

Jere Karpinen

KYLMÄVALSSAIMEN VALSSIEN PINNANLAADUN VAIKUTUS
VALSSATUN KUPARINAUHAN PINNANLAATUUN

Konetekniikan koulutusohjelma

2020

KYLMÄVALSSAIMEN VALSSIEN PINNANLAADUN VAIKUTUS VALSSATUN KUPARINAUHAN PINNANLAATUUN

Karpinen, Jere Jevgeni
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2020
Ohjaaja: Juuso, Jarmo
Sivumäärä: 50
Liitteitä:

Asiasanat: Kupari, kylmävalssaus, pinnanlaatu, pinnankarheus, hionta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kylmävalssaimen valssien pinnanlaadun vaikutusta valssatun kuparinauhan pinnanlaatuun. Projektia jaoteltiin kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa tutkittiin työvalssien pinnankarheuksia ennen valssausta ja valssauksen jälkeen pinnankarheusmuutoksen määrittämiseen. Ensimmäisessä osassa projektia laadittiin Excel taulukon työvalssien pinnankarheustaulukon.

Toisessa osassa tutkittiin tuotteiden pinnankarheuksia suhteessa muokkausprosenttiin. Työtä varten otettiin tuotteista näytepaloja pinnankarheusmittauksia varten. Myös tässä osassa projektia laadittiin Excel taulukoita, joissa osoitetaan valssien ja näytepalojen pinnankarheudet sekä tuotteille tehdyt muokkausprosentit.

Viimeisessä osassa projektia tehtiin koe Achenbach kylmävalssaimella. Kokeen tarkoituksena oli selvittää, miten pintavirheellisten työvalssien pinta vaikuttaa kuparinauhan pintaan. Työvalsseissa oli selvästi erottuva nousuraita. Kokeessa valssattiin neljä jyrskyttä rullaa, jotka ohjattiin Achenbach kylmävalssaimelta läpivetoauunille ja loppujen loppuksi Sundwig viimeistelyvalssaimelle. Jokaisella työpisteellä seurattiin kuparinauhon pinnanlaatua ja otettiin kuvia.

SURFACE QUALITY'S EFFECT OF COLD ROLLING MACHINE'S ROLLERS TO THE SURFACE QUALITY OF COLD ROLLED COPPER ROLL

Karpinen, Jere Jevgeni

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical Engineering

November 2020

Supervisor: Juuso, Jarmo

Number of pages: 50

Appendices:

Keywords: Copper, cold rolling, surface quality, surface roughness, grinding

The aim of this thesis was to clarify, how surface quality of the cold rolling mill's rollers affects the surface quality of rolled copper strip. The project was split in three parts. In the first part, the surface roughness of the work rolls were investigated before and after rolling to determine the change in surface roughness. In the first part of the project, an Excel table for work roller's surface roughness was drafted.

The second part examined the surface roughness of the products in relation to the percentage of modification. For the project, samples of the products were taken for surface roughness measurements. Also in this part of the project Excel spreadsheets were prepared to demonstrate the surface roughness of the rolls and the test specimens and, also the modification percentages made for the products.

In the last part of the project an experiment was made on Achenbach cold rolling mill. The aim of the experiment was to clarify how the defective surface of the work rolls affects the surface of copper strip. Work rolls had a distinct rise track. In the experiment four milled copper coils were rolled on the Achenbach cold rolling mill. After that, the copper rolls were directed to a through-furnace and lastly, to the Sundwig finishing rolling mill.

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO.....	6
2 PROJEKTIN TAUSTA JA TAVOITTEET.....	7
3 TOIMEKSIANTAJA.....	8
3.1 Aurubis AG.....	8
3.2 Aurubis Finland Oy	9
4 KUPARI.....	11
4.1 Hapeton kupari.....	11
4.2 Happipitoinen kupari.....	11
4.3 Deoksidoidut kuparit	12
4.4 Kuparin valssaus	12
5 PINNANKARHEUS	14
5.1 Merkitys.....	14
5.2 Pinnankarheuden määritelmä.....	14
6 PROJEKTIIN LIITTYVÄT KYLMÄVALSSAIMET.....	16
6.1 Achenbach kylmävalssain 1101	16
6.2 Sundwig kylmävalssain 1105	17
7 PROJEKTIN ENSIMMÄINEN OSA.....	19
7.1 Projektin alku	19
7.2 Pinnankarheuden seuranta	19
7.3 Pinnankarheus mittaukset	20
7.4 Työvalssien pinnankarheus taulukko	22
8 PROJEKTIN TOINEN OSA.....	24
8.1 Pinnankarheus näytteet	24
8.2 Mittaukset	25
8.3 Näytteiden pinnankarheus taulukot.....	25
8.4 Taulukoiden tulosten analysointi	27
9 KOE	28

9.1 Koevalssit.....	28
9.2 Kokeen tausta ja eteneminen	31
9.3 Pinnanlaadun seuranta	31
9.3.1 Achenbach kylmävalssain 1101	31
9.3.2 Läpivetouuni 1112.....	33
9.3.3 Sundwig kylmävalssain 1105.....	37
9.3.4 Achenbach työvalssien pinnanlaatu kokeen jälkeen	45
9.4 Kokeen tulokset.....	48
10 TYÖN LOPPUTULOKSET JA POHDINTA.....	49
LÄHTEET	50

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kylmävalssaimen eri valssiparien pinnankarheutta ja pinnanlaatua sekä seurata näillä valsseilla valssattujen tuotteiden pinnankarheutta ja pinnanlaatua. Tarkoituksena oli löytää säännönmukaisuuksia ja riippuvuuksia valssien hiontaan, kun tiedetään tuotteiden pinnanlaatuvaatimukset, sekä estää laaturomutusta pinnanlaadun ja hehkutuksessa kiinnipalamisen vuoksi.

Työssä perehdyttiin kylmävalssaimen ja valssien hiomakoneen toimintaan ja kylmävalssaimella valmistettaviin tuotteisiin. Projektissa laadittiin Excel taulukko, jossa on kaikki kylmävalssaimella käytössä olevat työvalssit. Taulukkoa laadittaessa seurattiin työvalssien pinnankarheuksia ennen valssausta ja valssauksen jälkeen ja kirjattiin työvalssien aktiiviaikoja eli työaikoja ylös pinnankarheuden muutoksen määrittämiseen.

Taulukon tuloksista voidaan havaita, että uusimmilla valsseilla, joilla on isompi halkaisija ja kovuus, pinnankarheuden muutos on huomattavasti pienempi, kuin pehmeämmillä valsseilla. Työvalssien taulukon lisäksi tehtiin toinen taulukko, jossa on työvalssien pinnankarheudet valssikierron alussa ja lopussa ja siihen liitettiin tuotteista otettujen näytteiden pinnankarheudet.

Näytteitä otettiin noin neljä kappaletta valssikierron alussa ja noin neljä valssikierron lopussa. Taulukkoon lisättiin myös tuotteiden muokkausprosentti eli prosentuaalinen muutos tuotteen paksuudessa. Taulukossa olevista tuloksista voidaan huomata, että isomman muokkausprosentin omaavilla näytteillä pinnankarheus oli suurempi. Lopuksi tehtiin koe. Koetta varten hiottiin tarkoituksella työvalsseja niin, että niihin jäi raita hiomakivestä. Kokeen tarkoituksena oli tutkia, miten työvalsseissa oleva raita vaikuttaa nauhan pintaan. Nauhojen pinnanlaatua seurattiin Achenbach kylmävalssaimella, läpivetouunilla ja Sundwig viimeistelyvalssilla.

2 PROJEKTIN TAUSTA JA TAVOITTEET

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Achenbach kylmävalssaimen eri valssiparien pinnankarheutta ja pinnanlaatua mittauksin ja havainnoin sekä seurata näillä valsseilla valssattujen tuotteiden pinnankarheutta ja pinnanlaatua. Tarkoituksena oli löytää säännönmukaisuuksia ja riippuvuuksia työvalssien hiontaan, kun tiedetään tuotteiden pinnanlaatuvaatimukset. Syynä tälle tutkimukselle olivat toimeksiantajalle ongelmaksi osoittautuneet ylimääräiset valssinvaihdot ja valssien ylimääräinen hiontatyö sekä tuotteiden romutus.

Työllä oli myös toinen tavoite. Aurubis Finland Oy:llä haluttiin tutkia myös, miten työvalssin pintavirhe vaikuttaa kuparinauhan pinnanlaatuun. Tässä työssä valssin pintavirhe, jota tutkittiin, oli nousuraita. Tarkoituksena oli tutkia, miten pintavirheellinen työvalssi vaikuttaa kuparinauhan pintaan ja säilyykö nousuraita kuparinauhan pinnassa jokaisella työvaiheella. Tätä asiaa päätettiin tutkia kokeella. Koetta varten valssihiomakoneen käyttäjät hioivat tarkoituksella nousuraidalliset työvalssit Achenbach kylmävalssaimelle. Kokeessa valssattiin yhteensä neljä kuparirullaa, joiden pinnanlaatua seurattiin ja tutkittiin kolmella eri työvaiheella, joista viimeinen oli viimeistelyvalssaus, jolla tuotteelle tehdään lopullinen pinta.

3 TOIMEKSIANTAJA

Tämä opinnäytetyö suoritettiin Aurubis Finland Oy:n kuparivalssaamossa, joka sijaitsee kupariteollisuuspuistossa, Porin Metallikylässä.



Kuva 1 Kupariteollisuuspuisto. Ensimmäinen iso rakennus vasemmalta on Aurubis Finland Oy:n kuparivalssaamo. (Aurubis www-sivut 2019).

