

Arttu Kleemola

YHTEENHITSATTAVIEN KUPARINAUHARULLIEN PÄIDEN
PAKSUUSERON VAIKUTUS KAAPELINAUHAN
PAKSUUSTARKKUUTEEN

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2017

YHTENHITSATTAVIEN KUPARINAUHAN PÄIDEN
PAKSUUSERON VAIKUTUS KAAPELINAUHAN PAKSUUSTARKKUUTEEN

Kleemola, Arttu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2017
Ohjaaja: Santanen, Teemu
Sivumäärä: 30
Liitteitä: 0

Asiasanat: paksuusero, valssaus, hitsaus, kupari

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka yhteenhitsattavien kuparinauharullien päiden paksuusero vaikutti kuparinauhan työstöprosessin leikkausvaiheessa. Aurubis Finland Oy:lla oli ollut vaikeuksia tuottaa asiakkailleen virheetöntä materiaalia, koska kuparinauhojen välisen hitsaussauman paksuuseron vaikutus leikkausvaiheessa oli merkittävällä tavalla vaikuttanut asiaan. Päiden paksuuden tasomaisuusero oli välillä pitkässä työstöprosessissa käynyt mitaltaan sellaiseksi, että toleranssit eivät enää pitäneet paikkaansa kaapelinauhan leikkausvaiheessa ja tuotettu materiaali ei virheettömyydestään huolimatta ollut asiakkaille lähetettävää. Asiaa tutkimalla haluttiin poistaa turhat hävikit ja keksiä keinoja työstöprosessin parantamiseksi. Työn toimeksiantajana oli Aurubis Finland Oy.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin kuparia yleisenä teollisuusmateriaalina, sekä perehdyttiin sen hitsattavuuteen ja työstettävyyteen. Tutkimuksen teoretiset tiedot olivat pohjana tutkimuksen empiriaosuuden toteuttamisessa.

Työn käytännönoosuudessa kartoitettiin mahdolliset haittatekijät pitkän työstöprosessin aikana yhteistyössä koneiden käyttäjien kanssa. Tulokset osoittivat pienten muutosten teon työstöprosessiin, esimerkiksi lämmenneen valssaimen jatkuva käyttö ja kuparirullien päiden valssaus pienemmällä nopeuksilla, vaikuttavan siihen, että tuotettu materiaali pääsi työstöprosessin loppuun asti ilman hävikkejä. Tärkeänä asiana nousi esille myös yleinen huolellisuus työstöprosessissa.

THE DIFFERENCE IN THICKNESS IN THE ENDS OF TOGETHER WELDED COPPER STRIP REELS AND IT'S EFFECT TO THE THICKNESS ACCURACY OF CABLE STRIPS

Kleemola, Arttu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

March 2017

Supervisor: Santanen, Teemu

Number of pages: 30

Appendices: 0

Keywords: the difference in thickness, rolling, welding, copper

The purpose of this thesis was to find out, how the difference in thickness in the ends of together welded copper strip reels affects in the cutting phase of the machining process of copper strips. Aurubis Finland Oy has had problems to produce flawless products to the clients, because of the difference in thickness in the weld of two copper strip reels and it's effect on the cutting phase had been a major function on the process. The difference in thickness in the ends of copper strip reels during the long machining process had sometimes reached such dimensions, that the tolerances were not equivalent in the cutting phase of the cable strips and the produced material, putting aside it's flawlessness, had not been acceptable to be sent to the client. By examining the case, the intent was to remove the unnecessary losses and to find ways to improve the machining process. The thesis was commissioned by Aurubis Finland Oy.

In the theoretical part of the thesis, copper was dealt with as a general industrial material and it's weldability and workability was also oriented. The theoretical data was the basis for implementing the empirical part of the research.

In the practical part of the thesis, the possible adverse factors during the long machining process were clarified in co-operation with the machine users. The results showed that if small changes were made to the working process, for example by constantly using a warmed up rolling mill and by rolling the ends of the copper strip reels at a slightly slower speed, contributed that the produced material made it to the end of the working process without any adverse factors. An important factor that also came up in the machining process was the common caution.

.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Työn tavoite ja rajaus.....	5
2	AURUBIS GROUP.....	7
2.1	Aurubis Finland Oy.....	7
2.2	Valssaamorakennus.....	8
3	KUPARI MATERIAALINA	9
3.1	Kupari teollisuudessa	9
3.2	Kuparin fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet.....	9
4	HITSAUSTEKNIikka	10
4.1	TIG-hitsaus	11
4.2	Kuparin hitsaus	12
4.2.1	Kuparin TIG-hitsaus	13
5	VALSSAUSTEKNIikka	15
5.1	Valssauslaitteet ja -koneet.....	15
5.2	Kuparin valssaus	16
6	TULOKSET JA PARANNUSEHDOTUKSET	16
6.1	Havaintojen analysointi	16
6.1.1	Valssattuun paksuuteen vaikuttavat asiat	17
6.1.2	Kuparirullan hitsaukseen vaikuttavat asiat.....	18
6.2	Paksumman kuparinauharullan testiajo	19
6.3	Hitsaussauman paksuuden mittaustulokset.....	20
6.3.1	Mittaustulokset päiden paksuuserosta hitsausvaiheessa.....	21
6.3.2	Mittaustulokset hitsaussauman kohdalta leikkausvaiheessa	24
6.4	Parannusehdotukset työstöprosessille	26
7	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET.....	30

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, kuinka Aurubis Finland Oy:n kuparivalsaamon kaapelinauhojen pitkässä työstöprosessissa kahden yhteenhitsatun kuparinauharullan välinen hitsaussauma käyttäytyy paksuudeltaan ja tasomaisuudeltaan kuparinauhojen päiden yhteenhitsauksen jälkeisten vaiheiden aikana. Aurubis Finland Oy:n tuottamien kaapelinauhojen työstöprosessi on todella pitkä ja valmiin tuotteen romutus viimeisessä vaiheessa eli leikkauksessa tarkoittaa miltei kymmenen tuhannen kilon edestä profiililtaan virheetöntä materiaalia toleranssirajojen ylittyessä hitsaussauman kohdalla vain muutamalla millin tuhannesosalla.

Idea opinnäytetyöstä nousi esille työskennellessäni kolmatta kesätyövuottani Aurubis Finland Oy:lla hitsaus- ja reunauskoneella. Minulle ehdotettiin tätä aihetta, koska koneella jolla työskentelin toteutetaan jokaisen työstöprosessiin tulevan kaapelinauharullan hitsausliitokset ja työn aihe oli täten todella ajankohtainen.

1.1 Työn tavoite ja rajaus

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää yhteenhitsattavien kuparinauharullien päiden paksuuseron vaikutusta hitsaussauman kohdalla ja kuinka se heijastuu työstöprosessin eri vaiheissa. Tällä edesautetaan turhia romutuksia ja näin ollen lisätään tuotavuutta asiaa tutkimalla ja tekemällä mahdollisia muutoksia valssaus- ja hitsaustavoissa. Työssä esiintyvä kaapelinauha-nimitys on tuotenimi kahdelle yhteenhitsatulle kuparirullalle.

Työn käytännön osuus ja datan keruu suoritettiin Aurubis Finland Oy:n kehitysteknikko Pellervo Talvitien valvonnassa. Aluksi kävimme läpi hyvän tarkastelureitin ja kartoitimme työstöprosessin koneet jotka olisivat oleellisia työn kannalta. Sain lähtökohtaisesti vapaat kädet lähteä toteuttamaan työtä haluamallani tavalla ja valitsin aloituskoneeksi Achenbach-kylmävalssaimen. Achenbach-kylmävalssaimella tarkastelin kuparinauharullien paksuuksien vaihteluita Vgraph-ohjelmasta valssauskopissa olevista näytöistä ja kirjasin tuloksia ylös. Seuraavaksi siirryttiin hitsaus- ja reunauskoneelle jossa ohjeistin koneenkäyttäjiä mittaamaan kuparinauharullien paksuusvai-

telut kolmesta pisteestä (kummastakin reunasta ja keskikohdasta) rullien alku- ja loppupäästä ennen hitsaussauman tekoa. Lisäksi selvitin hitsausprosessin onnistumista tasomaisuuserojen vallitessa. Lopuksi kartoitin nauhaleikkurilla lopputuotteina syntyneiden kaapelinauhojen keskivaiheilla esiintyvien hitsaussaumojen tasomaisuuseroja sekä niiden aiheuttamia poikkeamia ja kirjasin lopulliset paksuustulokset ylös.

Teoriaosuudessa esitellään aluksi lyhyesti Aurubis Group ja Aurubis Finland Oy sekä perehdytään kuparivalssaamon tuotteisiin, kupariin yleisenä teollisuusmateriaalina, työstöprosessin eri vaiheisiin teknillisenä tarkasteluna sekä työkoneisiin. Opin näytetyön käytännön osassa käydään läpi työstöprosessin aikana tehtyjä havaintoja sekä käsitellään tuloksia ja niistä pääteltäviä johtopäätöksiä ja parannusehdotuksia. Lopussa on esitetty taulukot mitattujen rullien paksuusvaihteluista kuparinauhaurullien päiden eli hitsaussauman kohdalla työstöprosessin eri kohdissa neljän kuukauden ajalta.

