

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

LUT Kone

BK10A0401 KANDIDAATINTYÖ JA SEMINAARI

HITSAUSPOLTTIMEN VAIKUTUS TANDEM MAG-PINNOITUSHITSAUKSESSA
EFFECT OF WELDING TORCH IN TANDEM MAG CLADDING

Lappeenrannassa

10.2.2015

Niki Lankila

Tarkastaja: TkL Suoranta, Raimo

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
1.1	Taustat ja tavoitteet	3
1.2	Toteutus ja rajaus	3
2	KAASUKAARIHITSAUS	5
2.1	Metallikaasukaarihitsaus	5
2.1.1	Kaarityypit	6
2.1.2	Laitteisto	7
2.1.3	Hitsauskaasut	9
2.2	Volframikaasukaarihitsaus.....	10
2.2.1	Laitteisto	11
3	POLTTIMEN VAIKUTUS TANDEM-HITSAUKSESSA	13
3.1	Koejärjestelyt	13
3.1.1	Hitsausarvot	14
3.1.2	Perusaine ja koekappaleet	16
3.1.3	Lisäaine ja suojakaasu	16
3.2	Koetulokset	17
4	TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	19
4.1	Polttimen vaikutus	19
5	YHTEENVETO	21
	LÄHTEET	22
	LIITE	

LIITE 1. Poltinkokeiden makrohiekuvat

1 JOHDANTO

Kaasukaarihitsaus on yksi yleisimmistä hitsausmenetelmistä ja sitä käytetään ympäri maailmaa. Erityisesti terästen MAG-hitsauksen tuottavuutta on pyritty kehittämään, jotta tuotannon tehokkuus kasvaisi. Tuottavuutta voidaan tehostaa suunnittelulla ja kehittämällä hitsausprosesseja. Hitsausprosesseista on monenlaisia erilaisia variaatioita ja yksi MAG-hitsauksen tuottavuuden tehostamiskeino on siirtyä tandem-hitsaukseen. Tandem-hitsaus on suurtehomenetelmä, jossa MAG-hitsaus toteutetaan käyttäen kahta virtalähdettä ja kahta hitsauslankaa. Tällöin sulatusteho kasvaa tai vaihtoehtoisesti hitsausnopeutta voidaan kasvattaa.

1.1 Taustat ja tavoitteet

Tandem-hitsausta pidettiin 1990-luvulla vielä seuraavana suurena harppauksena hitsaustekniikan osalta. Sen uskottiin olevan seuraava suurtehomenetelmä, joka haastaa kaikki muut tehokkaat ja nopeat hitsausmenetelmät. Prosessin kehitys ei kuitenkaan saavuttanut siihen kohdistuneita odotuksia, koska prosessin säätäminen oli vaikeaa ja hidasta. Tämän lisäksi prosessin säätäminen vaati hitsausoperaattorilta ammattitaitoa, jotta hitsin laatu saatiin hyväksi. Nykypäivän tandem-laitteistot ovat kehittyneet paljon erityisesti säätämisen osalta ja niiden käyttö on huomattavasti aikaisempaa helpompaa.

Tandem-hitsauksen käytännönläheinen tutkimus on ollut kohtalaisen vähäistä ja eri parametrien vaikutus hitsaustapahtumaan on epäselvää monelle taholle. Työn tavoitteena on selvittää erilaisten hitsauspolttimien vaikutusta hitsaustapahtuman tunkeumaan ja vakauteen. Polttimet ovat usein kolmannen osapuolen valmistamia, mutta suurin muuttuva parametri on lankojen kulma ja niiden välinen etäisyys. Lankojen etäisyyden vaikutuksen tutkiminen on tärkeää, koska magneettinen puhallus on yleinen ongelma tandem-hitsauksessa. (Uusitalo, 2011, s. 16-17.)

1.2 Toteutus ja rajaus

Työ toteutettiin hitsaamalla koekappaleita kolmella saman valmistajan polttimella, joissa virtasuuttimien kulma ja lankaväli olivat erilaisia. Kokeissa arvioitiin hitsauksen vakautta silmämääräisesti ja sen lisäksi hitsatuista koekappaleista tehtiin makrohieet, joista mitattiin

kappaleen sekoittumisaste. Tämän lisäksi työ sisältää lyhyen kirjallisuusselvityksen kaasukaarihitsauksen teoriasta, jolla luodaan pohjaa tandem-hitsauksen teorialle.

Tutkimusosuudessa on esitelty käytetty koejärjestely, koetulokset ja tämän jälkeen koetulokset on analysoitu ja niiden pohdittu niiden syitä. Koejärjestelyn esittely koostuu käytetystä laitteistosta, materiaalitiedoista sekä koekappaleiden selityksestä.

2 KAASUKAARIHITSAUS

Kaasukaarihitsaus on hitsausprosessi, jossa hitsaustapahtumaa suojataan suojakaasun avulla. Kaasukaarihitsaus jaetaan kahteen pääprosessiin, jotka ovat sulamattomalla elektrodilla hitsattava volframikaasukaarihitsaus sekä sulavalla elektrodilla hitsattava metallikaasukaarihitsaus. Sulavasta elektrodista käytetään nimitystä hitsauslanka tai lisäainelanka.

2.1 Metallikaasukaarihitsaus

Metallikaasukaarihitsauksessa valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välillä suojakaasun suojaamana. Suojakaasuna voidaan käyttää aktiivista kaasua, jolloin puhutaan MAG-hitsauksesta tai vaihtoehtoisesti inerttiä kaasua, jolloin prosessi on MIG-hitsausta. MAG-hitsauksen numerotunnus on 135 ja MIG-hitsauksen tunnus 131. (Lukkari, 1997, s. 158–159.)

Langansyöttölaite syöttää hitsauslankaa monitoimijohdinta pitkin polttimelle, jossa virtasuuttimeen tuleva virta siirtyy hitsauslankaan ja pitää valokaarta yllä. Valokaari syttyy langan koskiessa maadoitettua työkappaletta. Kosketushetkellä syntyy oikosulku ja oikosulkuvirta sulattaa hitsauslangan pään ja valokaari syttyy. Lisäaine siirtyy pisaroina tai suihkuna työkappaleeseen kaarityypistä riippuen. (Lukkari, 1997, s. 159.)

MIG/MAG-hitsauksessa käytetään yleensä tasavirtaa ja +napaa vakaan valokaaren ja roiskeettoman aineensiirtymisen takia. Kun lisäainelanka on kytketty –napaan saavutetaan suurempi sulatusnopeus ja pienempi tunkeuma, joka soveltuu hyvin päällehitsaukseen. Käytettävä virta-alue yhdellä langalla on tyypillisesti 80-350A ja ohuen hitsauslangan ansiosta virtatiheys on myös huomattavasti suurempi, kuin puikolla tai jauhekaarella hitsattaessa. MIG/MAG-hitsauksen staattinen ominaiskäyrä on lähes vaakasuora. Tällöin virtalähdettä kutsutaan vakiojännitteiseksi, joka on tärkeä ominaisuus automaattisesti säätyvän valokaaren kannalta. MIG/MAG-hitsauksessa sulatusnopeus pitää saada pysymään vakiona hitsauksen ajan, jotta hitsin laatu on riittävän hyvä. Langansyöttö pidetään vakiona, mutta virtalähde muuttaa jännitettä ja virtaa valokaaren pituuden mukaan automaattisesti, jolloin hitsin laatu pysyy hyvänä ja hitsaaminen helpottuu. (Lukkari, 1997, s. 160–162.)