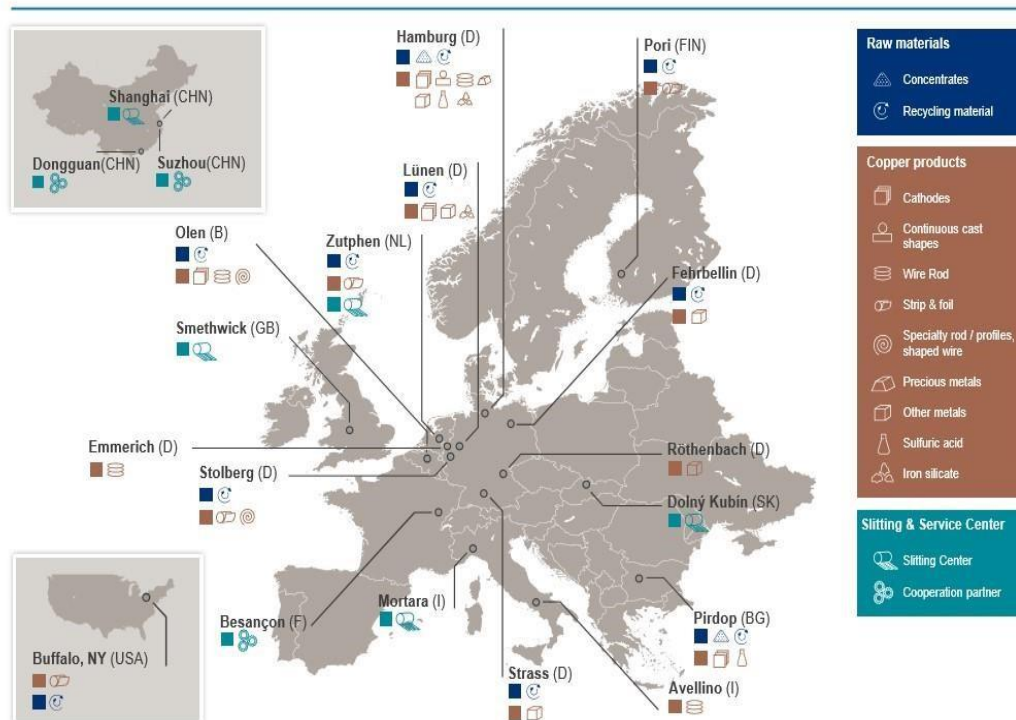
3.1 Aurubis AG

Aurubis Ag on saksalainen kuparialan yritys, joka perustettiin vuonna 1866 Hampurissa. Nykypäivänä yritys työllistää noin 6300 henkilöä ympäri maailmaa ja on maailman suurin kuparin kierrättäjä. Yrityksen asiakkaita ovat kupariteollisuuden, sähkötekniikan, elektroniikan ja kemianteollisuuden yritykset sekä uusiutuvien energialähteiden, rakennus- ja autoteollisuuden toimittajat. (Aurubis AG:n www-sivut 2019.)

Aurubis Ag tuottaa vuosittain yli miljoona tonnia kuparikatodia kuparirikasteesta ja kierrätysmateriaalista. Kuparikatodeista valmistetaan asiakkaille erilaisia tuotteita, kuten levyjä, laattoja, nauhoja, lankoja, kaapeleita, profiileja ja keloja. Yrityksen tuotantolaitokset sijaitsevat Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Varasto-, myynti- ja palvelutoimintaa on Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Aasiassa. Aurubis Ag on

suuntautunut kasvuun ja yritysarvon kasvattamiseen. Strategian pääpaino on liiketoiminnan vahvistamisessa, kasvumahdollisuuksien hyödyntämisessä ja vastuullisen asenteen harjoittamisessa ihmisten kanssa sekä resurssien ja ympäristön käsittelyssä. (Aurubis AG:n www-sivut 2019.)

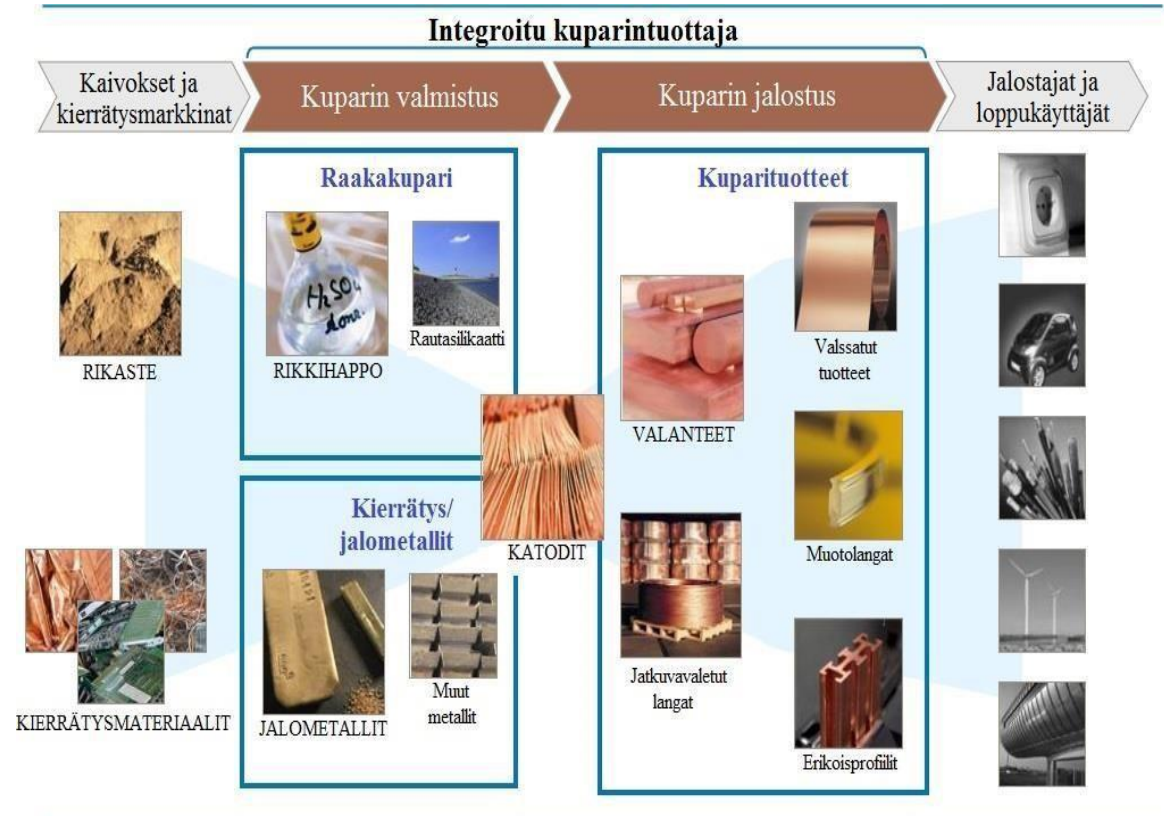
Production Sites and Slitting Centers – worldwide



Kuva 2 Aurubis Ag:n toimipaikkoja kartalla

3.2 Aurubis Finland Oy

Aurubis Finland Oy sijaitsee Porin kupariteollisuuspuistossa Kokemäenjoen varrella, valtatie 11 vieressä. Yritys on täysin integroitu valusta viimeistelyyn ja työllistää kupariteollisuuspuiston alueella yhteensä noin 250 henkilöä kuparivalssauksella ja kuparivalimolla. Aurubis Finland Oy valmistaa sähkö-, rakennus- ja elektroniikkateollisuudelle erilaisia tuotteita, kuten laattoja, levyjä, pyörylöitä ja nauhoja, joista suurin osa eli 90 prosenttia menee vientiin. Yritys on tunnettu korkeasta tuotteiden pinnalaadusta, pohjoismaisesta Nordic Copper -arkkitehtuuristaan ja laajasta kuparilaatujen valikoimasta teollisuuskäytössä. (Aurubis Finland Oy www – sivut 2019.)



Kuva 3 Kuparin valmistuksen prosessi.

4 KUPARI

Kupari on alkuaine, joka kuuluu metallien ryhmään ja kemiallisen jaottelun perusteella jalometalli. Kupari on väriltään punaruskeaa ja ominaisuuksiltaan sitkeää, venyvää ja pehmeää ja se omaa hyvän lämpö- ja sähköjohtavuuden. Kuparin erinomaisen sähkö- ja lämmönjohtavuuden sekä korroosionkestävyyden vuoksi sitä käytetään sähköjohtimina ja lämmönvaihtimissa.

Kupari on kemiallisesti varsin passiivinen metalli. Se ei reagoi veden, eikä useimpien happojenkaan kanssa. Hapen kanssa kupari reagoi hitaasti, niin että sen pinnalle muodostuu todella ohut tumma kuparioksidikerros, joka hiilidioksidin vaikutuksesta muuttuu lopulta vihreäksi kuparikarbonaatiksi eli patinaksi CuCO_3 .

(J. Sorsa 2015, s.36)

4.1 Hapeton kupari

Hapeton kupari eli Cu-OF Oxygen Free Copper on seostamaton kuparia. Sitä valetaan suojakaasussa hapen liukenemisen estämiseksi, jotta sulaan kupariin ei pääse happea. Hapen pääsy sulaan metalliin estetään peitostamalla sula esimerkiksi hiilellä tai käyttämällä vakuumiuunia sulatuksessa. Hapeton kupari on sähköjohtavuudeltaan paras kaikista kuparilajeista. Sen sähköjohtavuus on vähintään 100 prosenttia I.A.C.S (International Annealed Copper Standard) mutta yleensä noin 101 – 101,8 prosenttia I.A.C.S. Hapettoman kuparin on oltava vähintään 99,95 prosenttia, sillä sen sähkö- ja lämmönjohtokyky on erittäin herkkä epäpuhtauksille. Hapetonta kuparia käytetään suurimmaksi osaksi sähkötarvikkeissa ja elektroniikassa. (J. Sorsa 2015, s.173)

4.2 Happipitoinen kupari

Yleisin kuparilaji on happipitoinen kupari (Cu-ETP, Tough Pitch Copper). Kiinteässä olomuodossa sulaan liuennut happi muodostaa kuparissa linnimäisiä rakenteita.

Ominaisuuksiltaan happipitoinen kupari ei ole yhtä herkkä epäpuhtauksille kuin hapeton kupari, sen sähkönjohtokyky on pienempi kuin hapettoman kuparin ja sitä ei ole mahdollista käyttää pelkistävässä oloissa. Happipitoisen kuparin käyttökohteina ovat sähköjohdot ja virtakiskot, käämit, säiliöt, katot, räystäskorut, rakennusten pellitykset ja julkisivut. Happipitoiset kuparit ovat vetysairausherkkiä. Jos happipitoista kuparia hehkutetaan vetyrikkaassa ympäristössä, vety diffundoituu kupariin ja reagoi hapen kanssa. Syntynyt vesihöyry kertyy huokosiin ja raerajoille aiheuttaen haurautta.

(J. Sorsa 2015, s.174)

4.3 Deoksidoidut kuparit

Deoksidoidut kuparit ovat yleiskupareita, eikä niitä yleensä käytetä sähköjohtotarkoituksiin. Deoksidoidun kuparin valmistuksessa metallisulaan lisätään pieniä määriä deoksidointiaineita, yleensä fosforia, poistamaan sulasta happi.

Forsforin määrä on 0,002 – 0,05 prosenttia. Kuparin rakeenkasvu on estetty lisätyllä fosforilla, eli kuparia voidaan hehkuttaa melko vapaasti ilman, että tarvitsisi pelätä liian suurta raekokoa. Deoksidoitua kuparia käytetään lämmönsiirtimissä, tislauks-, haihdutus- ja keittokalusteissa, kuumavesivaraajissa, jäähdyttimissä, säiliöissä, tankeissa, kattoasennuksissa, pellityksessä, vesi-, öljy-, kaasu-, ja lämmitysputkissa sekä ilmastointi- ja jäähdytinlaitteiden putkissa. (J. Sorsa 2015, s.174)

4.4 Kuparin valssaus

Kuparilevyn ja kuparinauhan valssausprosessi alkaa kupariaihiosta, jonka paksuus vaihtelee noin 180-210 mm tienoilla. Leveys levyillä on yleensä 700-1000 mm. Paksuutta saadaan pienennettyä kuumavalssaamalla levy mittaan 5-15 mm. Kuumavalssattaessa kuparia syntyy sen pinnalle pintakuonaksi kutsuttua mustaharmaata ainetta, joka poistetaan jyrsimällä tai peittaamalla. Kylmävalssauksessa kuparin pinnanlaatua ja mittatarkkuutta saadaan parannettua.