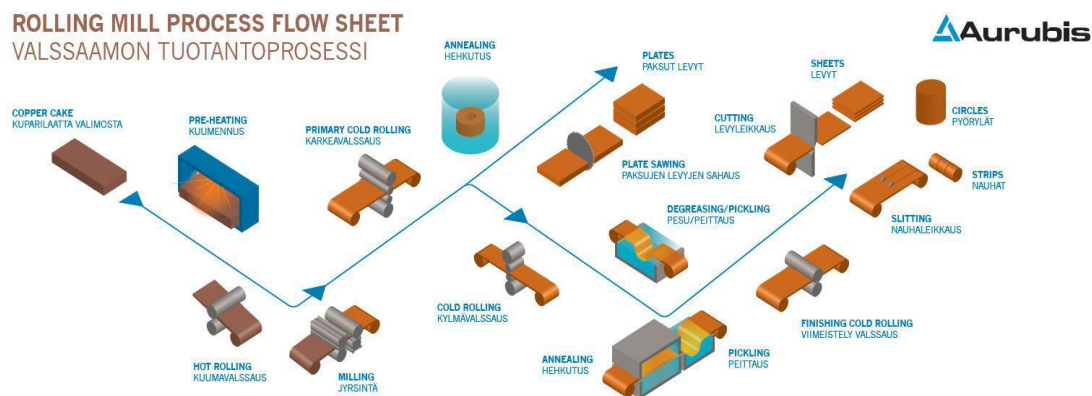
2 AURUBIS GROUP

Aurubis on maailman johtavin kuparintuottaja sekä suurin kuparin kierrätykseen erikoistunut yritys maailmassa. Aurubis tuottaa ja kierrättää jopa miljoona tonnia kuparikatodia vuosittain ja tästä kuparimäärästä valmistuu joukko laadukkaita kuparivalmisteita. Työpaikan Aurubis tarjoaa noin 6300:lle työntekijälle ja sillä on toimipaikkoja ympäri maailmaa. Tärkeimmät tuotantolaitokset löytyvät Euroopasta ja Yhdysvalloista. Erityisesti näistä mainittuna Saksa, jossa pääkonttori myös sijaitsee, Hampurissa. Aurubiksella on myös myynti- ja palvelutoimintaa laajalti Euroopassa, Aasiassa sekä Pohjois-Amerikassa. (Aurubis Group:n www-sivut 2017.)

Aurubis perustettiin vuonna 1866 ja se juhli vuonna 2016 sataviisikymmenvuotispäiviään jokaisessa toimipaikassaan maailmassa. Ydinliiketoiminta koostuu markkinakelpoisten kuparikatodien valmistamisesta muuan muassa romukuparista, kuparikasteesta sekä kierrätetystä raaka-aineksesta. Laajaan tuotevalikoimaan voidaan lukea nauhat, laatat, profiilit, paneelit, levyt, kelat sekä langat. Aurubis valmistaa myös erilaisista kupariseoksista erikoistuotteita ja näihin seoksiin voidaan luokitella messinki, tinapronssi, alumiinipronssi sekä hopeakupari. Aurubiksen tärkeimmät asiakkaat koostuvat pääosin rakennusalan, sähköteollisuuden, kemianteollisuuden sekä auto- ja uusiutuvan energianalan yrityksistä. (Aurubis Group:n www-sivut 2017.)

2.1 Aurubis Finland Oy

Aurubis Finland Oy sijaitsee Porissa Kokemäenjoen varrella kupariteollisuuspuistossa. Tuotantoyksiköihin kuuluu oma kuparivalimo ja kuparivalssaamo joista jälkimmäisessä kuparivalanteet valmistetaan asiakkaiden haluamiksi tuotteiksi. Pääasiakkaita ovat rakennusalan, sähköalan ja sähkötuotealan yritykset sekä muut alat joissa tarvitaan loistavaa sähkön- ja lämmönjohtavuutta vaativia tuotteita. Aurubis Finland Oy on tunnettu tuotteidensa virheettömyydestä sekä niiden erinomaisesta pinnanlaadusta. Päätuotteinaan Aurubis Finland Oy valmistaa levyjä, laattoja, nauhoja, pyörylöitä sekä keloja. Seuraavassa kuvassa (Kuva 1.) on nähtävissä valssaamon kaa-
viokuva, joka kuvaa hyvin kuparinauhaurullan etenemistä tuotantoprosessin aikana. (Aurubis Finland Oy:n www-sivut 2017.)



Kuva 1. Kaaviokuva valssausprosessista ja sen etenemisestä

2.2 Valssaamorakennus

Valssaamon tuotantoprosessi alkaa kaikkien tuotteiden osalta kuumavalssauksesta. Valimosta tilatut ja kuljetetut paksut kuparilaatat (180-210 mm) kuumennetaan askelpalkkiuunissa josta ne siirtyvät kuumavalssaukseen. Laatat valssataan tarkoitusperrän mukaan, joko laattana pysyviksi tuotteiksi tai kuparirulliksi. Laatat jäävät sahalle ja kuparirullien tumma kuonapinta poistetaan jyrsimällä paksuudesta noin 1 mm pois. Jyrsimän jälkeen rulla kylmävalssataan Achenbach–kylmävalssaimella haluttuun tavoitemittaan, joka vaihtelee 0,12-7 mm välillä. Kuparirullista valmistetaan eri levyisiä nauhoja, pyörylöitä tai levyjä. Tuotantoketjuun kuuluu erinäisiä hehkutuksia, peittauksia ja pesuja, riippuen tuotteesta.

Opinnäytetyössä seurattavat kaapelinauharullat päätyvät 3 mm paksuuteen ja ne valssataan neljällä pistolla. Pisto tarkoittaa yhtä valssin läpimennyttä kertaa, eli kaapelinauharullat kulkevat 4 kertaa valssin läpi. Kaapelinauharullat hitsataan yhteen ja jatkokäsitellään vuorotellen kylmävalssaamalla ja hehkuttamalla, kunnes haluttu tavoitepaksuus ja kovuus saavutetaan. Lopuksi tuote leikataan haluttuun leveyteen.

3 KUPARI MATERIAALINA

Puhtaana metallina tai seoksena käytettynä kuparin fysikaaliset, mekaaniset tai kemialliset ominaisuudet ovat löytäneet lukuisia sovellutuksia hyvin monissa käyttökoh-teissa. Kupari on tunnettu mainiosta sähkön- ja lämmönjohtavuudestaan, korroosion-kestävyydestään sekä muokattavuudestaan.

3.1 Kupari teollisuudessa

Kuparin tärkein käyttöalue on rakennusteollisuus, seuraavina ovat sähkö- ja elektro-niikkateollisuus, teollisuuden laitteet, kuljetusvälineet sekä erilaiset kulutustuotteet. Kuparin käyttö lisääntyy 2-3% vuosittain. Kupariesiintymiä on eri puolilla maailmaa ja jatkuvasti tehdään uusia löytöjä. Arvioidaan, että näistä saatava kupari riittää ih-miskunnan käyttöön pitkälle tulevaisuuteen. Suuri osa siitä kuparista, joka on tähän mennessä kaivettu esiin, on yhä käytössä, se on kierrätetty, puhdistettu ja mahdolli-sesti seostettu useita kertoja. Tämän metallin luonteeseen kuuluvat lyhytaikaiset nou-su- ja laskusuhdanteet, jotka voivat ilmetä tilapäisinä hintatilanteen häiriöinä. (Metal-liteollisuuden keskusliitto 2001, 8.)

3.2 Kuparin fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet

Tärkein kuparin ominaisuuksista on sähkönjohtavuus. Sähköä johtavista metalleista kuparilla on hopean jälkeen toiseksi paras sähkönjohtavuus. Laajaan käyttöön sovel-tuvista metalleista kuparin ainoa kilpailija on alumiini, jonka johtavuus on kuitenkin lähes puolta pienempi. Lähes kaikki sähkön johtamiseen tai kuljettamiseen tarvittava materiaali on muodossa tai toisessa kuparia. (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 8.)

Seuraavaksi tärkein ominaisuus on lämmönjohtavuus, jota hyödynnetään lukuisissa teollisissa sovelluksissa, kuten lämmönvaihtimissa ja jäähdytyskoneissa. Kemiallinen stabilisuus eli korroosionkestävyys säilyy useimmissa käyttöympäristöissä nopeasti muodostuvan pintaoksidin ansiosta, mikä tekee kuparista materiaalin, jota käytetään

laajasti vesi- ja kaasuputkistoissa ja venttiileissä. Korroosionkestävyytensä ansiosta kuparia käytetään myös katoissa, ränneissä ja syöksytorvissa sekä julkisivumateriaalina. (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 8.)

Neljäs kuparimetallien tärkein ominaisuus on hyvä muokattavuus. Kupari ja kupariseokset ovat helposti muovattavissa sekä kuumana että kylmänä. Sopivalla lämmönkäsittelyllä ja seostuksella saadaan aikaan myös hyvä koneistettavuus. Muokattavuuden laajemmassa merkityksessä kuparia ja kupariseoksia voidaan ”muokata” erilaisten värien aikaansaamiseksi. Kemiallisella syövytyksellä ja värjäyksellä syntyy erilaisia pintamateriaaleja. (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 8.)

4 HITSAUSTEKNIikka

Hitsaus on kappaleiden liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden. Hitsausprosessit jaetaan kahteen pääryhmään: sulahitsaukseen ja puristushitsaukseen.

Sulahitsauksessa hitsattavien liitoskohtien pinnat kuumennetaan sulaan lämpötilaan, jolloin pinnat sulavat yhteen ilman puristusta. Sulahitsausta voidaan tehdä joko lisäaineella tai ilman. Lisäaineella on suurin piirtein sama sulamispiste kuin perusaineella. Yleisimpiä sulahitsausmenetelmiä ovat metallikaarihitsausmenetelmät (puikkohitsaus, jauhekaarilankahitsaus), kaasukaarihitsausmenetelmät (MIG-, MAG-hitsaukset sekä näiden täytelankavariaatiot) ja kaasukaarihitsausmenetelmät sulamattomalla elektrodilla. (TIG-hitsaus) (Lepola & Makkonen 2005, 8-9.)