2.1.1 Kaarityypit

Aineensiirtyminen MIG/MAG-hitsauksessa tapahtuu pisaroina. Siirtyminen tapahtuu oikosulkusiirtymisenä tai suihkumaisena siirtymisenä. Oikosulkusiirtymisessä sulat lisäainepisarat muodostavat hetkellisiä oikosulkuja ja suihkumaisessa siirtymisessä lisäaine siirtyy erittäin pieninä pisaroina suihkuna työkappaleeseen. Siirtymätavan ja pisarakoon määrää hitsausarvot ja suojakaasu, jotka määrittävät kaarityypin. Kaarityypit jaetaan perinteisesti viiteen eri ryhmään: lyhytkaareen, sekakaareen, kuumakaareen, pitkäkaareen ja sykekaareen. Kaarityyppi määrää aineen siirtymisen tavan sekä hitsausominaisuuksia. (Lukkari, 1997, s. 165–168.)

Lyhytkaarihitsauksessa lisäaine siirtyy tasaisin välein oikosulun avulla. Lyhytkaareen päästään käyttämällä pieniä virta- ja jännitearvoja. Jännite on lyhytkaarella tyypillisesti alle 20V. Oikosulun aikana jännite laskee rajusti ja virta alkaa kasvaa, kunnes lisäainelanka kuroutuu ja pisara irtoaa lisäainelangasta, jonka jälkeen valokaari syttyy uudelleen. Sama toistuu koko hitsauksen ajan, kun oikosulkuja syntyy 30-200kpl minuutissa. Lyhytkaarihitsaus vaatii virtalähteeltä paljon, koska virtalähteen pitää kyetä reagoimaan nopeisiin virta- ja jännitemuutoksiin. Lyhytkaarihitsaus on kohtalaisen kylmä hitsaustapahtuma, koska hitsisula on pieni ja oikosulkuja on usein. (Lukkari, 1997, s.168–169.)

Sekakaari on lyhytkaaren ja kuumakaaren välissä ja se on yhdistelmä lyhytkaaren ja kuumakaaren ominaisuuksia. Lisäaine siirtyy sekä oikosulkuina, että suihkumaisesti. Sekakaaren aineensiirtyminen aiheuttaa paljon roiskeita, joita pidetään virheenä hitsauksessa. Roiskeet aiheuttavat myös lisätyötä hitsaavalle yritykselle, koska yleensä ne täytyy hioa pois. Sekakaarta pyritään välttämään mahdollisimman paljon, mutta toisinaan sitä on pakko käyttää, jos lyhytkaari on liian kylmä ja kuumakaari liian kuuma. Yleisimpinä kohteina toimii pystyhitsaus ja vaakahitsaus. (Lukkari, 1997, s. 168–169.)

Kuumakaaren aineensiirtyminen on erittäin pienipisaraista ja tapahtuu suihkumaisesti. Kuumakaarta esiintyy inerteilla sekä argonvaltaisilla suojakaasuilla ja riittävän suurilla hitsausvirroilla. Kuumakaari on nimensä mukaisesti kuuma ja kappaleeseen siirtyvä lämpömäärä on suuri. Suihkumainen siirtyminen aiheuttaa suuren hitsisulan ja siitä

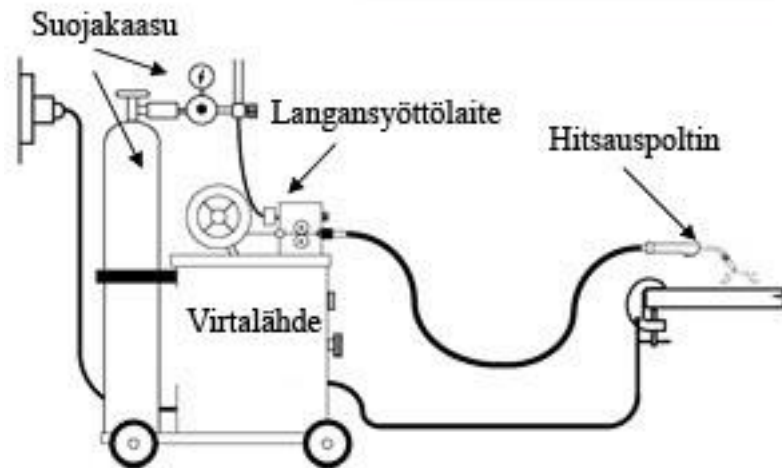
työkappaleeseen siirtyy paljon lämpöä. Kuumakaarihitsaus vaatii riittävän työkappaleen paksuuden, jotta se kestää lämmöntonin. (Lukkari, 1997, s. 169–171.)

Pitkäkaarihitsaus on aktiivisilla suojakaasuilla, kuten hiilidioksidi, tapahtuvaa hitsausta, kun hitsataan suurilla tehoilla. Aktiivisilla kaasuilla ei yleensä päästä täysin oikosuluttomaan hitsaustapahtumaan. Pitkäkaarihitsauksessa lisäaine ei siirry langan suuntaisesti ja aiheuttaa paljon roiskeita sekä karkean hitsin pinnan. Pitkäkaarihitsausta käytetään jalkohitsien väli- ja pintapalkoihin sekä alapienen hitsaamiseen. (Lukkari, 1997, s. 171.)

Sykekaareissa eli pulssikaareissa aineen siirtymistä ohjataan hitsausvirran pulssituksella. Pulssien avulla siirtyminen saadaan tapahtumaan suihkumaisesti, vaikka muuten hitsausparametrit ja langanpaksuus sen estäisivät. Aine siirtyy täysin suihkumaisesti, eikä oikosulkuja tapahdu pienilläkään virroilla. Pulssikaarelle edellytyksenä on inertti suojakaasu ja CO₂-pitoisuus pitää olla alle 20 %. Pulssikaari luodaan syöttämällä perushitsausvirran päälle pulsseja, jolloin hetkellinen hitsausvirta voi olla yli kaksinkertainen perusvirtaan verrattuna. Pulseja syötetään 20-400Hz taajuudella. Perusvirran tehtävä on pitää lisäainelangan pää sekä perusmateriaali sulana ja jokaisen pulssin tehtävänä on irrottaa yksi pisara lisäainelangan sulasta päästä. Pulssikaarella saadaan selkeitä etuja muihin kaarityyppeihin verrattuna. Sillä saadaan suurempi hitsausnopeus ja hitsiaineentuotto, kuin lyhytkaarella, pienempi hitsausenergia kuin kuumakaarella, vähemmän roiskeita ja parempi ulkonäkö. Pulssikaari parantaa myös asentohitsausominaisuuksia. (Lukkari, 1997, s. 171–173.)

2.1.2 Laitteisto

MIG/MAG-laitteisto koostuu yleensä virtalähteestä, langansyöttölaitteesta, kaasupullosta, monitoimijohdosta, maadoituskaapelista ja hitsauspistoolista. Lisäksi hitsauslaitteeseen voi kuulua erillinen nestejäähdytyslaite, jonka tehtävä on jäähdyttää hitsauspistoolia ja virtalähdettä. (Kempfi, 2013a). Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva hitsauslaitteistosta.



Kuva 1. Periaatekuva hitsauslaitteiston koostumuksesta (mukaiillen Heavy Engineering Research Association, 2013).

Langansyöttölaitteen tehtävä on syöttää lankaa vakionopeudella monitoimijohdinta pitkin hitsauspistoolin läpi valokaareen. Tärkein ominaisuus langansyöttölaitteelle on toimintavarmuus ja tasainen langansyöttö. Langansyöttölaite ohjaa myös suojakaasun virtausta ja voidaan liittää myös virtalähteeseen, jolloin se kykenee ohjaamaan virtalähdettä. (Kemppe, 2013a.)