Hehkuttamalla kylmävalssattua kuparia saavutetaan halutun lujuuden ja kovuuden. Tämä kaikki mahdollistaa kuparituotteiden valmistuksen monipuolisen käyttötarkoituksen mukaan. (P. Sihvonen 2003, 344.)

5 PINNANKARHEUS

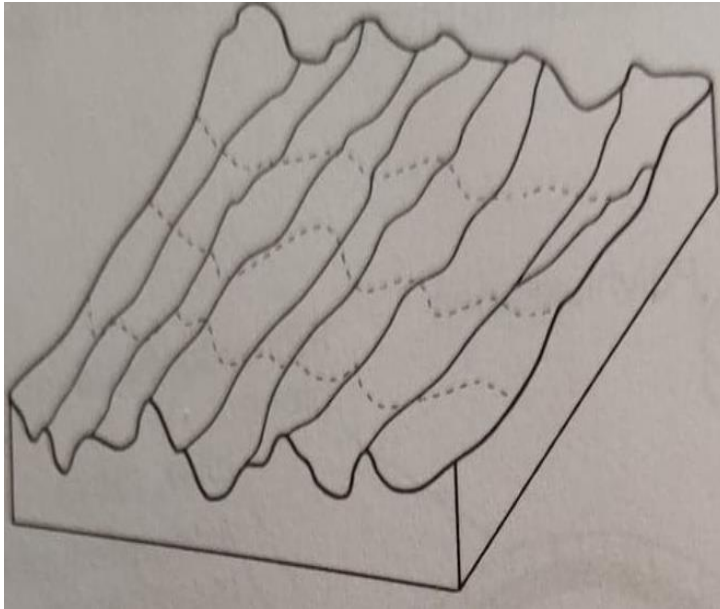
5.1 Merkitys

Kun metallin pintaa tarkastellaan suurennuslasilla tai mikroskoopilla, voidaan todeta, että metallin pinta ei ole sileä. Sileältä näyttävä ja tuntuva pinta on suurennettuna epätasainen. Jos metallin pinta on työstetty, se on täynnä terän jättämiä pieniä uria. Urien suuruus riippuu työstömenetelmästä ja aineesta. Valssatulla ja valetulla kappaleella pinta on myös epätasainen, vaikka ei siinä ole selvää kuviota.

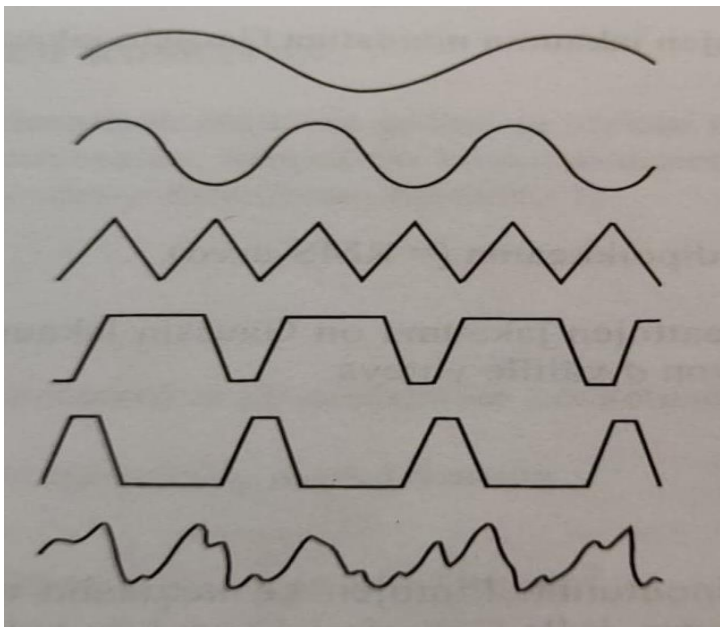
Kone- ja metalliteollisuudessa pinnan karheudella on välillä suuri merkitys. Suuret pyörimisnopeudet, luotettavuus ja huollon vähäisyyden vaatimus ovat osa nykypäivän koneenrakennustekniikkaa. Niiden toteutumisen ehtona on, että pystytään tarvittaessa tekemään pinnasta sileän. (M. Heikkilä 1991, s.91)

5.2 Pinnankarheuden määritelmä

Erilaisten kerrostumien lisäksi todellisille pinnoille on luonteenomaista aaltomainen ja karhea pinta, koska täysin sileää ja tasaista pintaa ei saada aikaiseksi millään valmistusmenetelmällä. Yleisimmin käytetty suure pinnankarheudelle on R_a , joka on keskiviivajärjestelmän pääsuure. (S. Kivioja 2007, s.24)



Kuva 4 Todellinen pinta (S. Kivioja 2007, s.24)



Kuva 5 Erilaisia profiileja, joilla on sama keskipoikkeama R_a (S. Kivioja 2007, s.25)

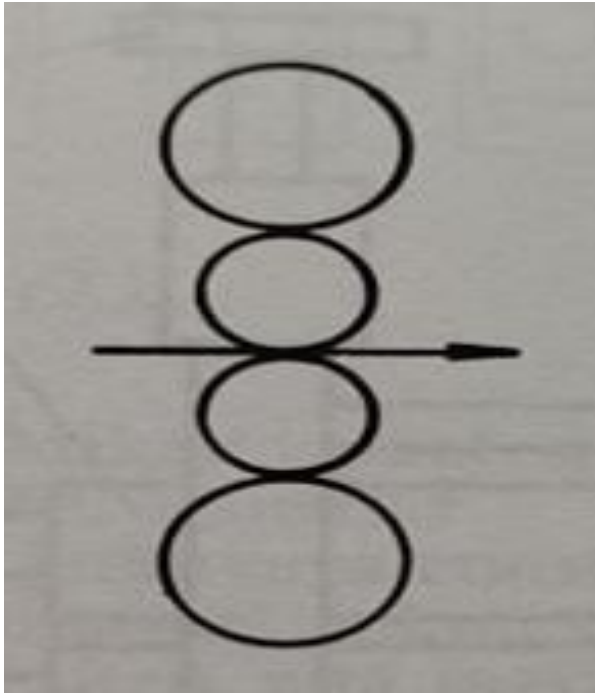
6 PROJEKTIIN LIITTYVÄT KYLMÄVALSSAIMET

6.1 Achenbach kylmävalssain 1101

Achenbach kylmävalssain on nelivalssain, eli siinä on neljä valssia: kaksi tukivalssia ja kaksi työvalssia. Suurin osa valssaamon tuotteista menee Achenbach kylmävalssaimen muokkauksen läpi. Koneella valssattavien rullien leveys on 660 mm-1150 mm ja rullien paksuus vaihtelee 0,14 mm -13 mm välillä. Koneella valssataan myös kuparilaattoja, joiden paksuudet vaihtelevat 4,87 mm -50 mm välillä. Achenbach kylmävalssain luokitellaan karkeavalssaimeksi, sillä sen tuotannon pääpaino keskittyy paksujen tuotteiden valmistukseen. Keskimääräinen muokkausprosentti eli reduktio on noin 30 prosenttia per pisto. Piston muokkausprosentti voi kuitenkin muuttua molempiin suuntiin seoksen, paksuuden ja loppumittojen mukaan.

(Aurubis Finland Oy:n sisäinen verkko. 2019.)

Nelivalssaimissa on kaksi työvalssia, joiden välistä materiaali kulkee. Suurempien työpaineiden aikaansaamiseksi on valssien ja valssattavan materiaalin kosketuspintaa pienennetty tekemällä työvalssit halkaisijamitaltaan pieniä. Työvalssit on tuettu suuremmilla tukivalssseilla työvalssien taipumisen estämiseksi. Kuvassa 6 näkyy nelivalssaimen toimintaperiaate. Kuvan 6 uloimmat ympyrät ovat tukivalssseja ja sisimmät ovat työvalssseja, ja työvalssien välistä menee valssattava materiaali, joka näkyy kuvassa nuolena. (P. Sihvonen 2003, s.336, s.337)

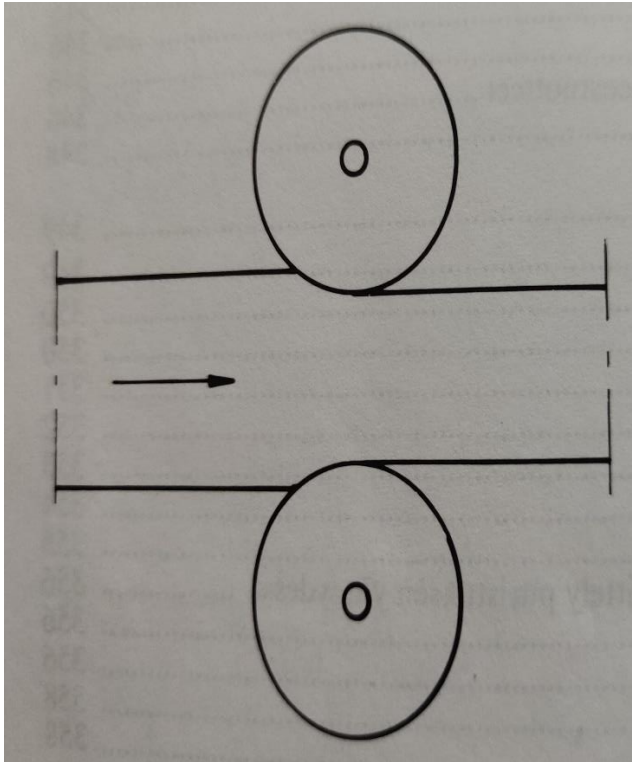


Kuva 6 Nelivalssaimen toimintaperiaate (P. Sihvonen 2003, s.337)

6.2 Sundwig kylmävalssain 1105

Sundwig kylmävalssain on valssaamon viimeistelyvalssain. Kone on parivalssain eli siinä on vain kaksi työvalssia eli koneella ei tehdä suuria muokkauksia. Kone on tarkoitettu tekemään viimeistelyvalssausta eli sillä tehdään tuotteen lopullinen paksuusmitta ja pinta. Koneella valssataan ainoastaan rullia, joiden leveys vaihtelee 600-1140 mm välillä ja paksuus 0,12-3,4 mm välillä. (Aurubis Finland Oy:n sisäinen verkko. 2019.)