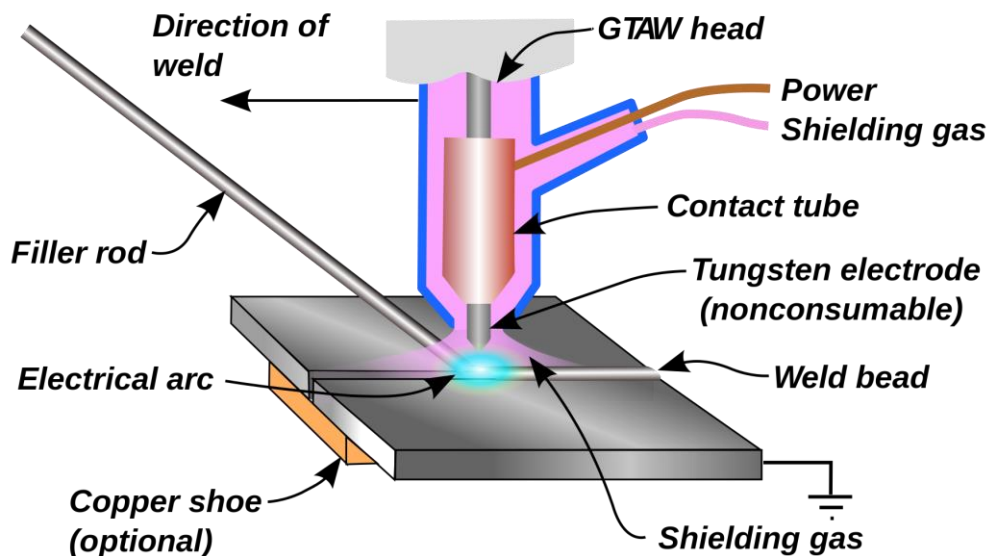
Puristushitsaus on hitsausmenetelmä, jossa lisäainetta ei käytetä yhteenliittämiseen. Liitoskohtien pinnat kuumennetaan korkeaan lämpötilaan ja niitä puristetaan määrättyllä voimalla yhteen, jolloin syntyy kiinteä liitos. Yleisin puristushitsausmenetelmä on vastushitsaus, johon voidaan lukea pistehitsaus. Se on autoteollisuudessa paljon käytetty liitosmenetelmä. (Lepola & Makkonen 2005, 8-9.)

Tässä osiossa esitettävät hitsausmenetelmät on tarkemmin rajattu TIG-hitsaukseen ja kuparin TIG-hitsaukseen ilman lisäainetta sillä Aurubis Finland Oy:lla kaikki suoritettavat hitsaukset ovat TIG-hitsauksia.

4.1 TIG-hitsaus

TIG-hitsaus (Tungsten Inert Gas Arc Welding), myös tunnettu nimellä GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), luokitellaan kaasukaarihitsausprosessiksi, jossa suojakaasun ympäröimällä alueella valokaari palaa työkappaleen ja sulamattoman volframielektrodin välissä (Kuva 2.). Suojakaasuna käytetään aina inerttiä eli reaktiokyvyttöä kaasua. Yleisesti miltei aina käytetään argonia joka suojaa myös kuumaa elektroodia hapettumiselta. TIG-hitsauksella on monia etuja muihin menetelmiin verrattuna, muun muassa metallurgisesti erittäin puhdas hitsi, lisäaineen optionaalisuus, ei kuonan muodostumista hitsiin, hyvä sulan ja tunkeuman hallinta sekä lämmöntuonnin hyvä säädettävyys. (ESAB:n [www-sivut](http://www.esab.com) 2017.)

TIG-hitsausta voidaan harjoittaa joko mekanisoidusti tai käsinhitsauksena. Käsinhitsausta voidaan verrata suoraan kaasuhitsaukseen. Mekanisointi taasen toteutetaan laittamalla hitsain kuljetuslaitteeseen. TIG-hitsausprosessi voidaan suorittaa lisäaineen kanssa tai vaihtoehtoisesti myös ilman sitä. Käsinhitsauksessa lisäaine tuodaan toisella kädellä hitsisulaan, johon se luonnollisesti sulaa. Mekaanisesti suoritettussa prosessissa lisäaineen syötön hoitaa automatisoitu langansyöttölaite. Lisäaineena on yleisesti 1000 mm pitkä suora ja paljas lisäainelanka, jonka kemialliset koostumukset vastaavat hitsattavan materiaalin koostumusta. (ESAB:n [www-sivut](http://www.esab.com) 2017.)



Kuva 2. TIG-hitsausprosessin yksikön tarkempi tarkastelu (Cabinetengineecologie:n www-sivut 2016)

TIG-hitsauksen yleisimpiä käyttöaloja ovat muun muassa ruostumattomien putkien sekä vaativien putkipalkkien ja putkistojen valmistus ja hitsaus, alumiinin, kuparin ja muiden erikoismetallien hitsaus ja ohuiden aineiden hitsaus. TIG-hitsauksen käyttöalue on aina 0,1 mm:stä ylöspäin. (ESAB:n www-sivut 2017.)

4.2 Kuparin hitsaus

Kuparia ja kupariseoksia käytetään pääasiassa tuotteissa, jotka vaativat hyvää lämmönjohtavuutta, sähkönjohtokykyä tai syöpymiskestävyyttä. Kupari on valmistustavastaan määriteltävissä yleisimmin joko elektrolyyttiseksi tai raffinoituksi (sulatettu). Molemmilla laaduilla on melko samat ominaisuudet ja ne voivat olla joko hapettomia tai happipitoisia. Happipitoisessa kuparissa on normaalisti 0,02-0,05% happea. Hapettomasta kuparista on valmistusvaiheessa poistettu happi tai siihen on lisätty fosforia joka sitoo hapen. Fosfori heikentää ilkeästi kuparin sähkönjohtavuutta, mutta antaa sille paremman hitsattavuuden, sillä fosfori suojaa hitsisulaa hapettumiselta. (Lepola & Makkonen 2005, 211.)

Kuparin sulamispiste on 1083 °C ja sen lämmönjohtavuuskyky on 6-10 kertaa suurempi kuin teräksellä. Kuparin lämpölaajeneminen on myös 1,5 kertaa terästä suu-

rempi. Edellä olevien ominaisuuksien vaikutuksesta kuparin hitsaukseen tarvittava lämpöenergia on suuri ja hitsauksessa syntyvät muodonmuutokset sitäkin suurempia. (Lepola & Makkonen 2005, 211.)

Kuparia hitsataan yleisimmin TIG- ja MIG-hitsausprosesseilla. Työpaikoilla kuparia hitsattaessa tulee aina käyttää kohdeimuria ja tehokasta ilmanvaihtoa, jotta hitsaus-
huurut saadaan poistettua. Huurut ovat terveydelle erittäin haitallisia. (Lepola & Makkonen 2005, 211.)

4.2.1 Kuparin TIG-hitsaus

Kuparin TIG-hitsaus suoritetaan käyttämällä tasavirtaa ja kytkemällä elektrodi miinusnapaan. Suojakaasuna on miellyttävintä käyttää argonia, heliumia tai argon-helium seoskaasua. Kuparin hitsauksessa alle 3mm perusainepaksuudella ei ole tarvetta esilämmitykselle, mikä lisää prosessin nopeutta ja mahdollistaa hitsattavuuden juostavuuden. Heliumin käyttö suojakaasuna mahdollistaa hitsauksen jopa 8 mm paksuudessa ilman esilämmitystä. (Lepola & Makkonen 2005, 211-212.)

Ainepaksuus mm	Elektrodin halkaisi- ja mm	Virta A	Lisäainelangan halkaisija mm	Argon-suojakaasun virtaus l/min.	Esilämmitys °C
1-1,5	1,6-2,4	80-130	1,6	5-6	-
2-3	2,4	140-160	2,4	6-8	-
4-6	2,4-3,2	170-240	3,2	8-10	150-200
8	3,2	280-300	3,2	8-12	300-350
10	4	340-360	4	10-12	400

Taulukko 1. Ohjearvosuosituksia hitsattaessa kuparia TIG-hitsausmenetelmällä (Lepola & Makkonen 2005, 211)

TIG-hitsauksessa kupari voidaan hitsata ilman lisäainetta, mutta jos lisäainetta käytetään, niin se valitaan perusaineena olevan kuparin koostumuksen ja käyttötarkoituksen mukaan. Yleiskäyttöön valitaan useimmiten tinaseosteinen lisäaine (CuSn), mutta hyvää sähkönjohtavuutta vaativissa kuparirakenteissa käytetään hopeaseosteista lisäainetta (CuAg). Lisäainelankojen pinnat pitää muistaa tarkistaa aina, langan tulee olla aina puhdas. (Lepola & Makkonen 2005, 212.)

Happivapaa kupari (fosforoitu) on hitsattavissa ilman lisäainetta, jos on mahdollista käyttää suojakaasuvirtauksella varustettua juuritukea. Alla olevassa kuvassa (Kuva 4.) on nähtävissä edellä mainittu juurituki. Myös happea sisältävät kuparimateriaalit pystytään hitsaamaan ilman lisäainetta, mutta pintaan muodostunut oksidikerros saattaa heikentää kuparin lujuusominaisuuksia ja korroosion kestävyyttä. Happea sisältävä kupari ei näin ollen ole tarkoitettu hitsattavaksi, mutta lisäaineen käyttö muuttaa asian. (Lepola & Makkonen 2005, 212.)

Kuparin suuret muodonmuutokset voivat aiheuttaa ilmaraon sulkeutumisen hitsauksen edetessä, mikä on otettava huomioon ilmarakoa mitoitettaessa. Lisäksi hitsaus tulee suorittaa alusta loppuun ilman viivytyksiä, varsinkin kuparilla jota on esilämmitetty, jottei lämpö pääse karkaamaan. Hitsausnopeus on myös pidettävä mahdollisimman nopeana, jotta lämpö leviäisi kuparirakenteeseen hyvin. (Lepola & Makkonen 2005, 212.)