Virtalähde on MIG/MAG-hitsauslaitteiston monimutkaisin osa. Se ohjaa hitsausvirtaa ja hitsausjännitettä. Hitsausvirtaa ohjataan säätämällä langansyöttönopeutta ja jännitettä säädetään suoraan virtalähteestä. Virtalähde on vakiojännitevirtalähde, jolla on lähes vaakasuora ominaiskäyrä. Tällä saadaan aikaiseksi automaattisesti säätävä valokaari. Virtalähteissä on yleensä säätö hitsausvirralle ja hitsausjännitteelle, mutta nykyaikaisissa hitsausvirtalähteissä on myös laitevalmistajan ohjelmoimia valmiita hitsausohjelmia, jotka ovat suunnattu tietyille materiaalille tai tiettyyn hitsausprosessiin. Näiden tarkoituksena on helpottaa hitsaajan työtä ja saada hitsistä tasalaatuisempaa. Virtalähteistä ilmoitetaan usein maksimivirta, mutta lähes yhtä tärkeä kriteeri hitsausvirtalähdettä valitessa on kuormitusaikasuhde. Kuormitusaikasuhdeella ilmoitetaan kuinka monta prosenttia 10 minuutin kuormitusjaksosta voidaan hitsata maksiteholla. Hitsausvirtalähteet ovat kehittyneet ja virtalähteisiin on tullut lisäominaisuuksia. Lisäominaisuuksia ovat esimerkiksi erikoisprosessit, joilla pyritään helpottamaan juuripalon hitsausta tai kylmentämään hitsiä ohutlevyjä varten. (Lukkari, 1997, s. 177–181.)

Monitoimijohdon kautta kuljetetaan hitsausvirtalähteeltä ja langansyöttölaitteelta hitsauslanka, suojakaasu, jäähdytysvesi, hitsausvirta ja ohjausvirta hitsauspistoolille. Hitsauspistooli on usein liitetty kiinteästi monitoimijohtoon ja johdon toiset päät kytketään muihin hitsauslaitteiston osiin kiinni. Monitoimijohdon pitää olla puhdas ja mahdollisimman suorassa häiriöttömän langansyötön takaamiseksi. (Lukkari, 1997, s. 184–185.)

2.1.3 Hitsauskaasut

Kaasukaarihitsauksessa suojakaasun tehtävä on suojata hitsisulaa ympäröivän ilman haitallisilta vaikutuksilta. Huono suojaus aiheuttaa hitsausvirheitä, hitsin pinnan hapettumista ja seosaineiden poisalamista. Lisäksi suojakaasu seostaa hitsiainetta ja vaikuttaa kaarityyppiin, roiskeiden määrään, valokaaren vakauteen, tunkeumaan ja palon muotoon. Käytännössä suojakaasun vaikutus näkyy hitsausvirheiden määrässä ja oikealla suojakaasulla saavutettavalla hitsin laadulla. (Lukkari, 1997, s. 196–197.)

Hitsauskaasut jaetaan karkeasti kahteen ryhmään: inertit ja aktiiviset kaasut. Inerttejä kaasuja ovat argon ja helium. Aktiiviset kaasut ovat jaettu alaryhmiin sen mukaan, miten ne reagoivat hitsin kanssa. Hapettava suojakaasukomponentti on hiilidioksidi. Pelkistäväksi suojakaasukomponenteiksi lasketaan vety ja reagoimattomaksi typpi. Vaikka typpeä pidetään reagoimattomana suojakaasuna, on sillä selkeästi typpettävä vaikutus kuumissa lämpötiloissa, joten sitä pidetään myös aktiivisena suojakaasuna. (Lukkari, 1997, s. 198.)

MAG-hitsauksessa käytetään aktiivisia suojakaasuja. Pelkällä hiilidioksidilläkin voidaan hitsata, mutta se aiheuttaa paljon roiskeita ja hiilidioksidilla on mahdotonta päästä suihkumaiseen aineen siirtymiseen, joten usein käytetään hiilidioksidin ja argonin seosta. Kaasun seostus vaikuttaa kaarialueiden rajoihin, joten seoskaasulla voidaan säätää hitsaustapahtuman ominaisuuksia. Kehityksen myötä on siirrytty kokoajan enemmän argon-valtaisiin suojakaasuihin, koska silloin päästään helpommin kuumakaarelle. Tästä on kumminkin seurannut hitsiin helpommin syntyvät huokokset. (Lukkari, 1997, s. 200–201.)

Yleisesti teräksien hitsaus on MAG-hitsausta ja ei-rautametallien hitsaus on MIG-hitsausta. Myös ruostumattomat teräkset hitsataan usein MAG-hitsauksena, koska pieni määrä hapettavaa kaasua vakauttaa valokaarta ja parantaa hitsin laatua. Hapettavat kaasut

muodostavat myös hitsin pinnalle ohuen oksidikalvon, joka helpottaa hitsaamista. (Lukkari, 1997, s. 202–203.)

Suojakaasun koostumuksen lisäksi merkittävä tekijä on suojakaasun virtaus hitsaustapahtumassa. Virtausmäärään vaikuttavat suojakaasun koostumus, perusaine, kaarityyppi, kaasusuuttimen koko ja työpisteen olosuhteet. Virtausmäärän voi arvioida karkeasti kertomalla langan paksuuden 10–15-kertaiseksi. Näin saadaan kaasun virtaus litroina minuutissa. (Lukkari, 1997, s. 204.)

2.2 Volframikaasukaarihitsaus

Volframikaasukaarihitsaus on sulamattomalla volframielektrodilla suoritettavaa kaasukaarihitsausta. Yleisesti tästä käytetään nimitystä TIG-hitsaus. (Tungsten Inert Gas arc welding) Valokaari palaa volframielektrodin ja työkappaleen välissä ja sitä suojataan inertillä suojakaasulla, joka ei reagoi sulan kanssa. Suojakaasu suojaa sekä hitsisulaa, että hitsauselektrodia hapettumiselta. Suojakaasuna käytetään yleensä argonia tai heliumia. TIG-hitsauksessa ei ole pakko käyttää lisäainetta, vaan railo voidaan vain sulattaa yhteen valokaaren avulla. Jos lisäainetta käytetään, se syötetään hitsisulaan käsin, eikä polttimen läpi, niin kuin MIG/MAG-hitsauksessa. (Kemppe, 2013b) TIG-hitsauksen numerotunnus on 141. (Lukkari, 1997, s. 249.)

TIG-hitsaus on yleensä käsin hitsausta, mutta poltin voidaan asettaa myös kuljettimeen ja mahdollinen lisäainelanka tulemaan lankakerältä, jolloin hitsaus saadaan helposti mekanisoiduksi. TIG-hitsauksen suurin etu on tunkeuman ja sulan hyvä hallinta, koska lisäainelanka ja valokaari ovat erillään. Tästä seuraa se, että hitsausenergiaa ja lisäaineen tuontia voidaan säätää erikseen. TIG-hitsauksen hitsausvirta on pienimillään joitain ampeereja, joten TIG on ylivertainen hitsattaessa ohuita aineenpaksuuksia tai pohjapalkoja. Suurin haitta TIG-hitsauksessa on sen hitaus ja pieni energiatiheys. Niiden takia TIG-hitsaus ei sovellu erityisen hyvin paksuille materiaalivahvuuksille. (Lukkari, 1997, s. 249.)

TIG-hitsausta voidaan suorittaa sekä +, että –navassa käyttäen tasavirtaa tai vaihtovirtaa. Vaihtelemalla näitä ominaisuuksia voidaan säätää TIG-hitsauksen ominaisuuksia helposti. Yleisin tapa hitsata on tasavirralla ja elektrodi kytkettynä –napaan. Tällöin noin 70 % lämpöenergiamäärästä kohdistuu työkappaleeseen virran kulkusuunnan ansiosta ja vain 30 %

elektrodiin. Tällöin pystytään käyttämään suhteessa ohuempaa elektrodin kärkeä +napaan verrattuna. Vaihtovirtaa ja –napaa käytetään useimmiten alumiinin, magnesiumin ja alumiinipronssin seoksia, koska materiaalien pinnalla on vaikeasti sulava oksidikalvo, jota tasavirta ja +napa ei pysty sulattamaan. (Lukkari, 1997, s. 250-253.)