Kun valssaimessa on kaksi valssia, kutsutaan valssainta parivalssaimeksi. Nykyisin sen tyyppinen valssain on myös vaihtosuuntainen eli reversiovalssain. Reversiovalssaimella on mahdollista valssata molempiin suuntiin. (P. Sihvonen 2003, s.336)



Kuva 7 Valssauksen periaate (P. Sihvonen 2003, s.336)

7 PROJEKTIN ENSIMMÄINEN OSA

7.1 Projektin alku

Projekti alkoi valssihiomakoneeseen, Achenbach kylmävalssaimen ja sillä valssattaviin tuotteisiin perehtymisellä, jotta projektin etenemiseen saataisiin selkeä suunnitelma. Ensiksi tutustuttiin valssihiomakoneen toimintaan ja siihen hiontaan tuleviin työvalsseihin. Hiontaa seurattiin koneenkäyttäjien operoidessa konetta ja kerättiin tietoa työvalsseista. Projektin kannalta olennaista tietoa, jota kerättiin, oli työvalssien halkaisijat ja pinnankarheudet.

Seuraavaksi siirryttiin kylmävalssaimelle seuraamaan tuotantoprosessia. Kylmävalssaimella perehdyttiin koneen toimintaan, sen ominaisuuksiin ja valmistettaviin tuotteisiin.

Kun koneiden toimintaan perehdyttiin projektin kannalta tarpeeksi, alettiin laatia suunnitelmaa, jolla saadaan projektia eteenpäin. Aluksi päätettiin tutkia työvalssien kulumista ja laadittiin Excel taulukko, jossa on kaikki kylmävalssaimella käytössä olevat työvalssit, niiden pinnankarheudet ja ajoajat.

7.2 Pinnankarheuden seuranta

Tässä osassa projektia seurattiin työvalssien pinnankarheuksia ennen valssausta ja valssauksen jälkeen. Tarkoituksena oli tutkia, kuinka paljon työvalssien pinnanlaatu ja pinnankarheus muuttuu valssikierron aikana. Työvalssien pinnankarheuksia seurattiin yhteistyössä valssihiomakoneen ja kylmävalssaimen koneenkäyttäjien kanssa. Pinnankarheuden seuranta toteutettiin mittauspöytäkirjalla, jota täytettiin molemmilla koneilla. Mittauspöytäkirjaan merkattiin ylä- ja alavalssien pinnankarheudet ennen valssausta ja valssauksen jälkeen ja kirjattiin ylös myös työvalssien aktiiviaikoja, eli kuinka kauan mikäkin työvalssipari oli käytössä.

Taulukon tuloksista voidaan havaita, että pehmeämmillä työvalsseilla pinnankarheuden muutokset olivat suurempia, kuin kovemmillä valsseilla. Teorian

tueksi mitattiin työvalssien kovuuksia. Kovuutta mitattiin pehmeimmästä ja kovimmasta valssiparista.

Valssin numero	Valssin kovuus (YLÄ) [HRC]	Valssin kovuus (ALA) [HRC]
68	62,377	62,645
81	65,8	65,961

Kovuusmittausten tulokset.

7.3 Pinnankarheus mittaukset

Työvalssien pinnankarheuksia mitattiin ennen valssausta ja valssauksen jälkeen. Ennen valssikiertoa valssien pinnakarheuden mittaukset suoritettiin noin 40 millimetrin mittausvälillä koko valssin pituudella ja valssauksen jälkeen samalla mittausvälillä vain valssien työalueelta mahdollisimman tarkan pinnankarheuden muutoksen määrittämiseksi. Valssin työalue ei ole aivan koko valssin pituudella, vaan reunoille jää vähän pintaa, joka ei ollut valssattavan materiaalin kanssa kosketuksessa. Mitatuista tuloksista laskettiin keskiarvo, eli kaikki taulukossa olevat pinnankarheuden arvot ovat mittaustulosten keskiarvoja.



Kuva 5. Työssä käytetty Mitutoyo pinnankarheusmittari.

7.4 Työvalssien pinnankarheus taulukko

Valssin numero	Valssin halkaisija (YLÄ) [mm]	Valssien Ra ennen valssausta (YLÄ)	Valssien Ra ennen valssausta (ALA)	Valssien Ra valssauksen jälkeen (YLÄ)	Valssien Ra valssauksen jälkeen (ALA)	Ra:n muutos (YLÄ)	Ra:n muutos (ALA)	Ajoaika [h]	Ra:n muutos/h (YLÄ)	Ra:n muutos/h (ALA)
68	421,45	0,57	0,5	0,46	0,49	-0,11	-0,01	4	- 0,0275	- 0,0025
69	417,79	0,53	0,47	0,47	0,33	-0,06	-0,14	11,25	- 0,0053	- 0,0124
70	428,07 4	0,56	0,53	0,46	0,39	-0,1	-0,14	10,5	- 0,0095	- 0,0133
71	421,57 8	0,47	0,46	0,41	0,4	-0,06	-0,06	12,5	- 0,0048	- 0,0048
72	424,54 3	0,5	0,55	0,43	0,35	-0,07	-0,2	14	- 0,0050	- 0,0143
73	425,06 9	0,51	0,38	0,3	0,3	-0,21	-0,08	14,5	- 0,0145	- 0,0055
74	425,59 3	0,62	0,65	0,53	0,45	-0,09	-0,2	19	- 0,0047	- 0,0105
75	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	0	0	0	0	0
76	427,48 9	0,52	0,39	0,395	0,33	- 0,125	-0,06	11,5	- 0,0109	- 0,0052
77	428,33	0,53	0,42	0,385	0,34	- 0,145	-0,08	12,5	- 0,0116	- 0,0064
78	428,99 3	0,4	0,48	0,36	0,35	-0,04	-0,13	13,3	- 0,0030	- 0,0098
79	439,85 1	0,46	0,41	0,42	0,36	-0,04	-0,05	5,5	- 0,0073	- 0,0091
80	439,12	0,35	0,36	0,34	0,27	-0,01	-0,09	10,5	- 0,0010	- 0,0086
81	442,52 2	0,31	0,31	0,31	0,2	0	-0,11	11	0	- 0,0100
82	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	Ei käytössä	0	0	0	0	0

Pinnankarheuksien seurannassa keskityttiin vain kuparirulliin, muun materiaalin rullia ja laattoja ei huomioitu. Työvalssien kovuus ja pinnankarheusmuutos ei ole vakio, vaan ne pienenevät, kun työvalsseja hiotaan. Kovuuden pieneneminen johtuu siitä, että materiaali on pehmeämpää keskellä. (Aurubis-henkilökunnan haastattelu 2020) Taulukosta saa kuitenkin suuntaa antavaa tietoa siitä, millä työvalssiparilla on kannattavaa valssata isompaa erää vaativaa työtä. Esimerkiksi jos saapuu iso tilaus, jonka vaatimuksena on pieni pinnankarheus, kannattavinta olisi valssata valssiparilla 80 tai 81, koska ne ovat kovimmat työvalssit ja täten niiden pinnankarheusmuutos on pienin eli voidaan valssata vaativaa työtä pidempään ja silti täyttää pinnankarheus vaatimus.

8 PROJEKTIN TOINEN OSA

8.1 Pinnankarheus näytteet

Tässä osassa projektia alettiin seuraamaan tuotteiden pinnankarheuksia ja pinnanlaatua ennen valssausta ja valssauksen jälkeen. Tarkoituksena oli selvittää, miten työvalssin pinnankarheuden muutos valssikierron aikana heijastui tuotteiden pinnankarheuteen. Työn haasteeksi osoittautui vaihteleva reduktio eli muokkausprosentti, joka oli valssikierron lopussa isompi, kuin valssikierron alussa. Koneenkäyttäjiä ohjeistettiin ottamaan pinnankarheusnäytteitä noin neljä kappaletta valssikierron alussa ja valssikierron lopussa valssatuista rullista. Näytteitä otettiin joko suoraan Achenbach kylmävalssaimella tai peittauskoneella ja näytteet ohjattiin laboratorioon, jossa kaikki mittaukset suoritettiin. Näytepalat olivat jokainen kooltaan noin A4 paperin kokoisia.



Kuva 6 Pinnankarheus näytepala

8.2 Mittaukset

Näytteistä otettiin noin 20 mittausta kuvan 5 mittarilla mahdollisimman tarkan pinnankarheuden määrittämiseksi ja saaduista tuloksista laskettiin keskiarvot. Tulokset merkattiin Excel-taulukoihin, joissa näytteet jaoteltiin kahteen eri osaan: valssikierron alkuun ja valssikierron loppuun. Taulukkoon merkattiin työvalssien pinnankarheudet, muokkausprosentit ja näytepalojen pinnankarheudet. Taulukon tarkoituksena oli selvittää, miten työvalssien pinnankarheus vaikuttaa tuotteen pinnankarheuteen ja löytää säännönmukaisuuksia prosessista. Näytteitä ei tullut saman verran jokaiselle valssikierrolle eli joissakin taulukoissa on eroavaisuuksia näytteiden määrässä.

8.3 Näytteiden pinnankarheus taulukot

Taulukoiden tarkoituksena oli selvittää, mikä on tuotteen pinnankarheus, kun tiedetään työvalssien pinnankarheudet valssikierron molemmissa päädyissä. Valssien pinnankarheuden muutoksen vaikutusta tuotteen pinnankarheuteen ei pystytty suoraan määrittämään, koska valssikierron alussa ja lopussa muokkausprosentti muuttui. Taulukoiden tuloksista voidaan kuitenkin havaita, että suuremmalla muokkausprosentilla saavutettiin suurempia pinnankarheuksia. Taulukko 2:n kohdalla kuitenkin muokkausprosentti oli lähes sama valssikierron alussa ja lopussa, mutta työvalssien pinnankarheus oli valssikierron lopussa pienempi sekä ylä- että alavalssilla, mistä voidaan huomata, että pienentynyt työvalssien pinnankarheus heijastui tuotteen pinnankarheuteen. Taulukko 2:n valssikierron lopussa näytteiden pinnankarheus oli pienempi kuin valssikierron alussa, vaikka muokkausprosentti oli lähes sama. Voidaan siis olettaa, että näytteiden pinnankarheus pieneni, koska työvalssien pinnankarheus pieneni. Taulukossa esitetyt muokkausprosentit ovat materiaalille tehtyjä kokonaismuokkauksia.