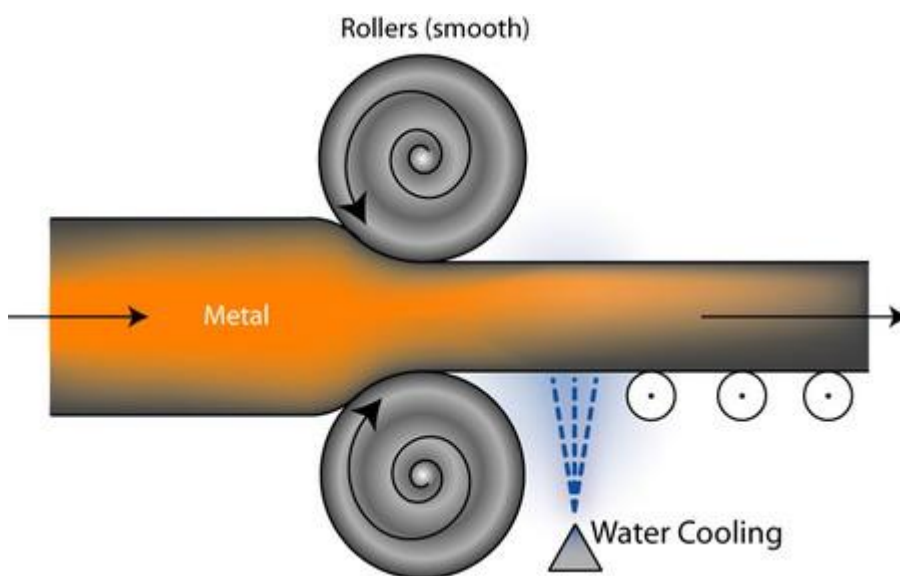


Kuva 3. Kemppi:n TIG-hitsauslaitteisto juurituella hitsaus- ja reunauskoneella valssaamoraennuksessa

5 VALSSAUSTEKNIikka

Valssaaminen on yleisimmin käytetty muodonmuutosprosessi. Se mielletään yleensä aineen muovaamiseksi kahden pyörivän työvalssin välissä, jolloin aihio, kulkiessaan valssien välisestä raosta, pienenee paksuusmitaltaan sen paksuiseksi kuin valssirakosen pakottaa. Muokkauksessa myös metallin rakenne muuttuu lujemmaksi (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 2003, 336). Tehtäessä suuria määriä yksinkertaista muokkausta vaativia tuotteita, on valssaaminen kaikkien tuottavin ja edullisin vaihtoehto. Valsattuihin tuotteisiin voidaan yleisimmin sisällyttää levyt, nauhat, profiilit ja kiskot. (Cambridgen yliopiston www-sivut 2017.)

Valssauksesta puhuttaessa voidaan kappaleen kuumamuokkausta kutsua kuumavalssaukseksi ja kylmämuokkausta kylmävalssaamiseksi.



Kuva 4. Kuva kuumavalssauksen pääperiaatteesta (Cambridgen yliopiston www-sivut 2017)

5.1 Valssauslaitteet ja -koneet

Valssaus tapahtuma suoritetaan valssaimilla, joissa on yleensä kaksi tai useampia valsseja. Kaksi valssia on yksinkertaisesti nimetty parivalssiksi, kolme taasen kolmi-valssi. Parivalssit ovat nykyisin kaikki reversiovalssaimia eli vaihtosuuntaisia. Re-

versiovalssaimet ovat yleensä käytössä tuotantoprosessin valssauksen alkuvaiheessa niin sanottuina valannevalssaimina. (Sihvonen 2003, 336-338.)

5.2 Kuparin valssaus

Kuparilevyn ja -nauhan valssausprosessi alkaa kuparilaatasta, jonka paksuus pyörii noin 180-210 mm tienoilla. Leveys laatoilla on yleisesti 700-1000 mm. Paksuutta saadaan ohennettua kuumavalssaamalla laatta yleisesti mitaan 5-15 mm. Kuuma-valssattaessa kuparia syntyy sen pinnalle pintakuonaksi kutsuttua mustaharmaata ainetta, joka poistetaan peittaamalla tai jyrsimällä. Kuparia kylmävalssattaessa sen pinnanlaatua ja mittatarkkuutta saadaan parannettua. Hehkuttamalla kylmävalssattu kupari saavuttaa halutun lujuuden ja kovuuden. Tämä kaikki mahdollistaa kupari-tuotteiden valmistuksen käyttötarkoituksen mukaan. (Sihvonen 2003, 344.)

6 TULOKSET JA PARANNUSEHDOTUKSET

Tähän kappaleeseen on koottu havaintoja työstöprosessin eri vaiheista ja tarkasteltu niitä mahdollisten ongelmakohtien ratkeamiseksi. Mittaustulokset on myös koottu tähän kappaleeseen. Lisäksi käydään läpi parannusehdotuksia työstöprosessille.

6.1 Havaintojen analysointi

Opinnäytetyön käytännön osan datan keruussa nousi esille monia asioita, jotka vaikuttavat kaapelinauharullien työstöprosessin onnistumiseen. Osaa havainnoista voidaan pitää merkittävänä tekijöinä ja kriteereinä laadun takaamiselle. Seuraavassa erittelyssä on koottu asioita joiden havaittiin vaikuttavan kaapelinauharullien valssattuun paksuuteen sekä hitsauksen onnistumiseen.

6.1.1 Valssattuun paksuuteen vaikuttavat asiat

1. Achenbach-kylmävalssaimen paksuusmittarin epätarkkuus. Valssattaessa kuparirullia on valssaajien oltava koko ajan perillä paksuuden mitta-arvoista, jotta he osaavat korjata valssirakoa ja taata oikean lopputuloksen. Tähän tarkoitukseen löytyy paksuusmittari, jolla kyseisen arvon muuttumista seurataan. Mittaria seurattaessa saadaan todella tarkat arvot paksuudelle ja pinnanlaadulle, tästä hyvä esimerkki on $+0,01\text{mm}$. Työtä suorittaessani kuulin, että mittaria oli viimeksi huollettu monta vuotta sitten, ja koneenkäyttäjät epäilivät tämän vaikuttavan osittain rullien päiden paksuuksien heittelyyn, sillä he saivat osittain virheellistä informaatiota mittalaitteesta.
2. Valssaimen lämpötila. Valssattaessa valssaimen lämpötila nousee kymmenisen astetta ja tämä saattaa vaikuttaa paksuuden muuttumiseen, sillä lämpimän valssaimen valssit painavat valssattavaa laattaa paremmin ja valssiraon oikeinasettaminen on helpompaa. Kokopäiväinen käyttö pitää lämpötilan samanlaisena, pois lukien kylmäkäynnistyksen jälkeinen lyhyt vaihe. Tauoilla valssain saattaa viiletä hieman, mikä pitäisi korvata taukotuourauksella, eli ylimääräinen valssaaja tuuraisi vuoron valssaajia heidän ollessaan tauolla.
3. Valssaussnopeus. Valssaussnopeus on äkillisesti muuttuessa suoraan verrannollinen mittarin tarkkuuteen. Hidas nopeus tekee mittarista tarkan, antaen sille aikaa tasoittua. Suuri nopeuden nosto luo äkkiseltään virhearvoa mittarissa ja sen arvot saattavat olla erilaisia kuin on luultu, mutta nopeuden tasoittuessa mittarin tarkkuus on tarkimmillaan. Suuret nopeudet ovat taloudellisesti kannattavimpia, sillä tuottavuus nousee.
4. Valssirako. Valssirako tarkoittaa työvalssien välistä etäisyyttä. Työvalssien säätö tapahtuu osittain manuaalisesti. Niiden välisen etäisyyden oikein asettaminen on erityisen tärkeää, jotta valssattavalle tuotteelle saadaan jokaisen piston aikana haluttu paksuus. Ammattitaito on vaikuttava asia tässä suhteessa, sillä kokenut valssaaja pystyy saattamaan valssiraon nopeasti kohdilleen. Valssattaessa samaa tuotetta monta kappaletta, on valssirako asetettava oikealle etäisyydelle ensimmäisen kuparirullan kohdalla, jotta tuotteiden välille ei

syntyisi suuria eroja. Jos valssirako ei ole sama usean samaan mittaun valssattavan tuotteen kohdalla, aiheuttaa se paksuusvaihteluita ja pahimmassa tapauksessa profiilivirheitä.

5. Kuparirullien päiden vinous (banaanimaisuus). Kuumavalssauksen jälkeen kuparirullan päät saattavat olla poikkeavia, esimerkiksi niissä saattaa esiintyä niin sanottua banaanimaisuutta, eli päät ovat käyriä. Päät katkaistaan ennen kylmävalssausta, mutta tasomaisuusero saattaa silti esiintyä käyrän alueen jälkeen. Vaikutus on pieni, mutta huomioon otettava.
6. Vedon loppuminen kelasta, kun rullan toinen pää irtoaa. Ennen viimeisen piston loppumista kuparirulla luontaisesti irtoaa sen hetkisestä syöttökelasta ja se kelataan vetokelaan, josta se siirtyy tuotannossa eteenpäin. Loppupään irrotessa syöttökelalta, valssit eivät enää paina kuparilevyä kunnolla, mikä jättää pään paksummaksi. Tälle ei näennäisesti voida mitään, mutta paksumpi pää on romutettavissa.