TIG-hitsaus on erittäin yleinen ja tärkeä hitsausprosessi hitsaavassa teollisuudessa. TIG-hitsaus soveltuu lähes kaikkien metallien hitsaamiseen, mutta tärkeimpinä käyttökohteina sillä on ruostumattomien terästen ja alumiinin hitsaus. Sillä hitsataan myös niukkaseosteisia teräksiä silloin, kun hitsille on asetettu suuret laatuvaatimukset. TIG-hitsaus soveltuu kaikkiin hitsausasentoihin ja sillä voidaan hitsata aina 0,1mm - 6mm levynpaksuudet. 6mm ei ole yläraja TIG-hitsaukselle, mutta sen jälkeen TIG-hitsaus on niin hidaskäyttöinen hitsausprosessi, että sitä ei kannata käyttää. TIG-hitsaus voidaan mekanisoida helposti. Yleisimpiä käyttökohteita sille ovat vaativien putkistojen hitsaus, ohuet ainevahvuudet, alumiinin hitsaus, erikoismetallien hitsaukset sekä lentokone- ja avaruusteollisuuden hitsaukset. (Lukkari, 1997, s. 254-257.)

2.2.1 Laitteisto

TIG-hitsauslaitteisto koostuu viidestä pääosasta. Ne ovat hitsausvirtalähde, ohjausyksikkö, maajohdin, hitsauspoltin ja suojakaasupullosta. Lisäaine on yleensä TIG-hitsauksessa 1000mm pitkä metallilanka, joka syötetään sulaan käsin. Lisäainelangan koostumus vastaa perusaineen koostumusta. (Kemppe, 2013c.)

Virtalähteitä on kolme eri tyyppiä. Tasavirtalähteitä, vaihtovirtalähteitä ja kaksoisvirtalähteitä, jolla voidaan hitsata tasavirralla ja vaihtovirralla. Nämä ovat tärkeitä kriteerejä hitsausvirtalähdettä valittaessa, koska eri materiaalit vaativat eri virtalajeja. Esimerkiksi alumiini vaatii vaihtovirtaa ja teräs tasavirtaa. Virtalähteiden ominaiskäyrät ovat jyrkästi laskevia, jotta suutinetäisyyden vaihteluista aiheutuvat virran ja jännitteen muutokset pysyisivät mahdollisimman pieninä. (Lukkari, 1997, s. 258-259.)

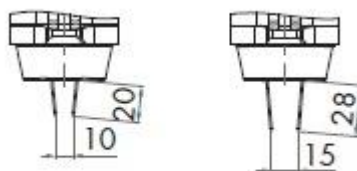
Ohjausyksikön eli TIG-oheislaitteen tärkein tehtävä on ohjata virtalähteen toimintaa hitsauksessa. Sen lisäksi ohjauslaite vastaa valokaaren sytyttämisestä, suojakaasun virtauksesta ja mahdollisen jäädytysjärjestelmän valvominen. Ohjausyksikköön

kiinnitetään kaikki kaapelit ja letkut, jotta se kykenee ohjamaan kaikkia toimintoja. Hitsausta ohjataan kumminkin pistoolissa olevalla liipaisimella. (Lukkari, 1997, s. 259.)

Hitsauspoltin on hitsaajan tärkein työkalu ja itse hitsaus suoritetaan polttimen avulla. Poltin on yhdistetty ohjainyksikköön monitoimijohtimella ja siihen on kiinnitetty volframielektrodi. Elektrodiin paikkaa pystytään säätämään, koska elektrodi kuluu hitsatessa vähän ja sitä kulunsa pystytään kompensoimaan tuomalla elektrodiä enemmän ulos polttimesta. Lisäksi elektrodiin ulkonemalla pystytään säätämään hitsaustapahtumaa sekä elektrodiin kuumentamista. Polttimessa on myös kaasuholkki, joka ohjaa inertin suoja-kaasun hitsisulan päälle ja suojaa hitsin. (Lukkari, 1997, s. 259-260.)

3 POLTTIMEN VAIKUTUS TANDEM-HITSAUKSESSA

Tutkimuksessa vertailtiin kolmen erilaisen polttimen vaikutusta hitsaustulokseen Tandem-hitsauksessa. Polttimet olivat pääpiirteissään samanlaisia, mutta virtasuutinten etäisyys ja kulma vaihtelivat. Tästä syystä lankojen etäisyys toisistaan muuttui. Polttimien lankojen välisen etäisyyden muutos on havainnollistettu kuvassa 4. Koehitsaukset suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston hitsaustekniikan laboratoriossa, jonka jälkeen niille suoritettiin silmämääräinen tarkastelu ja tehtiin makrohieet, joiden perusteella mitattiin polttimen vaikutusta hitsin tunkeuman syvyyteen.



Kuva 4. Polttimissa esiintyvät erot. (Abicor Binzel, 2014)

3.1 Koejärjestelyt

Kokeet suoritettiin LUT:in hitsauslaboratoriossa käyttäen laboratoriossa jo valmiiksi olleita laitteita. Kokeissa vaihdettiin TCS-järjestelmän poltinta ja tutkittiin sen vaikutusta hitsaustapahtumaan. Kokeet hitsattiin S355-rakenneteräkselle. Koekappaleen maadoitus toteutettiin käyttäen pyörityspöydän maadoituspistettä ja maadoittamalla molemmat virtalähteet samaan pisteeseen.

Koehitsausten jälkeen hitsit tarkastettiin silmämääräisesti sekä niistä tehtiin makrohieet LUT:n metallilaboratoriossa. Makrohieistä otettiin makrokuva, josta laskettiin hitsin sekoittumisaste käyttäen JMicroVision tietokoneohjelmaa. Ohjelmalla pystyy laskemaan digitaalikuvasta pinta-aloja. Ohjelmalla laskettiin hitsin pinta-alat ja tämän jälkeen laskettiin käsin pinta-alojen suhde, josta saatiin sekoittumisaste. Sekoittumisasteella tarkoitetaan sulaneen perusaineen osuutta hitsiaineesta.

Hitsauslaitteet koostuivat Kempin KempArc Pulse TCS-laitteistosta, joka sisältää kaksi KempArc Pulse-virtalähdettä, kaksi DT 400-langansyöttölaitetta ja yhden KempCool 40-vesijäähdytysyksikön. Hitsauspoltin asetettiin hitsauspuomin päähän ja hitsaus suoritettiin käyttäen puomin liikettä tai pyörityspöydän liikettä. Pyörityspöytää jouduttiin käyttämään, koska osa koekappaleista oli pyörähdysymmetrisiä levyjä, joihin hitsaus suoritettiin kappaleen kehälle. Kappaleita hitsattaessa käytettiin langoissa limitystä toisiensa suhteen, koska aikaisemmissa tutkimuksissa näillä havaittiin oleva positiivinen vaikutus hitsaustulokseen. Lankojen limityksinä käytettiin 2mm limitystä lankojen välillä ja 6mm palkoväliä sekä 4mm limitystä lankojen välillä ja 6mm palkoväliä.