Valssien numero	Valssien Ra (YLÄ)	Valssien Ra (ALA)		
81	0,31	0,31		
Valssikierron alku				
Työnumero	Rullanumero	Näytteen Ra	Muokkausprosentti [%]	Näyte
325793	637317	0,25	18,18	1
325793	637316	0,249	18,18	2
325793	637315	0,248	18,18	3
325798	637318	0,251	18,37	4

Valssien numero	Valssien Ra (YLÄ)	Valssien Ra (ALA)		
81	0,31	0,2		
Valssikierron loppu				
Työnumero	Rullanumero	Näytteen Ra	Muokkausprosentti [%]	Näyte
327863	636817	0,296	75	1
327863	636798	0,312	75	2
327620	637392	0,305	75	3
327614	637393	0,32	75	4

Taulukko 1.

Valssien numero	Valssien Ra (YLÄ)	Valssien Ra (ALA)		
68	0,51	0,5		
Valssikierron alku				
Työnumero	Rullanumero	Näytteen Ra	Muokkausprosentti [%]	Näyte
328053	637013	0,398	55	1
328371	637504	0,42	50,43	2

Valssien numero	Valssien Ra (YLÄ)	Valssien Ra (ALA)		
68	0,47	0,33		
Valssikierron loppu				
Työnumero	Rullanumero	Näytteen Ra	Muokkausprosentti [%]	Näyte
328884	637071	0,35	60,87	1
328884	637071	0,327	60,87	2

Taulukko 2.

Valssien numero	Valssien Ra (YLÄ)	Valssien Ra (ALA)		
78	0,46	0,47		
Valssikierron alku				
Työnumero	Rullanumero	Näytteen Ra	Muokausprosentti [%]	Näyte
328660	636971	0,314	10,71	1
328660	636972	0,333	10,71	2
327591	637541	0,321	10,45	3

Valssien numero	Valssien Ra (YLÄ)	Valssien Ra (ALA)		
78	0,37	0,37		
Valssikierron loppu				
Työnumero	Rullanumero	Näytteen Ra	Muokkausprosentti [%]	Näyte
328197	636239	0,517	75,74	1
327892	637345	0,504	79,17	2

Taulukko 3.

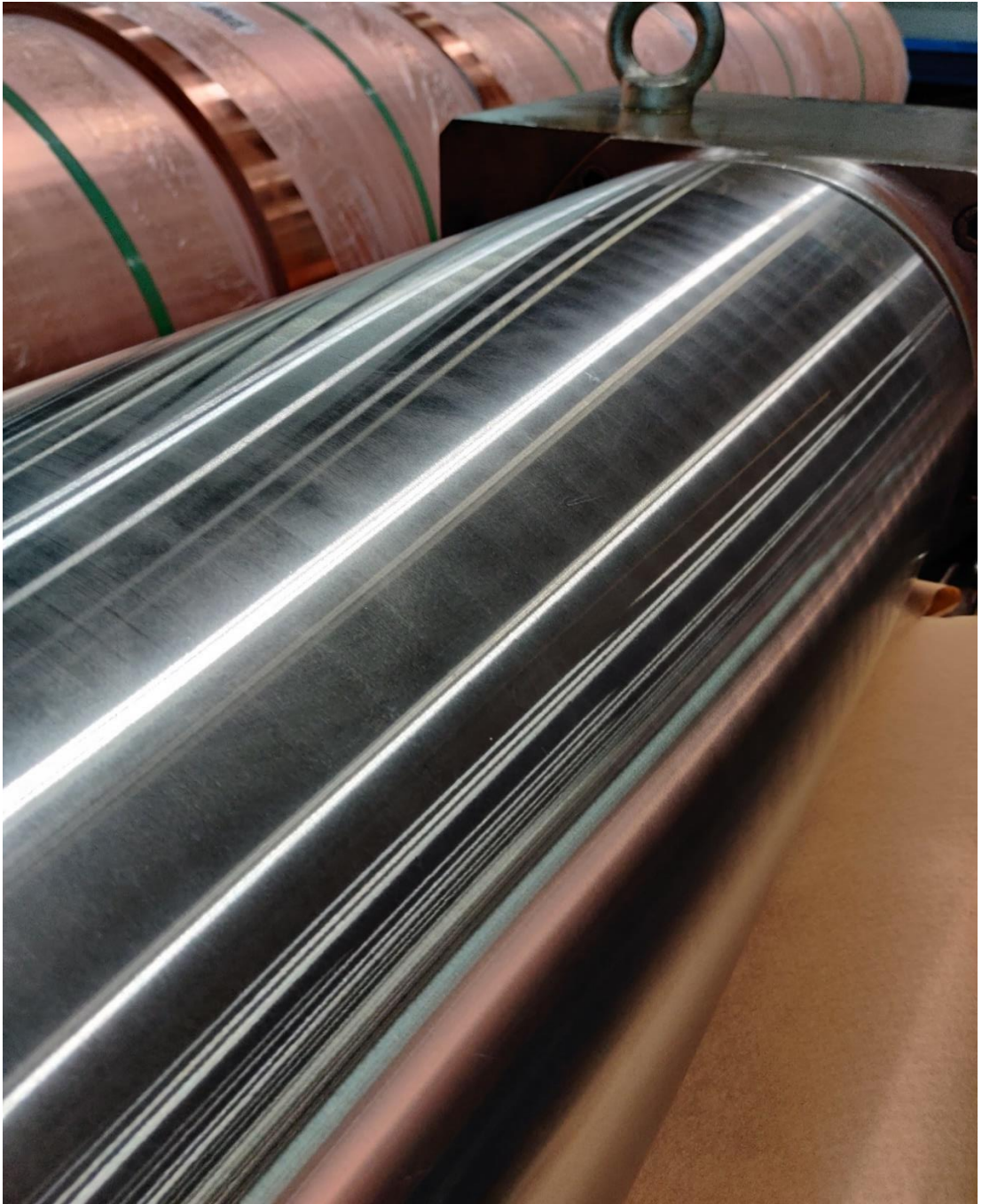
8.4 Taulukoiden tulosten analysointi

Taulukoiden tuloksista päätellen muokausprosentti vaikuttaa suoranaisesti tuotteen pinnankarheuteen. Suuremmilla muokausprosentteilla saavutetaan suurempia pinnankarheuksia, kuin pienemmillä muokausprosentteilla. Taulukko 2:ssa oli lähes sama muokausprosentti valssikierron alussa ja lopussa, mutta työvalssien pinnankarheus oli muuttunut, mikä tuloksien perusteella vaikutti tuotteen pinnankarheuteen.

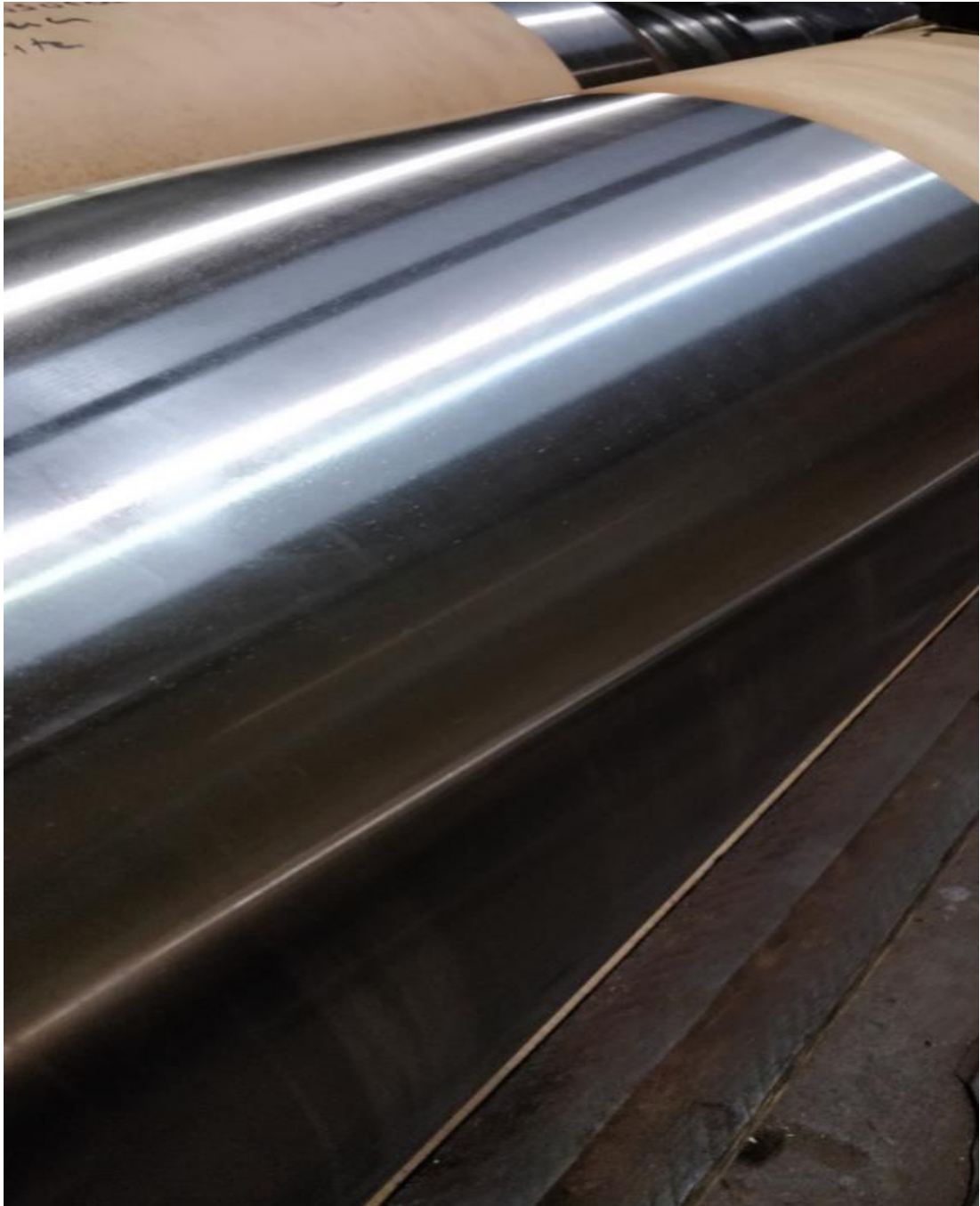
9 KOE

9.1 Koevalssit

Tässä osassa projektia tehtiin Achenbach kylmävalssaimella koe, jonka tarkoituksena oli selvittää, miten työvalsseissa olevat nousuraidat vaikuttavat kuparinauhan pintaan. Koetta varten valssihiomakoneen koneenkäyttäjät hioivat tarkoituksella työvalsseja niin, että työvalsseihin jäi tavanomaista erottuvampi nousuraita. Nousuraita on hiomakivestä tuleva jälki, joka näkyy valssin pinnassa raitana koko valssin pituudella. Kuvista 7 ja 8 voidaan nähdä työvalssien pinnassa olevat nousuraidat ennen koetta.



Kuva 7 Nousuraidallinen koevalssi ennen koetta (YLÄ)



Kuva 8 Nousuraidallinen koevalssi ennen koetta (ALA)

Kuvista 7 ja 8 voidaan huomata, että ylävalssin nousuraita on paljon näkyvämpi kuin alavalssilla. Ylävalssin pinnanlaatu kokeen kannalta on määräävämpi, koska tuotteen yläpinta tulee käyttöön.