6.1.2 Kuparirullan hitsaukseen vaikuttavat asiat

1. Toleranssit ovat riippuvaisia valssaimesta. Hitsattaessa kahta kuparirullaa yhteen, on pyritty aina pysymään hitsaustoleranssivälissä joka on noin $20\mu\text{m}$ (3,00 mm:n pariin käy 2,98 mm ja 3,02 mm). Tiukka toleranssiväli estää tasomaisuuden suuret muutokset valssattaessa. Mittaustapahtuma käsittää alle jäävän rullan häntäpäähän paksuuden ja päälle tulevan rullan alkupään paksuuden. Hyvin valssattu kuparirulla on toleranssien puolesta aina kelpuutettava.
2. Päiden paksuuksien mittaaminen aina kolmesta pisteestä. On tärkeää saada paksuusmitta kuparirullan koko leveydeltä kolmesta pisteestä (kuparilevyn keskikohdasta sekä molemmista reunoista), jotta voidaan olla varmoja paksuuksien osumisesta toleranssivälille. Tämä vaikuttaa myös tasomaisuuseroihin ja yhtä suuret mittauserot rullien molemmista päistä samoista pisteistä mitattuna mielletään optimitilanteeksi.

3. Kuparirullan päiden epäpuhtaus/öljyisyys. Hitsaussaumaa tehtäessä, on varmistettava, että vältytään kaikelta epäpuhtaudelta. Epäpuhtaudet estävät täydellisen sauman muodostumisen hitsattaessa ja pahimmassa tapauksessa hitsaussaumaan syntyy reikiä. Tämänkaltainen sauma ei missään tapauksessa ole kelpuutettava ja sen tilalle on tehtävä uusi.

Yksi vaikuttava tekijä on valssaimelta saapuvien rullien öljyisyys. Vals-saimella käytetty valssiöljy jättää usein jälkensä valmiisiin rulliin. Hitsaus- ja reunauskoneella on yleensä romutettu leikkurilla rullien päistä noin kymmenen 60cm mittaista palaa. Paksuudet tasoittuvat hyvin tällä romutetulla matkalla ja epäpuhtaudet poistuvat.

4. Pyritään hitsaamaan aina hyvä sauma. Hyvän sauman hitsaus on aina tärkeää, sillä sauma kestää paremmin jälkimuokkaukset ja se ei pääse repeämään.

6.2 Paksumman kuparinauhharullan testiajo

Kokeilumielessä haluttiin testata, miten Achenbach-kylmävalssaimella paksuuteen tehtävä pieni heitto voisi vaikuttaa työstöprosessiin kokonaisuudessaan. Käytännössä haluttiin nähdä, miten hitsaus onnistuu paksummalla materiaalilla ja kuinka paksuuden vaihtelut näkyivät kovemalla muokkauksella.

Kaksi kuparinauhharullaa jätettiin paksuuteen 3,5 mm (3 mm sijasta) Achenbach-kylmävalssaimella, mutta valssipistojen määrä pidettiin samassa eli neljässä kappalessa. Hitsaus- ja reunauskoneella suoritettu hitsausprosessi epäonnistui kerran, mutta onnistui seuraavalla yrityksellä. Materiaali ei ollut täysin happipuhdasta, joten sauman epäonnistuminen oli odotettavissa. Muutoin hitsaus paksummalla materiaalilla onnistui todella hyvin. Toleranssitkin saatiin +- 0,02 mm välille. Loput työvaiheet työstöprosessista sujuivat myös ongelmitta. Schloemann –kylmävalssaimella kuparinauhharulla valssattiin mittaansa 0,93 mm samoilla pistomäärillä ja toleranssi-väli pysyi kohtuullisena. Leikkausprosessi onnistui hyvin.

6.3 Hitsaussauman paksuuden mittaustulokset

Seuraavaksi käydään läpi paksuuksien mittaustuloksista koottuja taulukoita kuparirullan hitsausvaiheessa ja leikkausvaiheessa. Mittaustulokset hitsausvaiheessa on esitetty neljän kuukauden ajanjaksolta ja leikkausvaiheen taulukot on kiteytetty alku- ja loppuvaiheelle, eli joulukuun lopulta huhtikuun lopulle. Taulukot ovat nähtävissä seuraavassa kappaleessa.

Hitsaussauman tarkasteluissa on mainittu saman työn yhteenhitsattavat kuparirullat merkitsemällä kumpi tulee ison rullan päällimmäiseksi ja kumpi alimmaiseksi. Paksuudet on mitattu kolmesta pisteestä ja reunimmaisista paksuusarvoja on verrattu keskikohdan arvoon. Tulokset on esitetty promillen tarkkuudella.

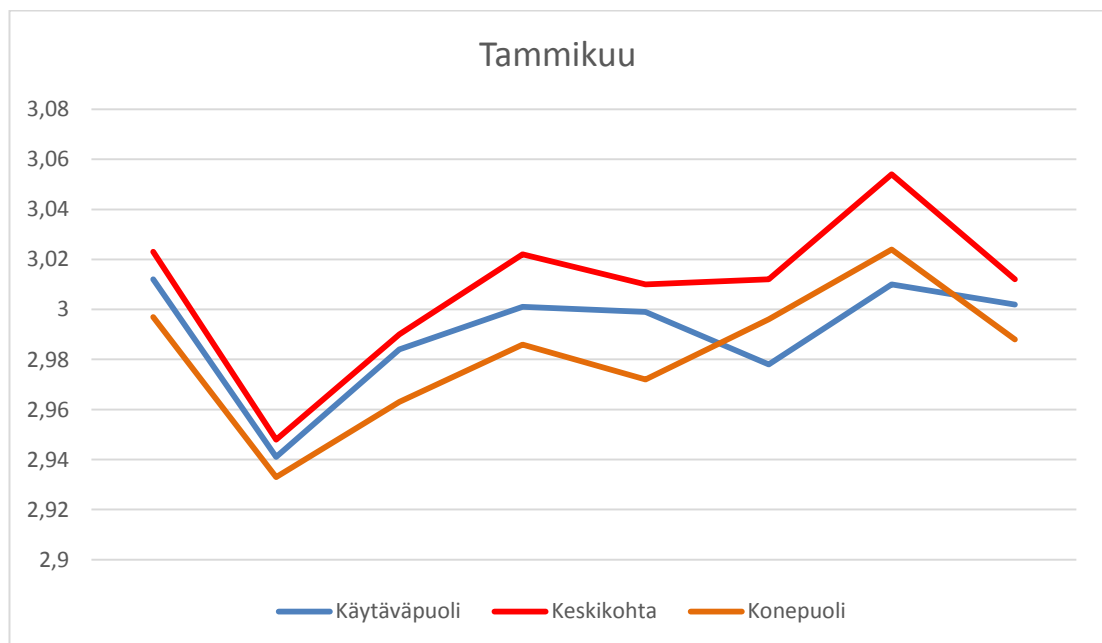
Leikkausvaiheen hitsaussauman tarkastelussa tuote on saavuttanut lopullisen mittansa, tässä tapauksessa paksuudet 0,6 mm ja 0,8 mm. Saumakohdan max.- ja min.-arvot on luettu VGraph- nimisestä ohjelmasta ja näistä on johdettu saumakohdan paksuuden keskiarvo. Toleranssiväli kertoo, kuinka paljon paksuus saa heittää, esimerkiksi $\pm 0,025$ mm toleranssivälillä paksuus saa olla 0,575-0,625 mm.

Tuloksista voidaan nähdä, että paksuuden vaihteluvälit ovat tasoittuneet neljän kuukauden aikana. Tarkka paksuuden mittaaminen ennen hitsausta, hyvä hitsaussauman teko, hallitut ajonopeudet valssilla ja huolellisuus jatkokäsittelyssä ovat kaikki vaikuttaneet asiaan. Parannusehdotuksia työstöprosessille on eritelty seuraavassa kappaleessa.

6.3.1 Mittaustulokset päiden paksuuserosta hitsausvaiheessa

Tammikuu							
Työnnumero	Rullanumero	Hitsattava pää rullasta	Käytäväpuoli	Käytäväpuolen % ja µm ero keskikohdasta	Keskikohta	Konepuolen % ja µm ero keskikohdasta	Konepuoli
2 yhteen	Curamic						
266263	530894	Loppupää	3,012 mm	3,6 % / 11 µm	3,023 mm	8,7 % / 26 µm	2,997 mm
266263	530895	Alkupää	2,941 mm	2,4 % / 7 µm	2,948 mm	5,1 % / 15 µm	2,933 mm
266263	530896	Loppupää	2,984 mm	2 % / 6 µm	2,990 mm	9,1 % / 27 µm	2,963 mm
266263	530897	Alkupää	3,001 mm	6,9 % / 21 µm	3,022 mm	12,1 % / 36 µm	2,986 mm
266263	533339	Loppupää	2,999 mm	3,7 % / 11 µm	3,010 mm	12,8 % / 38 µm	2,972 mm
266263	533337	Alkupää	2,978 mm	11,2 % / 34 µm	3,012 mm	5,3 % / 16 µm	2,996 mm
266263	533299	Loppupää	3,010 mm	14,4 % / 44 µm	3,054 mm	9,9 % / 30 µm	3,024 mm
266263	533298	Alkupää	3,002 mm	3,3 % / 10 µm	3,012 mm	8,0 % / 24 µm	2,988 mm