3.1.1 Hitsausarvot

Hitsausarvoina käytettiin aikaisemmissa tutkimuksissa toimiviksi todettuja hitsausarvoja, koska haluttiin saada tuloksista vertailukelpoisia. Hitsausarvoja ei optimoitu tarkemmin, jotta edelliseen kokeen hitsejä ei tarvitse hitsata uudelleen. Hitsausnopeus valittiin kohtalaisen pieneksi Tandem-hitsaukselle, jotta vältetään suuren hitsausnopeuden aiheuttamasta virheriskistä. Hitsausnopeutena kokeissa käytettiin 75 cm/mm nopeutta. Suoria hitsejä hitsattaessa puomilla tämä nopeus asetettiin suoraan puomin ohjainlaitteeseen ja pyörityspöydällä nämä laskettiin kehän pituuksien, kierrosajan ja halutun hitsausnopeuden avulla. Pyörityspöydällä hitsattuihin pyörähdysymmetrisiin kappaleisiin sorvattiin halutut lankojen limityksmerkinnät, jolla varmistettiin niiden tarkkuus. Sorvista saatiin suoraan limityksmerkinnän säde r , josta laskettiin kehän pituus s käyttäen alla olevaa kaavaa.

$$s = 2\pi r \quad (1)$$

Yhteen kappaleeseen hitsattiin kaksi koehitsiä, joista toinen säteellä $r_1 = 170\text{mm}$ ja toinen säteellä $r_2 = 135\text{mm}$. Näiden kehän pituudet olivat $s_1 = 106,76\text{cm}$ ja $s_2 = 84,78\text{cm}$. Hitsausnopeudeksi haluttiin 0,75 m/min, joten vaadittu kierrosaika t saatiin laskemalla alla olevasta kaavasta.

$$t = \frac{s}{v} \quad (2)$$

Tavoitekierrosajoiksi saatiin $t_1 = 85s$ ja $t_2 = 68s$. Pyörityspöydän kierrosaika mitattiin sekuntikellolla näihin arvoihin ja tämän jälkeen asetettiin lankojen limitys kehälle piirretyille merkkiviivoille. Virtalähteeseen ja langansyöttölaitteelle asetetut hitsausarvot ja hitsaustapahtumaa koskevat havainnot näkyvät taulukossa 1.

Taulukko 1. Käytetyt hitsausarvot ja hitsaustapahtuvaa koskevat havainnot.

Koe nro	Levyn paksuus [mm]	LS ₁ [m/min]	LS ₂ [m/min]	Jännite [V]	Dynamiikka	Kaaren vakaus	Huomioita
126	21	10,0	10,0	31	-3/-3	1	Melko vähän roiskeita
146	21	10,0	10,0	31	-3/-3	2	Roiskeisuutta
226	16	10,0	10,0	31	-3/-3	1	Ei roiskeita
246	16	10,0	10,0	31	-3/-3	1	Ei roiskeita
326	16	10,0	10,0	31	-3/-3	3	Paljon roiskeita, takakaari epävakaa, poltin ylikuumenee
346	16	10,0	10,0	31	-3/-3	3	Paljon roiskeita, poltin ylikuumenee

Taulukossa esitetyissä arvoissa kaaren vakaudessa 1 on paras ja 3 huonoin. Koenumerointi on suoritettu siten, että ensimmäinen numero kertoo polttimen numeron, toinen numero kertoo lankojen limityksen ja kolmas numero palkojen välimatkan. Levynpaksuus vaihtui kesken koesarjan, koska samanlaisia kappaleita kun ensimmäisessä kahdessa kokeessa ei ollut enää saatavilla.

Hitsauskokeita suoritettaessa vapaalanka arvioitiin työntömitalla 20mm pituiseksi ja hitsauslanka oli kaikissa kokeissa +navassa. – Navan käytöllä olisi mahdollisesti voitu saavuttaa pienempi tunkeuma, mutta tavoitteena ei ollut saada mahdollisimman pientä tunkeumaa, vaan tutkia polttimen vaikutusta tunkeumaan.

3.1.2 Perusaine ja koekappaleet

Koehitsauksissa käytettiin perusaineena S355-rakenneterästä. Koekappaleita oli kahta erilaista. Ensimmäisen polttimen kokeet hitsattiin suorakaiteen muotoisille 21mm paksuille levyille kaksi hitsiä per levy. Toisen ja kolmannen polttimen kokeet hitsattiin suuremmille pyörähdyssymmetristen levyjen kehälle kaksi per levy.

Suorakaiteen muotoiset levyt olivat 112mm leveitä. Hitseistä tehtiin riittävän pitkiä, jotta alun ja lopun virheherkät kohdat voidaan jättää huomioimatta. Makrohieet otettiin kaikissa hitseissä mahdollisimman keskeltä kappaletta. Pyöreissä koekappaleissa hitsit hitsattiin kappaleen kehälle siten, että ensimmäinen hitsi tuli ulkokehälle, jossa kehän halkaisija oli 340mm ja seuraava hitsi sisäkehälle siten, että kehän halkaisija oli 270mm. Näin ollen hitsien välimatkaksi muodostui 35mm, mutta hitsejä hitsattiin vain puoli kierrosta, jolloin hitsit eivät kulkeneet vierekkäin. Tällä pyrittiin välttämään kappaleen lämpenemisen aiheuttamia muutoksia tunkeumaan.

3.1.3 Lisäaine ja suojakaasu

Hitsauslisäaineena käytettiin ESABin OK AristoRod 12.50 lisäainelankaa, joka on SFS-EN ISO 14341-A standardin mukaan luokiteltu luokkaan G3Si1. Lisäainelangan halkaisijana oli 1,2mm. AristoRod 12.50 on yleislanka seostamattomille teräksille. Se soveltuu seostamattomille rakenneteräksille, hienoraeteräksille, paineastiateräksille ja laivanrakennusteräksille, kun teräksen myötöraja on alle 420N/mm². Lanka on kuparoiमतonta. (ESAB, 2013.)

Suojakaasuna käytettiin Woikosken SK-18 kaasua. Kaasun koostumuksena on 18 % CO₂ ja 82 % Ar. Kaasu on suunniteltu seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen MAG-hitsaukselle. (Woikoski, 2013) Suojakaasun virtaus oli 15 l/min.

3.2 Koetulokset

Hitsauskokeista vertailtiin hitsin ulkonäköä, hitsaustapahtuman vakautta ja pinnoitushitsin sekoittumisastetta. Ulkonäön ja vakauden vertailut suoritettiin käyttäen ainoastaan silmä- ja korvamääräistä tarkastelua hitsauksen aikana ja sen jälkeen. Hiekuvat on esitetty tarkemmin liitteessä 1.

Koenumerot 126 ja 146 hitsattiin polttimella numero 1. Poltin 1 on käytetyistä poltinmalleista levein ja se on malliltaan D20. Hitsaustapahtuman vakaus oli polttimella 1 käyttökelpoista, mutta siinä esiintyi roiskeisuutta. Roiskeet eivät olleet erityisen suuria ja lähtivät suurimmaksi osaksi harjaamalla pois. Hitsaustapahtumassa ei ollut muuta erityistä huomioitavaa kun roiskeisuus. Palon muoto oli hyvä ja hitsin silmämääräinen tarkastelu ei osoittanut mitään ongelmia.

Koenumerot 226 ja 246 hitsattiin käyttäen poltinta numero 2. Poltin numero 2 on ainut suoravartinen poltin ja se on mallia D15. Hitsaustapahtuma oli vakaa polttimella 2 ja roiskeisuus oli hyvin vähäistä. Kaikki syntyneet roiskeet lähtivät irti kevyellä harjauksella ja palon ulkomuoto oli hyvä. Silmämääräisellä tarkastelulla ei havaittu paloissa mitään ongelmia.