9.2 Kokeen tausta ja eteneminen

Kokeen tavoitteena oli selvittää, miten työvalssien pinnassa olevat nousuraidat vaikuttavat nauhan pintaan. Kokeessa valssattiin neljä jysittyä kuparirullaa, joiden leveys oli 1030 mm. Tuotteiden pinnanlaatua seurattiin Achenbach kylmävalssaimella, läpivetouunilla ja Sundwig kylmävalssaimella. Tuotteiden pinnanlaatua seurattiin alusta loppuun jokaisella työpisteellä ja otettiin kuvamateriaalia. Jokaisesta valssattavasta rullasta otettiin valssauksen aikana kuvia, jotta voitaisiin verrata rullien pinnanlaatua valssauksen alussa ja lopussa. Rullat olivat numeroitu ja kuvat otettiin järjestyksessä 1-4 Sundwig kylmävalssaimella.

Achenbach kylmävalssaimen jälkeen rullat ohjattiin läpivetouunille. Läpivetouunilla seurattiin rullien pinnanlaatua ja otettiin kuvia prosessin aikana. Projektin kannalta oli tärkeää saada kuvamateriaalia läpivetouunilla, koska koneella on pesuri, joka poistaa nauhoista kylmävalssaimelta jäänyttä valssausemulsiota ja sen ansiosta saatiin hyvää kuvamateriaalia nauhojen todellisesta pinnanlaadusta.

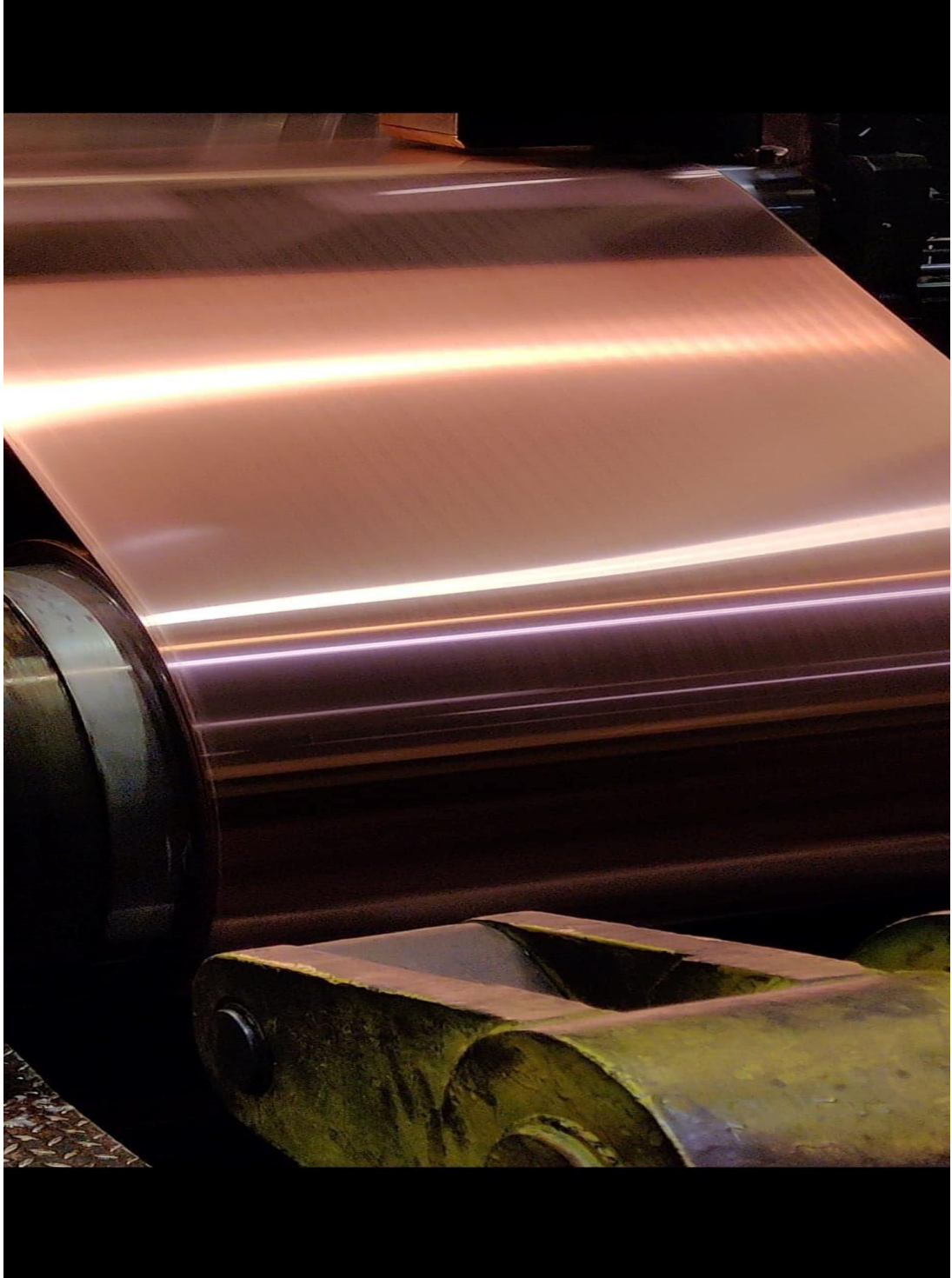
Läpivetouunin jälkeen koerullat ohjattiin Sundwig kylmävalssaimelle viimeistelyvalssaukseen. Kyseisellä koneella tehdään tuotteisiin vain lopullinen pinta eli kone on tarkoitettu viimeistelyä varten. Koneella seurattiin koerullien pinnanlaatua myös järjestyksessä, jotta voitaisiin verrata, että oliko viimeisellä koerullalla yhtä paha nousujälki kuin ensimmäisellä. Prosessin aikana otettiin kuvia tuloksia ja vertailua varten.

9.3 Pinnanlaadun seuranta

9.3.1 Achenbach kylmävalssain 1101

Koe laitettiin alulle Achenbach kylmävalssaimella. Rullien pinnanlaatua seurattiin koneen ohjaamosta ja koneen ulkopuolella, vetokelan kohdalla. Koneenkäyttäjät hidastivat koneen ajoa, jotta saataisiin hyviä kuvia pinnanlaadusta. Kuvien ottamisen haasteeksi osoittautui valaistus, koska valo heijastui rullista haitaten nousuraidan

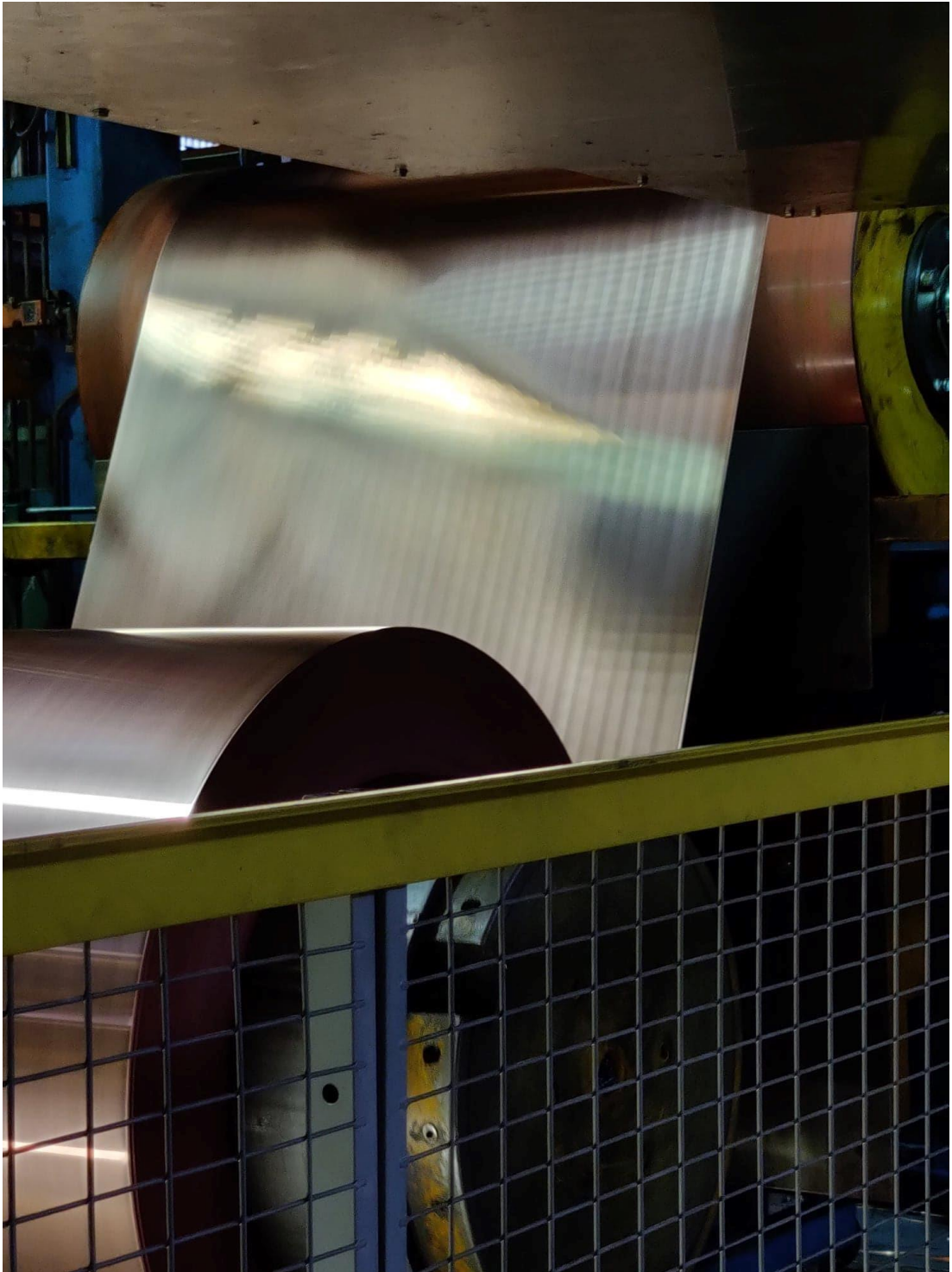
huomaamista tasaisesti koko leveydeltä. Myös kuvakulman hakeminen, josta nousuraita näkyisi hyvin, osoittautui hyvin vaikeaksi. Jokaisen valssatun rullan pinnanlaatu oli kuvien perusteella samalainen kuin kuvassa 9, joten päätettiin lisätä vain yksi kuva Achenbachilta tähän osioon.