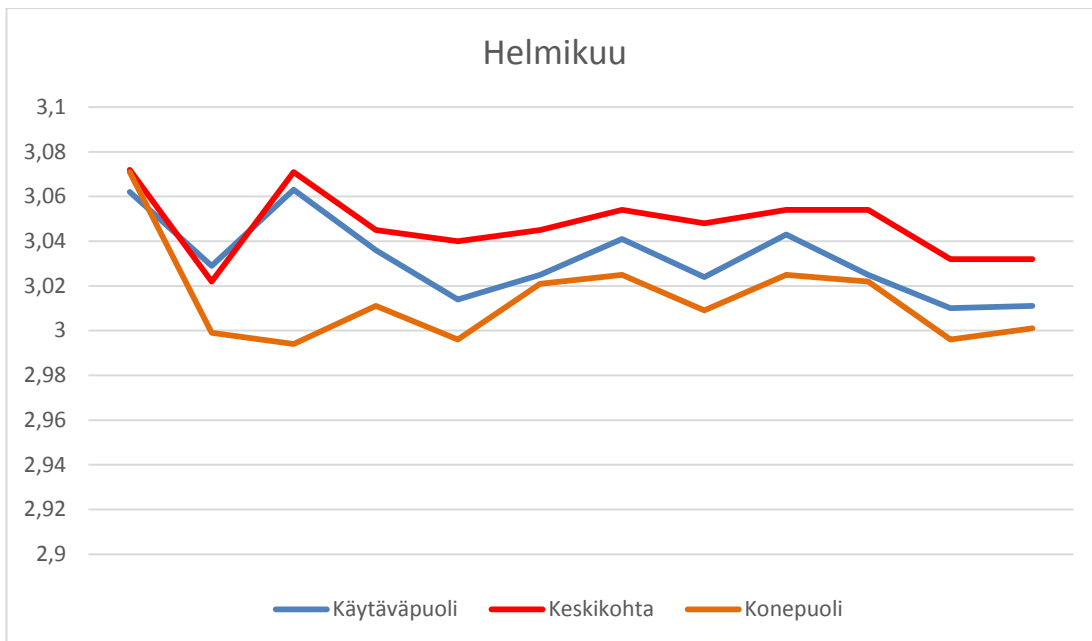
Taulukko 2. Tammikuun tulokset paksuuserosta hitsausvaiheessa



Kaavio 1. Tammikuun tulokset diagrammina paksuuserosta hitsausvaiheessa

Helmikuu							
Työnnumero	Rullanumero	Hitsattava pää rullasta	Käytäväpuoli	Käytäväpuolen % ja µm ero keskikohdasta	Keskikohta	Konepuolen % ja µm ero keskikohdasta	Konepuoli
2 yhteen	NK						
267203	534001	Loppupää	3,062 mm	3,3 % / 10 µm	3,072 mm	0,3 % / 1 µm	3,071 mm
267203	533999	Alkupää	3,029 mm	2,3 % / 7 µm	3,022 mm	7,7 % / 23 µm	2,999 mm
267203	534004	Loppupää	3,063 mm	2,6 % / 8 µm	3,071 mm	25,8 % / 77 µm	2,994 mm
267203	534003	Alkupää	3,036 mm	2,9 % / 9 µm	3,045 mm	11,1 % / 34 µm	3,011 mm
267202	535389	Loppupää	3,014 mm	8,5 % / 26 µm	3,040 mm	14,7 % / 44 µm	2,996 mm
267202	535393	Alkupää	3,025 mm	6,6 % / 20 µm	3,045 mm	7,9 % / 24 µm	3,021 mm
267202	535392	Loppupää	3,041 mm	4,3 % / 13 µm	3,054 mm	9,6 % / 29 µm	3,025 mm
267202	535390	Alkupää	3,024 mm	7,9 % / 24 µm	3,048 mm	12,9 % / 39 µm	3,009 mm
267202	535391	Loppupää	3,043 mm	3,6 % / 11 µm	3,054 mm	9,6 % / 29 µm	3,025 mm
267202	535388	Alkupää	3,025 mm	8,2 % / 29 µm	3,054 mm	10,6 % / 32 µm	3,022 mm
267202	535386	Loppupää	3,01 mm	7,3 % / 22 µm	3,032 mm	12,0 % / 36 µm	2,996 mm
267202	535387	Alkupää	3,011 mm	6,9 % / 21 µm	3,032 mm	10,3 % / 31 µm	3,001 mm

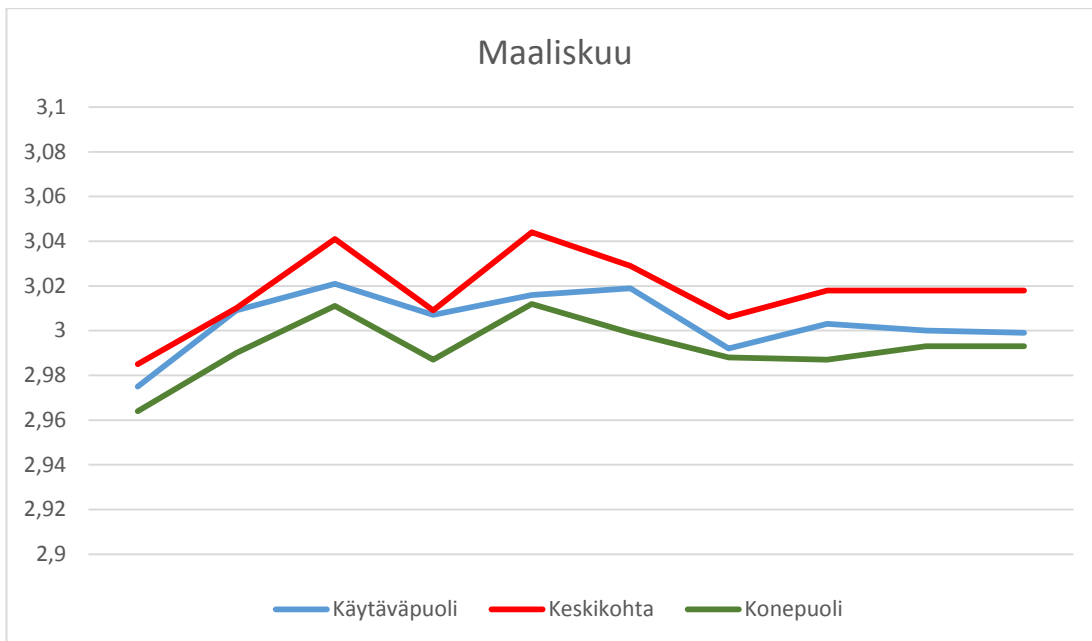
Taulukko 3. Helmikuun tulokset paksuuserosta hitsausvaiheessa



Kaavio 2. Helmikuun tulokset diagrammina paksuuserosta hitsausvaiheessa

Maaliskuu								
Työnumero	Rullanumero	Hitsattava pää rullasta	Käytäväpuoli	Käytäväpuolen % ja μm ero keskikohdasta	Keskikohta	Konepuolen % ja μm ero keskikohdasta	Konepuoli	
2 yhteen								
269921	540261	Loppupää	2,975 mm	3,3 % / 10 μm	2,985 mm	7,0 % / 21 μm	2,964 mm	
269921	540263	Alkupää	3,009 mm	0,33 % / 1 μm	3,010 mm	6,6 % / 20 μm	2,990 mm	
269431	540091	Loppupää	3,021 mm	6,6 % / 20 μm	3,041 mm	9,8 % / 30 μm	3,011 mm	
269431	540090	Alkupää	3,007 mm	0,66 % / 2 μm	3,009 mm	7,3 % / 22 μm	2,987 mm	
269431	540090	Loppupää	3,016 mm	9,2 % / 28 μm	3,044 mm	10,5 % / 32 μm	3,012 mm	
269431	540097	Alkupää	3,019 mm	3,3 % / 10 μm	3,029 mm	9,9 % / 30 μm	2,999 mm	
269925	540089	Loppupää	2,992 mm	4,6 % / 14 μm	3,006 mm	6,0 % / 18 μm	2,988 mm	
269925	540096	Alkupää	3,003 mm	4,97 % / 15 μm	3,018 mm	10,3 % / 31 μm	2,987 mm	
269925	540099	Loppupää	3,000 mm	5,9 % / 18 μm	3,018 mm	8,3 % / 25 μm	2,993 mm	
269925	540088	Alkupää	2,999 mm	6,3 % / 19 μm	3,018 mm	8,3 % / 25 μm	2,993 mm	

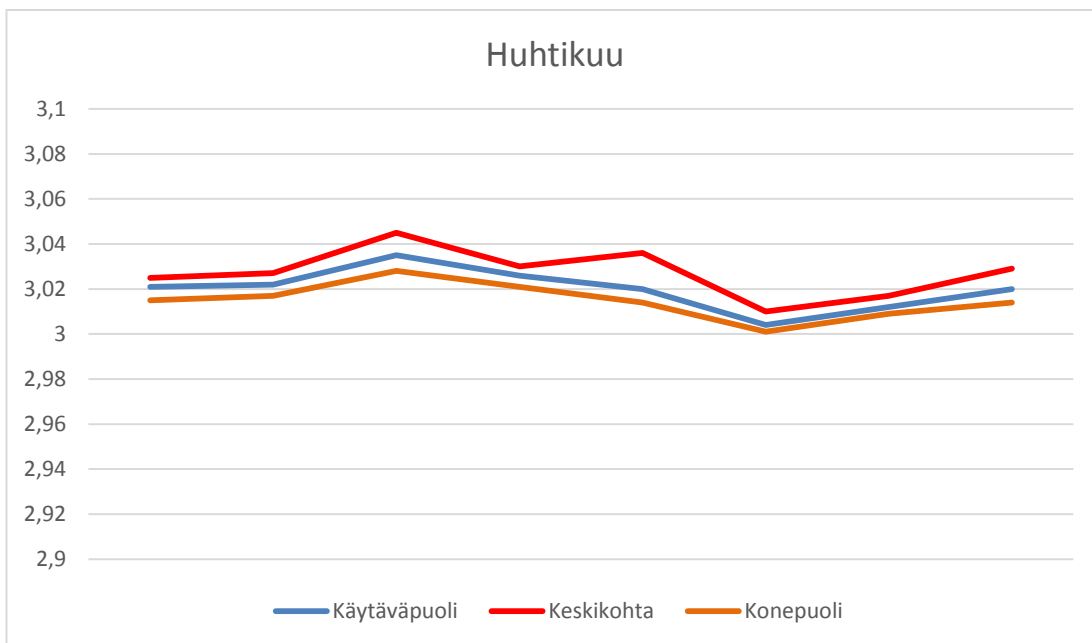
Taulukko 4. Maaliskuun tulokset paksuuserosta hitsausvaiheessa



Kaavio 3. Maaliskuun tulokset diagrammina paksuuserosta hitsausvaiheessa.