Koenumerot 326 ja 346 hitsattiin käyttäen lankaväliltään kapeinta poltinta numero 3. Poltin numero 3 on mallia D8. Huomattavasti kapeampi lankaväli aiheutti huomattavia ongelmia hitsaustapahtuman vakauden kannalta. Roiskeisuus oli jatkuvaa ja sitä tuli paljon. Syntyneet roiskeet olivat tiukasti kiinni perusaineessa, eivätkä ne irronneet harjaamalla. Lisäksi kokeessa 326 takakaari oli hyvin epävakaa ja häiritsi hitsaustapahtumaa. Poltin ylikuumeni hitsauksen aikana ja polttimen kaasuholkki alkoi sulaa jo lyhyilläkin hitseillä. Silmämääräisessä tarkastelussa ainut esille tullut ongelma oli roiskeiden suuri määrä.

Kaikista koekappaleista otettiin makrohieet ja hieistä kuvat. Näistä kuvista laskettiin sekoittumisasteet käyttäen JMicroVision-ohjelmaa. Taulukossa 2 on esitetty eri kokeissa saadut sekoittumisasteet.

Taulukko 2. Hitsauskokeiden sekoittumisasteet.

Koenumero	Sekoittumisaste
126	43,3 %
146	49,2 %
226	44,5 %
246	44,8 %
326	46,2 %
346	42,9 %

4 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Eri parametrien vaikutuksia vertailtaessa saatiin hyvin erilaisia tuloksia. Tuloksien luotettavuutta ja merkittävyyttä on arvioitu jokaisen parametrin kohdalla erikseen ja pyritty arvioimaan mistä mahdolliset erot johtuvat ja saavutetaanko parametreja säätämällä käyttökelpoista muutosta pinnoitushitsaukseen.

4.1 Polttimen vaikutus

Hitsauspoltinta vaihtamalla ei saavutettu selkeää muutosta sekoittumisasteeseen. Sekoittumisasteet vaihtelivat 42,9 % ja 49,2 % välillä. Erot olivat kohtalaisen pieniä ja sekoittumisasteiden mediaani on 44.65 %. Sekoittumisasteista vain kaksi ääriarvoa poikkesivat enemmän muista arvoista. Neljän muun kokeen sekoittumisasteet vaihtelivat vain 2,9 %. Näin pieni vaihtelu menee automaattisesti virhemarginaaliin kokeita suoritettaessa. Ero voi syntyä pelkästään perusmateriaalin tai lisäainelangan pienistä eroista tai hitsausarvojen pienistä muutoksista.

Pienin sekoittumisaste 42,9 % saatiin koenumerossa 346. Siinä lankojen limitys oli 4mm ja poltin mallia D8. Mahdollinen syy pienimmälle sekoittumisasteelle on se, että takakaari on ollut lisäainelangan ja sulan välillä, eikä lisäainelangan ja perusmateriaalin välillä. Tällöin kaaripaine ei pääse painamaan sulaa niin syvälle perusmateriaaliin ja sekoittumisaste jää pienemmäksi. Tämä selittää myös runsasta roiskeisuutta 326 ja 346 kokeissa.

Suurin sekoittumisaste tuli kokeessa 146. Sekoittumisaste oli kokeessa 126 43,3 % ja kokeessa 146 49,2 %. Nämä kokeet hitsattiin samaan koekappaleeseen vierekkäin. Vaikka koekappale oli 21mm paksu, eli paksuin kaikista koekappaleista, oli se kokonaisuudessaan pienin. Koekappale oli pinta-alaltaan huomattavasti pienempi kun pyörähdyssymmetriset koekappaleet kokeissa 226, 246, 326 ja 346. Saatu sekoittumisasteen ero voi johtua siis kappaleen lämpenemisestä ensimmäisen kokeen vaikutuksesta. Tällöin koetta 146 hitsattaessa koekappale oli jo valmiiksi lämmennyt ja perusmateriaalin lämpenemisen kautta tunkeuma nousi.

Käytännössä hitsauspoltinta vaihtamalla ei näissä kokeissa saavutettu merkittäviä muutoksia sekoittumisasteeseen ja saavutetut pienet erot ovat selitettävissä. Polttimella kyetään vaikuttamaan hitsaustapahtuman vakauteen ja roiskeisuuteen, mutta ei merkittävästi sekoittumisasteeseen. Karkeasti ilmaistuna lankaväliltään leveämmät hitsauspolttimet sopivat paremmin suurilla tehoilla ja suurella sulalla hitsaamiseen, koska tällöin valokaaret palavat lisäainelangan ja kiinteän aineen välillä, eikä lisäainelangan ja sulan välillä. Näissä kokeissa parhaaksi osoittautui lankaväli D15. Taulukossa 3. on esitetty koenumerot, polttimen malli ja sekoittumisaste.

Taulukko 3. Hitsauskokeiden tulokset

Koenumero	Poltin	Sekoittumisaste
126	D20	43,3 %
146	D20	49,2 %
226	D15	44,5 %
246	D15	44,8 %
326	D8	46,2 %
346	D8	42,9 %

5 YHTEENVETO

Tandem MAG-hitsauksen säätäminen on haastavampaa, kuin yhden langan MAG-hitsauksen säätö. Hitsauskoneen sähköisillä parametreilla pystytään vaikuttamaan tunkeuman syvyyteen samoilla periaatteilla kuin perinteisessä MAG-hitsauksessa. Suurempi langansyöttönopeus, pienempi jännite ja pienempi hitsausnopeus kasvattavat tunkeumaa. Polttimen vaihtamisella ei tandem-MAG-hitsauksessa saatu selvää vaikutusta tunkeumaan. Tunkeuman muoto muuttui limityksen ja lankojen välimatkan kanssa hieman, mutta sekoittumisasteiden vaihtelu oli silti pientä. Polttimen vaikutus rajoittui lähes kokonaan hitsaustapahtuman vakauteen ja roiskeisuuteen. Liian lähekkäin olevat langat aiheuttivat paljon roiskeita ja epävakautta hitsauksen aikana. Lankavälin kasvaessa prosessi vakautui huomattavasti ja roiskeisuus väheni.

Pelkän prosessin vakauden ja roiskeisuuden lisäksi polttimella on vaikutusta muihin hitsauksen aikaisiin ominaisuuksiin. Erilaisilla polttimilla voi olla erilaatuinen kaasusuojaus tai jäähdytys, jotka vaikuttavat toteutuneisiin sähköisiin ominaisuuksiin ja hitsisulan hapettumiseen. Näiden vaikutusta hitsaustulokseen ei tässä tutkimuksessa tutkittu, mutta niiden mahdollinen vaikutus on syytä tiedostaa. Lisäksi suoritettujen hitsauskokeiden rajoittuivat pelkkään synergiseen MAG-hitsaukseen, joten polttimen vaikutuksesta muilla hitsausprosesseilla, ei voida vetää mitään johtopäätöksiä.

LÄHTEET

Abicor Binzel. 2014. Welding torch system: WH Tandem WH800 [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.7.2014]. Saatavissa:

http://www.binzel-abicor.com/uploads/Content/Germany/PDF-Files/PDF_Files_ROBO/English/wh-tandem-w800_pro_r137_gb_web.pdf

ESAB. 2013. OK AristoRod 12.50 [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2013]. Saatavissa: <http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=114407>

Heavy Engineering Research Association. 2013. Welding Processes, Welding Faults, Defects & Discontinuities For NDT Technicians Part 1 [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.10.2013]. Saatavissa:

http://www.hera.org.nz/Category?Action=View&Category_id=519

Kemppi. 2013a. MIG/MAG welding - Laitteet [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.10.2013]. Saatavissa:

http://www.kemppi.com/inet/kemppi/en/akp.nsf/frameset/frameset?opendocument&refquery=http%3A//www.kemppi.com/inet/kemppi/fi/akp.nsf/WEB_Nav%3Fopenview%26cat%3DWelding%2520ABC%26expand%3D4&main=/inet/kemppi/contman.nsf/0/AB3C08684B4CF670C225718D004601C7

Kemppi. 2013b. TIG welding - Yleistä [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.10.2013]. Saatavissa:

http://www.kemppi.com/inet/kemppi/en/akp.nsf/frameset/frameset?opendocument&refquery=http%3A//www.kemppi.com/inet/kemppi/fi/akp.nsf/WEB_Nav%3Fopenview%26cat%3DWelding%2520ABC%26expand%3D5&main=/inet/kemppi/contman.nsf/0/5A181CBEAF382EEBC225718D0047E470

Kemppi. 2013c. TIG welding – Laitteet [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.10.2013].