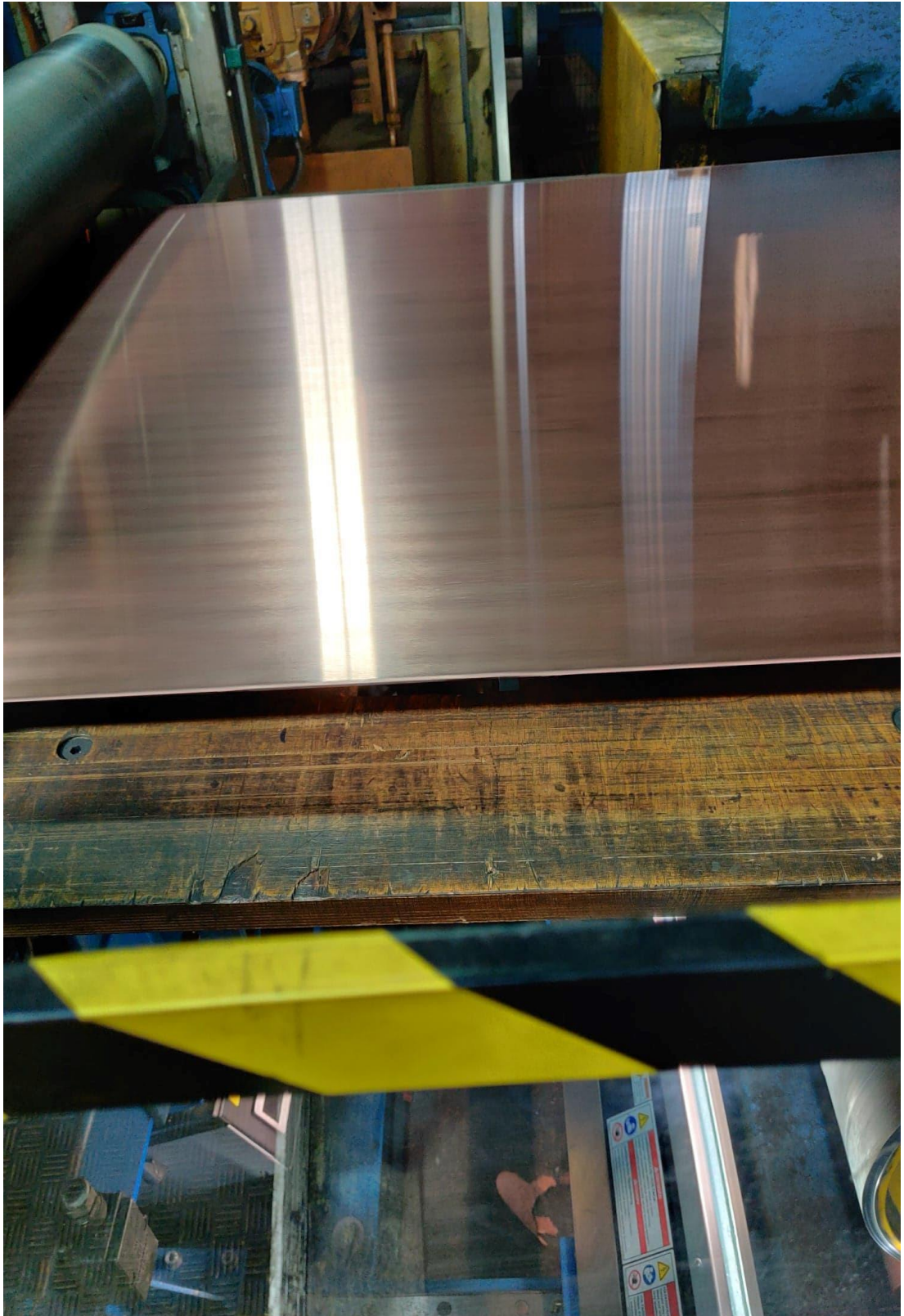
Kuva 9 Pinnanlaatu Achenbach kylmävalssaimella

9.3.2 Läpivetouuni 1112

Achenbach kylmävalssaimen käsittelyn jälkeen rullat menivät hehkutettavaksi läpivetouunille. Läpivetouunilla seurattiin rullien pinnanlaatua ja otettiin kuvia. Tälläkin työpisteellä kuvien ottaminen oli hieman hankalaa valaistuksen takia. Kuvakulman hakeminen puolestaan oli helpompaa läpivetouunilla, koska koneella oli hyvät kohdat mistä pystyi hyvin kuvaamaan. Kuvat otettiin vetokelan kohdalla, koska siihen mennessä nauha on jo kulkenut pesurin läpi ja nauhan pinta on puhdistettu valssausemulsioista. Kuvista 10, 11 ja 12 voidaan nähdä nauhojen puhtaat pinnat ja nauhojen pinnoilla olevat nousuraidat. Tällä työpisteellä otettiin enemmän kuvia kuin Achenbach kylmävalssaimella, koska pinnanlaatua seurattaessa nauhojen pinnalla olevien nousuraitojen erottuvuus vaihteli. Läpivetouunilla oli myös enemmän paikkoja, joista sai otettua kuvia pinnanlaadusta.



Kuva 10 Pinnanlaatu läpivetouunilla takakelalla



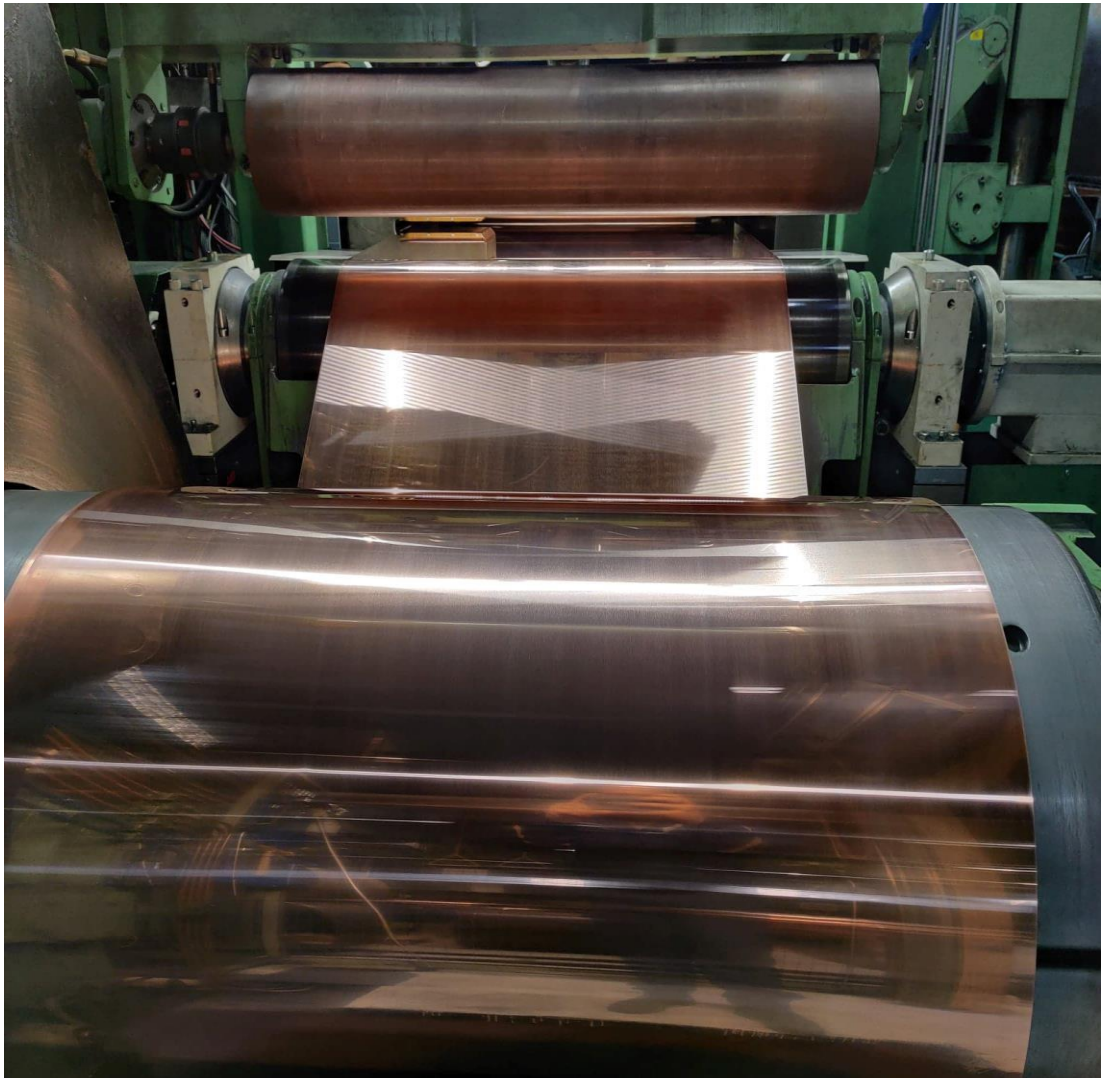
Kuva 11 Pinnanlaatu läpivetouunilla ennen takakelaa



Kuva 12 Pinnanlaatu läpivetouunilla takakelan kohdalla

9.3.3 Sundwig kylmävalssain 1105

Sundwig kylmävalssain oli kokeen viimeinen työpiste, jolla kuparinauhojen pinnanlaatua seurattiin. Kaikki neljä koerullaa menivät läpivetouunin jälkeen viimeistelyvalssaukseen Sundwig kylmävalssaimelle. Tällä koneella seurattiin koerullien pinnanlaatua järjestyksessä yhdestä neljään vertailua varten eli kuvat 13 ja 14 ovat ensimmäisestä koerullasta ja kuvat 19 ja 20 viimeisestä koerullasta. Koneella valssattiin yhdellä pistolla koerullat valmiiseen paksuusmittaan ja tehtiin lopullinen pinta. Koerullien leveys ei ole muuttunut kokeen aikana eli se oli tälläkin työpisteellä 1030 mm.