Huhtikuu								
Työnumero	Rullanumero	Hitsattava pää rullasta	Käytäväpuoli	Käytäväpuolen % ja µm ero keskikohdasta	Keskikohta	Konepuolen % ja µm ero keskikohdasta	Konepuoli	
2 yhteen	NSW							
266486	534260	Loppupää	3,021 mm	1,3 % / 4 µm	3,025 mm	3,3 % / 10 µm	3,015 mm	
266486	534022	Alkupää	3,022 mm	1,6 % / 5 µm	3,027 mm	3,3 % / 10 µm	3,017 mm	
266486	534021	Loppupää	3,035 mm	3,3 % / 10 µm	3,045 mm	5,6 % / 17 µm	3,028 mm	
266486	534020	Alkupää	3,026 mm	1,3 % / 4 µm	3,03 mm	2,9 % / 9 µm	3,021 mm	
266486	534017	Loppupää	3,02 mm	5,2 % / 16 µm	3,036 mm	7,3 % / 22 µm	3,014 mm	
266486	534018	Alkupää	3,004 mm	1,9 % / 6 µm	3,01 mm	2,9 % / 9 µm	3,001 mm	
266486	534033	Loppupää	3,012 mm	1,7 % / 5 µm	3,017 mm	2,7 % / 8 µm	3,009 mm	
266486	534019	Alkupää	3,02 mm	2,9 % / 9 µm	3,029 mm	4,9 % / 15 µm	3,014 mm	

Taulukko 5. Huhtikuun tulokset paksuuserosta hitsausvaiheessa.

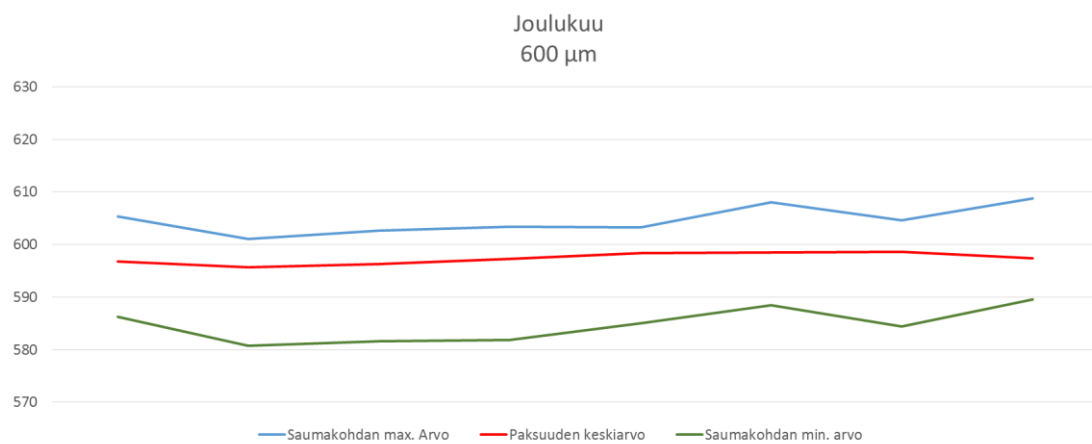


Kaavio 4. Huhtikuun tulokset diagrammina paksuuserosta hitsausvaiheessa

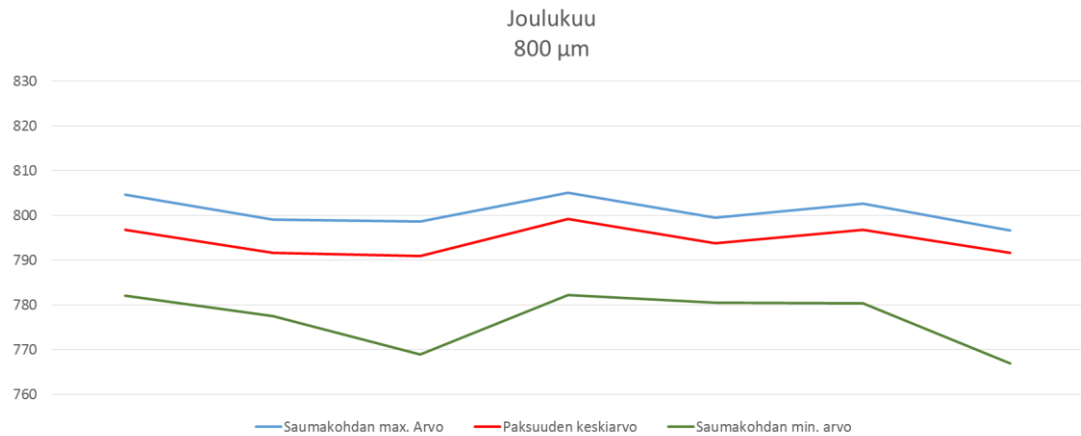
6.3.2 Mittaustulokset hitsausseaman kohdalta leikkausvaiheessa

joulu.15							
600 µm							
Työnumero	Rullanumero	Leikkauspäivä	Nauhan paksuus	Toleranssit	Saumakohdan max. arvo	Saumakohdan min. arvo	Paksuuden keskiarvo
265605	532856	1.12.2015	600 µm	+/- 25 µm	605,3 µm	586,2 µm	596,8 µm
265605	532861	1.12.2015	600 µm	+/- 25 µm	601,1 µm	580,7 µm	595,7 µm
265605	532863	1.12.2015	600 µm	+/- 25 µm	602,7 µm	581,6 µm	596,3 µm
265605	532868	1.12.2015	600 µm	+/- 25 µm	603,4 µm	581,9 µm	597,3 µm
265756	533531	11.12.2015	600 µm	+/- 25 µm	603,3 µm	585,0 µm	598,4 µm
265756	533541	11.12.2015	600 µm	+/- 25 µm	608,0 µm	588,4 µm	598,5 µm
265756	533542	11.12.2015	600 µm	+/- 25 µm	604,6 µm	584,4 µm	598,6 µm
265756	533526	11.12.2015	600 µm	+/- 25 µm	608,8 µm	589,5 µm	597,4 µm
800 µm							
Työnumero	Rullanumero	Leikkauspäivä	Nauhan paksuus	Toleranssit	Saumakohdan max. arvo	Saumakohdan min. arvo	Paksuuden keskiarvo
255384	1/2 532303	1.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	804,7 µm	782,1 µm	796,8 µm
255384	2/2 532303	1.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	799,1 µm	777,6 µm	791,6 µm
255384	532304	2.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	798,6 µm	769,0 µm	791,0 µm
255384	1/2 532334	2.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	805,1 µm	782,3 µm	799,2 µm
255384	2/2 532334	2.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	799,5 µm	780,6 µm	793,8 µm
265384	1/2 522302	2.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	802,6 µm	780,4 µm	796,8 µm
265384	2/2 532302	2.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	796,7 µm	767,0 µm	791,6 µm
266063	1/2 533943	22.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	803,4 µm	781,1 µm	795,2 µm
266063	2/2 533943	22.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	808,0 µm	783,7 µm	798,9 µm
266063	1/2 533963	22.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	803,0 µm	776,4 µm	796,0 µm
266063	2/2 533963	22.12.2015	800 µm	+/- 25 µm	804,7 µm	778,5 µm	796,9 µm

Taulukko 6. Valmiin kaapelinauhan hitsausseaman paksuustarkastelu kahdessa eri paksuudessa joulukuulta



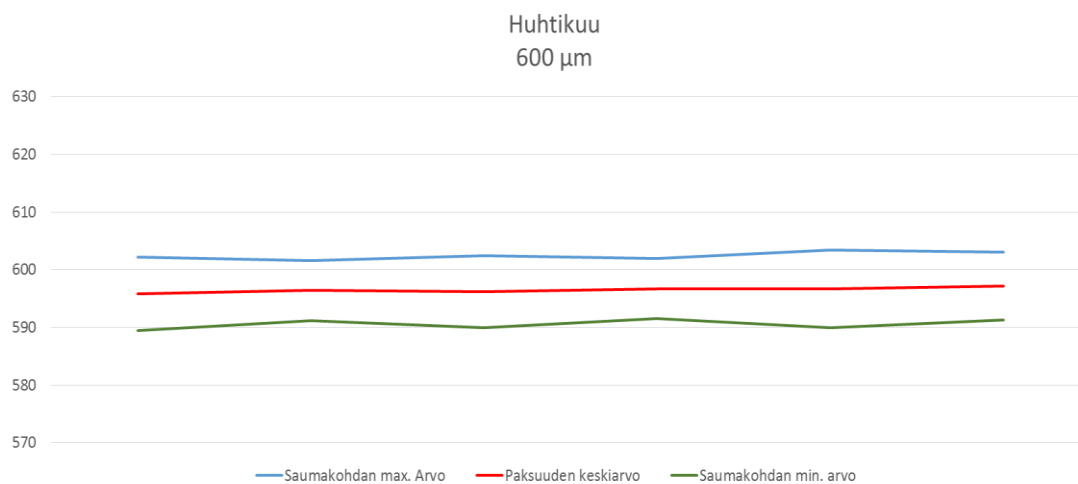
Kaavio 5. Hitsausseaman paksuustarkastelu leikkausvaiheessa 0,6 mm paksuudessa joulukuussa