Saatavissa:

http://www.kemppi.com/inet/kemppi/en/akp.nsf/frameset/frameset?opendocument&refquery=http%3A//www.kemppi.com/inet/kemppi/fi/akp.nsf/WEB_Nav%3Fopenview%26cat%3DWelding%2520ABC%26expand%3D5&main=/inet/kemppi/contman.nsf/0/93E4143C976B5E6BC225718D00482808

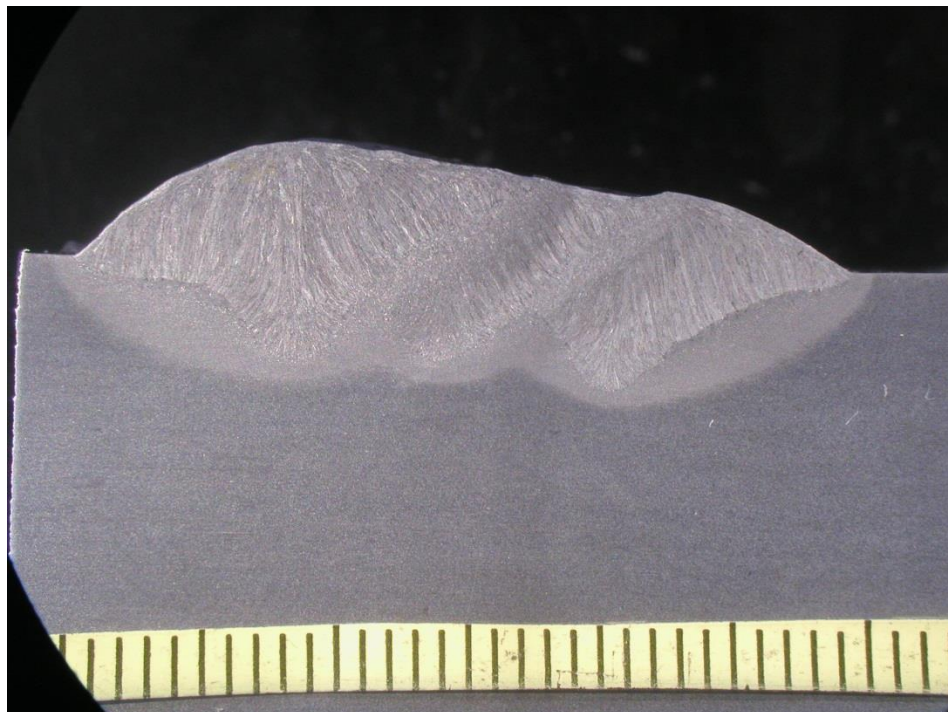
Uusitalo, J. 2011. Tandem-MIG/MAG-hitsauksen UUSI TULEMINEN. Kemppi ProNews. S. 16-17.

Lukkari, J. 1997. Hitsaustekniikka – Perusteet ja kaarihitsaus. 4. Painos.Helsinki. Edita Prima Oy. 292s.

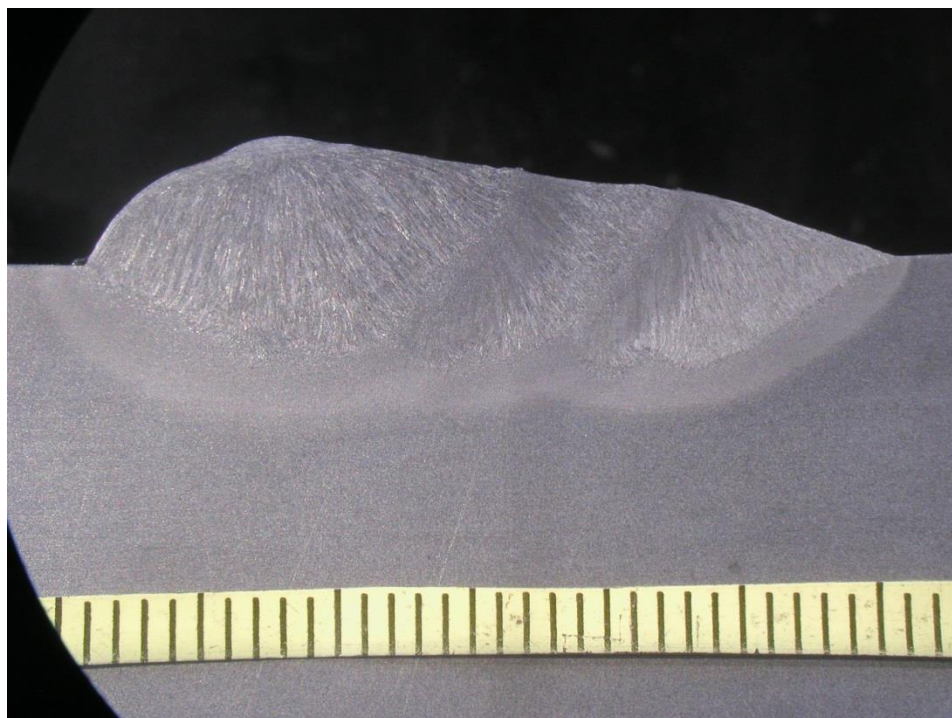
Woikoski. 2013. Kaasuseokset [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.11.2013]. Saatavissa:

<http://www.woikoski.fi/kaasuseos>

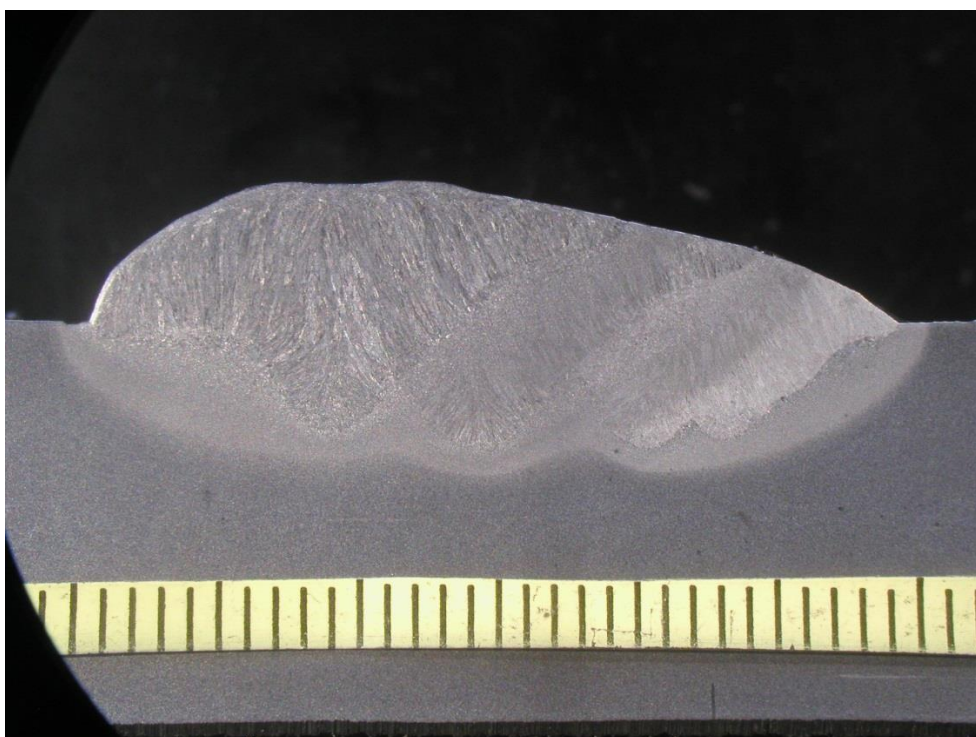
Poltinkokeiden makrohiekuvat.



