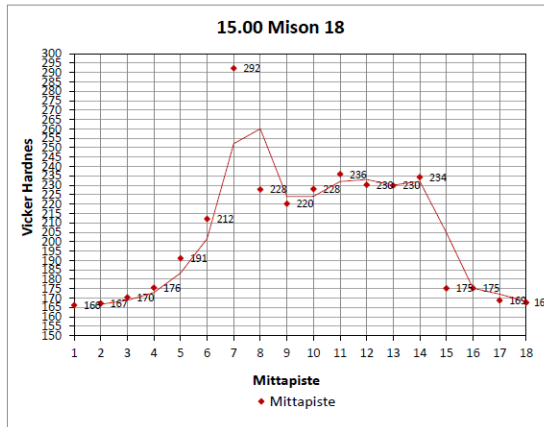
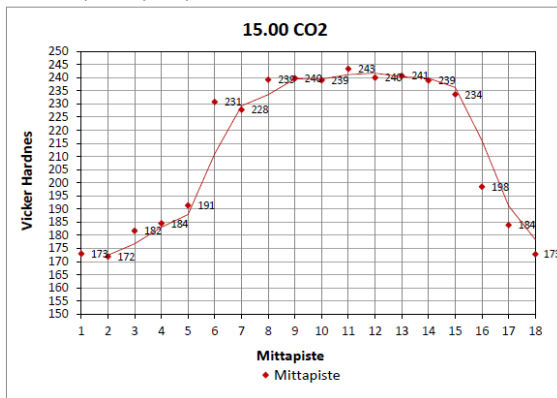
Struers. (n.d.). Metallography of Welds. Haettu 5.11.2020 osoitteesta [Application Note Metallography of Welds \(1\).pdf](#)

Tut. (n.d.). Kovuuskoe. Haettu 4.6.2020 osoitteesta http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv_2_1_7.php

Liite 1: Vickersin kovuudet

F [kgf]	d1 [µm]	d2 [µm]	d [mm]	Hardnes of vickers	Mittapiste
30	568,753	565,515	0,567134	173	1
30	572,392	565,472	0,568992	172	2
30	555,606	551,253	0,55343	182	3
30	555,491	542,792	0,549142	184	4
30	541,572	536,872	0,539222	191	5
30	489,982	492,089	0,491036	231	6
30	496,06	492,262	0,494161	228	7
30	484,229	480,222	0,482226	239	8
30	484,826	478,505	0,481666	240	9
30	482,075	482,826	0,482451	239	10
30	479,077	477,135	0,478106	243	11
30	482,775	480,111	0,481443	240	12
30	484,269	477,22	0,480745	241	13
30	481,973	483,167	0,48257	239	14
30	487,138	488,777	0,487958	234	15
30	530,197	528,617	0,529407	198	16
30	549,172	550,919	0,550046	184	17
30	563,092	571,765	0,567429	173	18

F [kgf]	d1 [µm]	d2 [µm]	d [mm]	Hardnes of vickers	Mittapiste
30	580,74	576,289	0,578515	166	1
30	578,318	575,386	0,576852	167	2
30	571,372	571,358	0,571365	170	3
30	564,012	562,009	0,563011	176	4
30	541,881	536,936	0,539409	191	5
30	507,928	516,289	0,512109	212	6
30	433,927	438,597	0,436262	292	7
30	489,745	498,58	0,494163	228	8
30	504,05	501,188	0,502619	220	9
30	495,14	492,683	0,493912	228	10
30	488,782	482,36	0,485571	236	11
30	491,759	491,224	0,491492	230	12
30	490,251	493,679	0,491965	230	13
30	487,066	487,26	0,487163	234	14
30	563,127	563,703	0,563415	175	15
30	563,174	563,507	0,563341	175	16
30	577,539	570,517	0,574028	169	17
30	575,793	576,41	0,576102	168	18



F [kgf]	d1 [µm]	d2 [µm]	d [mm]	Hardnes of vickers	Mittapiste
30	592,313	590,655	0,591484	159	1
30	575,776	568,449	0,572113	170	2
30	584,355	581,642	0,582999	164	3
30	573,403	570,722	0,572063	170	4
30	571,176	573,657	0,572417	170	5
30	561,476	561,176	0,561326	177	6
30	520,738	519,202	0,51997	206	7
30	511,311	516,949	0,514113	210	8
30	514,755	511,988	0,513372	211	9
30	512,479	511,561	0,51202	212	10
30	510,308	511,667	0,510988	213	11
30	505,568	507,317	0,506443	217	12
30	526,596	537,365	0,531981	197	13
30	554,985	564,097	0,559541	178	14
30	567,003	574,929	0,570966	171	15
30	579,272	587,751	0,583512	163	16
30	577,636	588,567	0,583102	164	17
30	579,695	590,676	0,585186	162	18

F [kgf]	d1 [µm]	d2 [µm]	d [mm]	Hardnes of vickers	Mittapiste
30	585,884	584,324	0,585104	162	1
30	579,099	575,956	0,577528	167	2
30	573,297	560,814	0,567056	173	3
30	565,092	562,729	0,563911	175	4
30	527,973	526,753	0,527363	200	5
30	440,442	440,977	0,44071	286	6
30	473,028	474,685	0,473857	248	7
30	481,429	474,248	0,477839	244	8
30	483,59	475,661	0,479626	242	9
30	472,626	468,382	0,470504	251	10
30	488,278	475,432	0,481855	240	11
30	482,202	477,222	0,479712	242	12
30	463,783	470,36	0,467072	255	13
30	549,178	562,215	0,555697	180	14
30	578,611	584,698	0,581655	164	15
30	587,73	586,521	0,587126	161	16
30	582,557	584,87	0,583714	163	17
30	590,229	591,511	0,59087	159	18