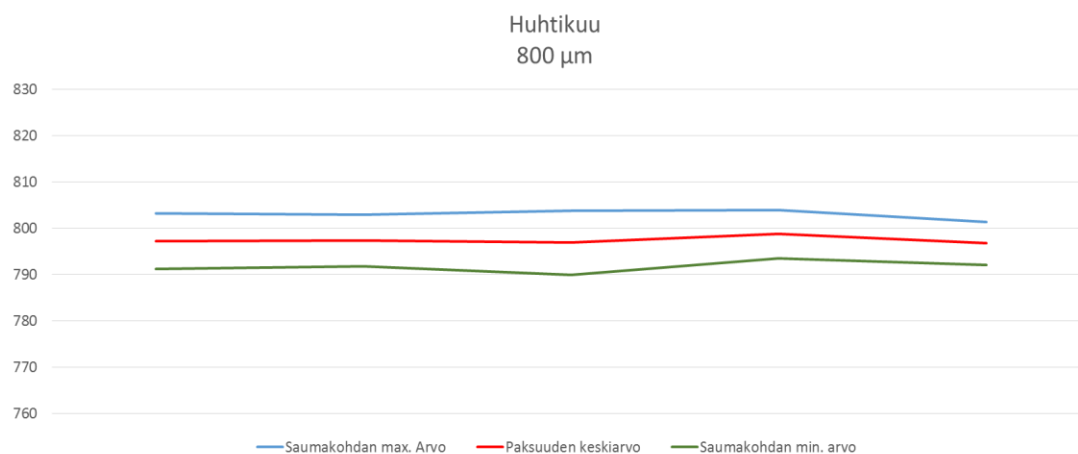
Kaavio 6. Hitsaussauman paksuustarkastelu leikkausvaiheessa 0,8 mm paksuudessa joulukuussa

huhti.16							
600 µm							
Työnumero	Rullanumero	Leikkauspäivä	Nauhan paksuus	Toleranssit	Saumakohdan max. arvo	Saumakohdan min. arvo	Paksuuden keskiarvo
266264	1/2 544424	4.4.2016	600 µm	+ / - 25 µm	602,2 µm	589,4 µm	595,8 µm
266264	2/2 544424	4.4.2016	600 µm	+ / - 25 µm	601,6 µm	591,2 µm	596,4 µm
266264	2/2 544429	4.4.2016	600 µm	+ / - 25 µm	602,4 µm	590,0 µm	596,2 µm
266264	2/2 544429	4.4.2016	600 µm	+ / - 25 µm	601,9 µm	591,5 µm	596,7 µm
266429	1/2 544493	7.4.2016	600 µm	+ / - 25 µm	603,4 µm	589,9 µm	596,7 µm
266429	2/2 544493	7.4.2016	600 µm	+ / - 25 µm	603,1 µm	591,3 µm	597,2 µm
800 µm							
Työnumero	Rullanumero	Leikkauspäivä	Nauhan paksuus	Toleranssit	Saumakohdan max. arvo	Saumakohdan min. arvo	Paksuuden keskiarvo
266486	1/2 543326	1.4.2016	800 µm	+ / - 25 µm	803,2 µm	791,2 µm	797,2 µm
266486	2/2 543326	1.4.2016	800 µm	+ / - 25 µm	802,9 µm	791,8 µm	797,4 µm
266486	2/2 543378	12.4.2016	800 µm	+ / - 25 µm	803,8 µm	790,0 µm	796,9 µm
266486	2/2 543378	12.4.2016	800 µm	+ / - 25 µm	804,0 µm	793,5 µm	798,8 µm
266529	1/2 544473	23.4.2016	800 µm	+ / - 25 µm	801,4 µm	792,1 µm	796,8 µm
266529	2/2 544473	23.4.2016	800 µm	+ / - 25 µm	804,3 µm	790,3 µm	797,3 µm

Taulukko 7. Valmiin kaapelinauhan hitsaussauman paksuustarkastelu kahdessa eri paksuudessa loppuvaiheessa huhtikuulta



Kaavio 7. Valmiin kaapelinauhan hitsaussauman paksuustarkastelu 0,6 mm paksuudessa loppuvaiheessa huhtikuulta



Kaavio 8. Valmiin kaapelinauhan hitsaussauman paksuustarkastelu 0,8 mm paksuudessa loppuvaiheessa huhtikuulta

6.4 Parannusehdotukset työstöprosessille

Tähän kappaleeseen on koottu parannusehdotuksia ja –kehotuksia työstöprosessin eri vaiheille. Osa parannusehdotuksista on omia pohdintoja, mutta nekin olisi syytä ottaa huomioon yhtäläisesti.

Parannusehdotukset Achenbach – kylmävalssaimelle.

1. Mittalaitteen mahdollinen virittäminen. Mittalaite on tärkeä valssaajille, jotta he osaavat tuottaa haluttua paksuutta valssattaville rullille, joten se, että se toimii oikein on elintärkeää. Parannuksena voisi ehdottaa mittalaitteen huoltoa. Huoltoprosessi ei tule halvaksi, mutta se edesauttaisi pitkälle tulevaisuuteen.
2. Rullien päiden valssaus hitaammalla vauhdilla. Päiden valssaus 10 metrin matkalta hitaammalla vauhdilla viimeisen piston aikana parantaa paksuusvaihteluväliä ja helpottaa päiden liitosprosessia hitsaus- ja reunauskoneella. Käytännössä helppo toteuttaa kiinnittämällä huomiota viimeisen piston aikana.
3. Lämmenneellä valssaimella ajaminen aina kun mahdollista. Lämpimän valssaimen valssit painavat valssattavaa kuparirullaa paremmin. Tämä edesauttaa myös valssaajia kun he asettavat valssirakoa kohdilleen. Taukotuuraus on helppo vaihtoehto korjata tilanne eli ylimääräinen henkilö käyttäisi valssainta, kun toinen käyttäjistä on tauolla.

Parannusehdotukset hitsaus- ja reunauskoneelle hitsausvaiheelle:

1. Päiden paksuuksien mittaaminen aina kolmesta kohtaa. Paksuuden tarkka mittaaminen kolmesta kohtaa antaa paremmat lähtökohdat päiden liitosprosessille. Paksuus on pitkän aikaa mitattu vain keskeltä, mikä ei anna kokonaista kuvaa tilanteesta. Tilanne on helposti korjattavissa.
2. Mahdollisuus hankkia erillinen mittalaitteisto hitsaus- ja reunauskoneelle. Automaattinen laserilla toimiva mittalaitteisto nopeuttaisi prosessia hieman ja antaisi välittömästi varmat arvot. Kallis vaihtoehto, mutta investointi-idea.
3. Hyvän sauman hitsaaminen. Ei niinkään parannusehdotus vaan –kehotus, välillä prosessiin on päässyt yhteenhitsattu rulla, jossa on ollut reikä saumassa. Reiällinen sauma on erittäin herkkä repeämislle jatkokäsittelyssä, erityisesti

valssauksessa. Sauman uusiminen kestää noin viisi minuuttia ja uusimatta jättäminen maksaa yhtiölle todella paljon. Huolellisuus ei maksa mitään.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön käytännön osuus ja datan keruu suoritettiin Aurubis Finland Oy:n kehitysteknikko Pellervo Talvitien valvonnassa sekä yhteistyössä työstöprosessin koneiden käyttöhenkilökunnan kanssa. Tarkoituksena oli selvittää yhteenhitsattavien kuparinauharullien päiden paksuuseron vaikutusta hitsaussauman kohdalla ja kuinka se heijastuu työstöprosessin eri vaiheissa keräämällä dataa työstöprosessin eri vaiheilta ja tutkimalla mittakaavioita. Datan keruu ja projektin eteneminen sujuivat aikataulun mukaisesti.

Opinnäytetyötä tehdessäni opin paljon työstöprosessista ja työkoneista, erityisesti hitsaus- ja reunauskoneesta, jonka käyttäjänä ja apulaisena olin toiminut kolme viime kesää. Achenbach-kylmävalssaimen toimintaan tutustuminen edesauttoi myös käsitystä valssatuista kaapelinauharullista, sillä niiden parissa viime kesät lähtökohtaisesti kuluivat.

Opinnäytetyön teon aikana syntyneet huolellisuuteen liittyvät parannusehdotukset ovat lähtökohtaisesti helposti toteutettavissa, sillä ne eivät vaadi investointeja ja kunollinen ohjeistus ja työntekijän perehdyttäminen riittivät. Saaduista mittaustuloksista näkee niiden edesauttaneen turhien hävikkien syntymistä paksuuden arvojen pysyessä toleranssiraja-arvojen sisäpuolella. Valssaimella kuparirullien päiden maltillisempi valssaus ja aina hyvän hitsaussauman teko hitsaus- ja reunauskoneella voidaan nostaa tärkeimmiksi tekijöiksi. Investointeja vaativat mittalaitteparannukset ovat myös tärkeä asia, erityisesti kylmävalssaimella, mutta hitsaus- ja reunauskoneen erillinen mittalaitteisto ei ole välttämätön, sillä sellainen maksaisi tuhansia euroja. Lisäksi manuaalisesti mikrometrillä mitattuna kuluva aika työtunteihin suhteutettuna on häviävän pieni verraten automatisoituun mittalaitteiston käyttöön. Saatu mittaustulos on myös tarkkuudeltaan yhteneväinen.

Tulosten varmuutta edesauttaa vielä se, että viime vuoden loppupuolella tehdyt ro-
mutukset eivät ole pääsääntöisesti johtuneet enää paksuuden heitoista, vaan muista
pinnanlaatuun vaikuttaneista asioista.

LÄHTEET

Aaltonen, K., Aromäki, M., Ihalainen, E. & Sihvonen, P. 2003. Valmistustekniikka. Helsinki: Hakapaino Oy.

Aurubis Finland Oy:n www-sivut 2016. Viitattu 26.1.2017.

<http://finland.aurubis.com/aurubis-finland-oy/>

Aurubis Group:n www-sivut 2016. Viitattu 26.1.2017. <https://www.aurubis.com>

Cambridgen yliopiston www-sivut. Viitattu 2.1.2017.

<https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/metal-forming-2/rolling.php>

ESAB:n www-sivut. Viitattu 2.1.2017.

<http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/tig-hitsaus.cfm>

Lepola, P. & Makkonen, M. 2008. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY

Metalliteollisuuden keskusliitto, MET. 2001. Raaka-ainekäsikirja : 3, Kuparimetallit. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