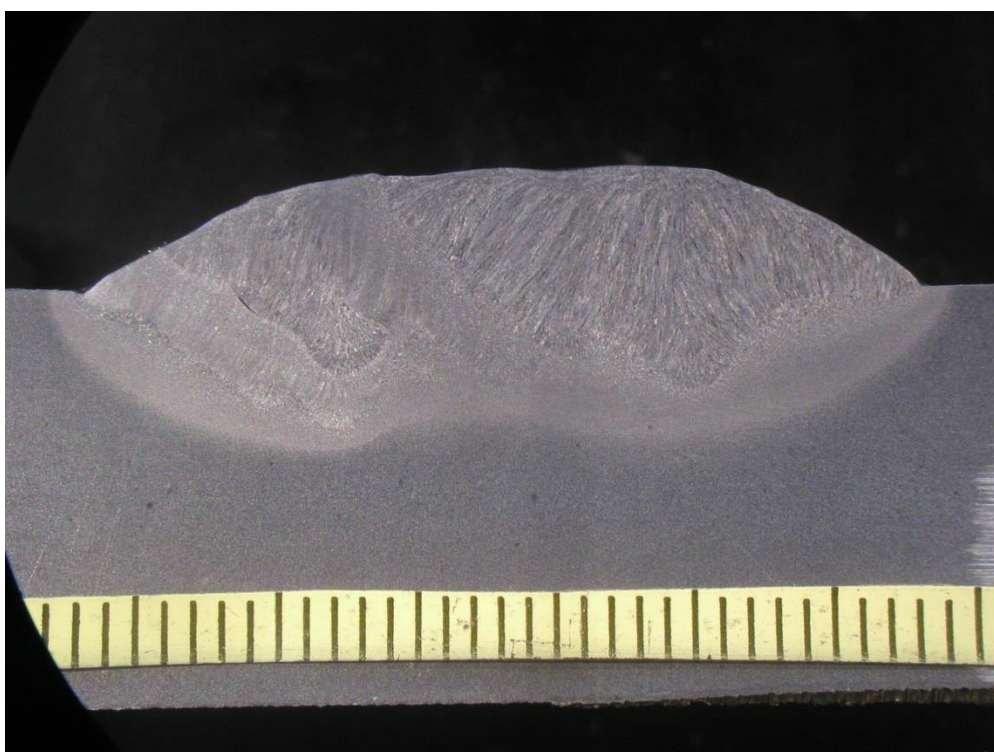
Koe 126



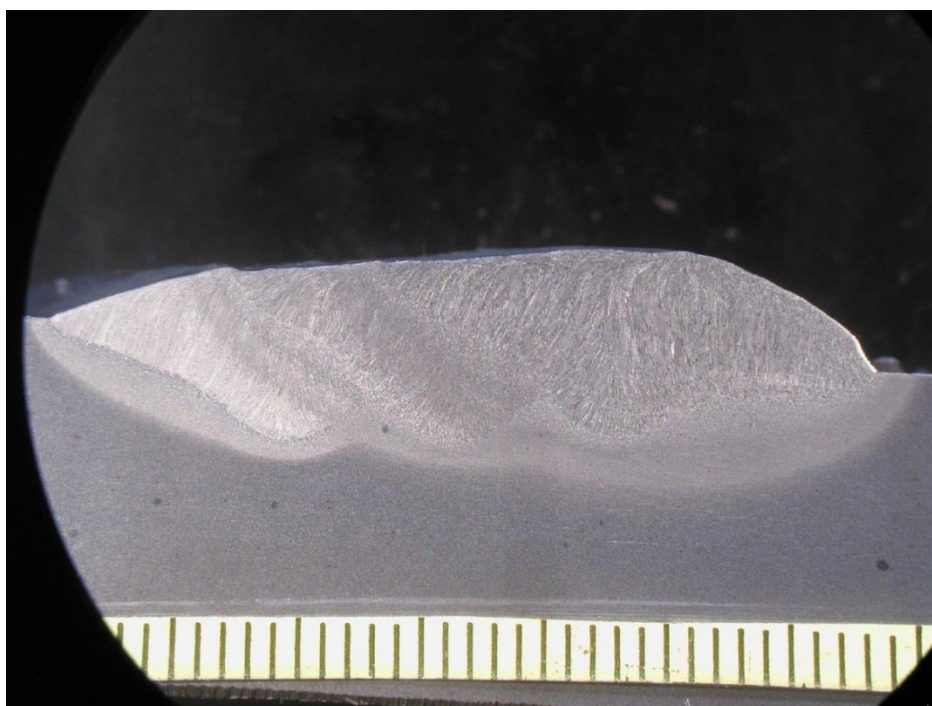
Koe 146



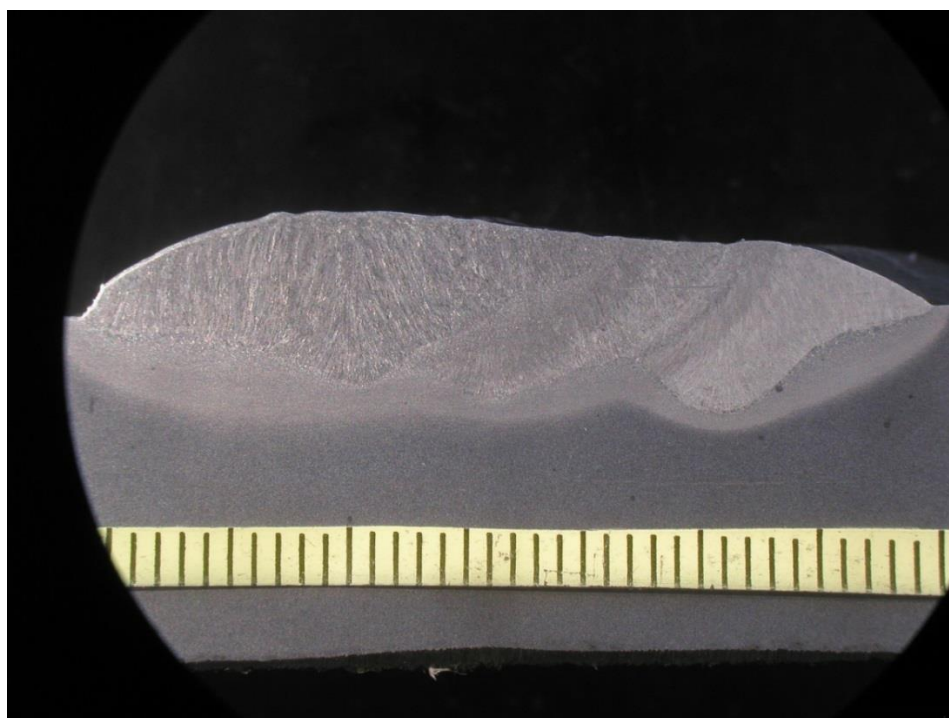
Koe 226



Koe 246



Koe 326



Koe 346