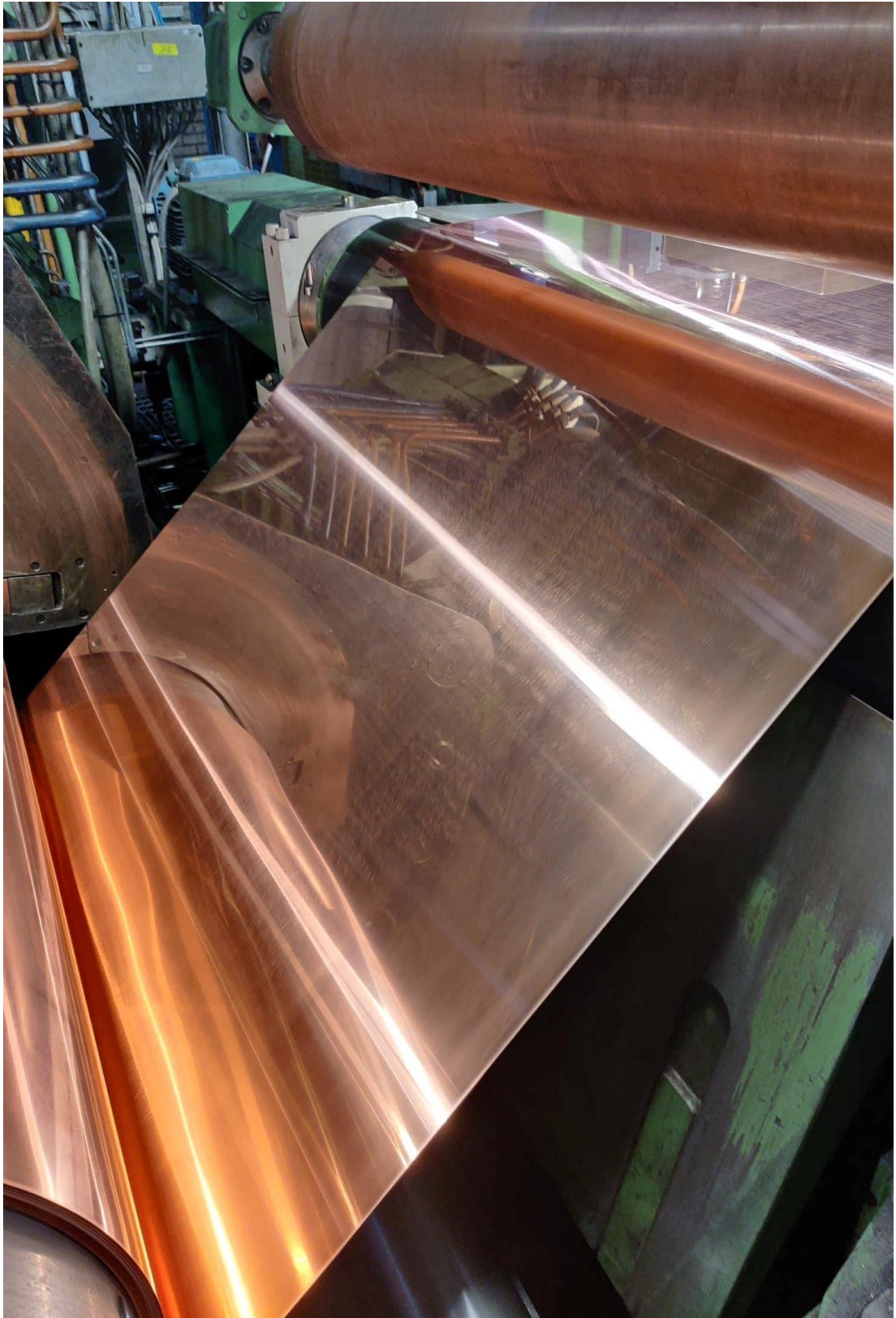
Kuva 13 Ensimmäisen koerullan pinnanlaatu edestä



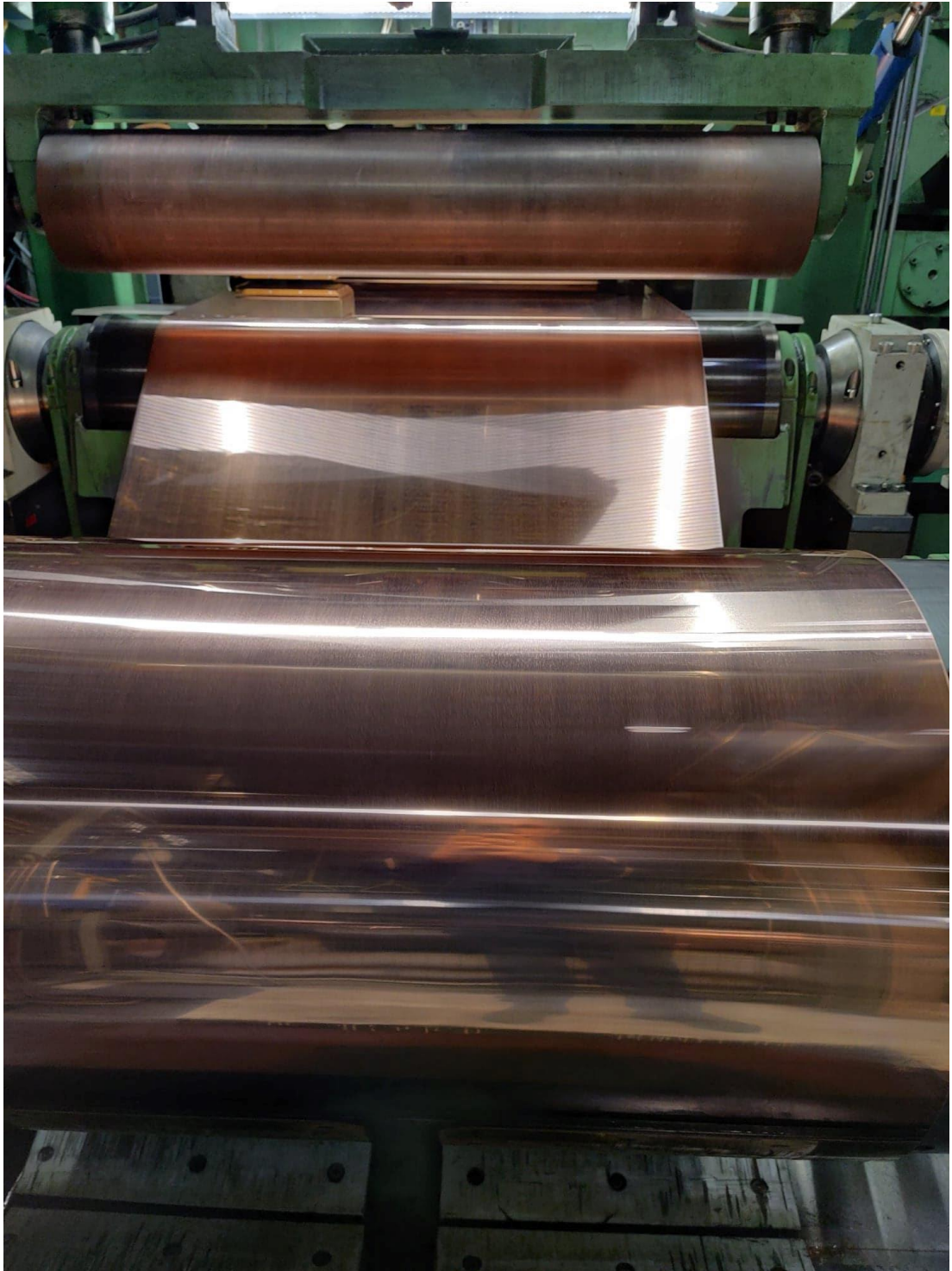
Kuva 14 Ensimmäisen koerullan pinnanlaatu kulmasta katsottuna



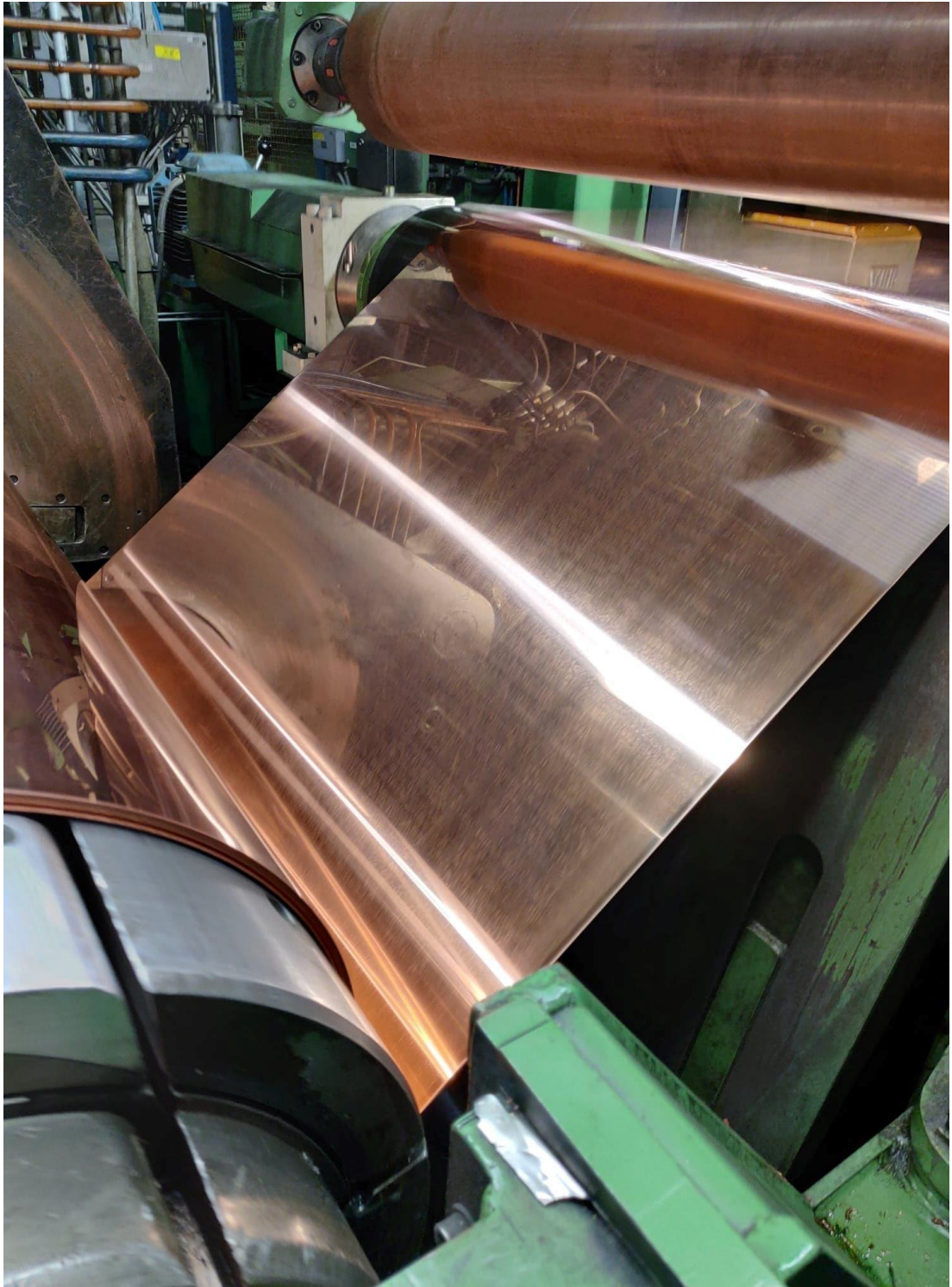
Kuva 15 Toisen koerullan pinnanlaatu edestä



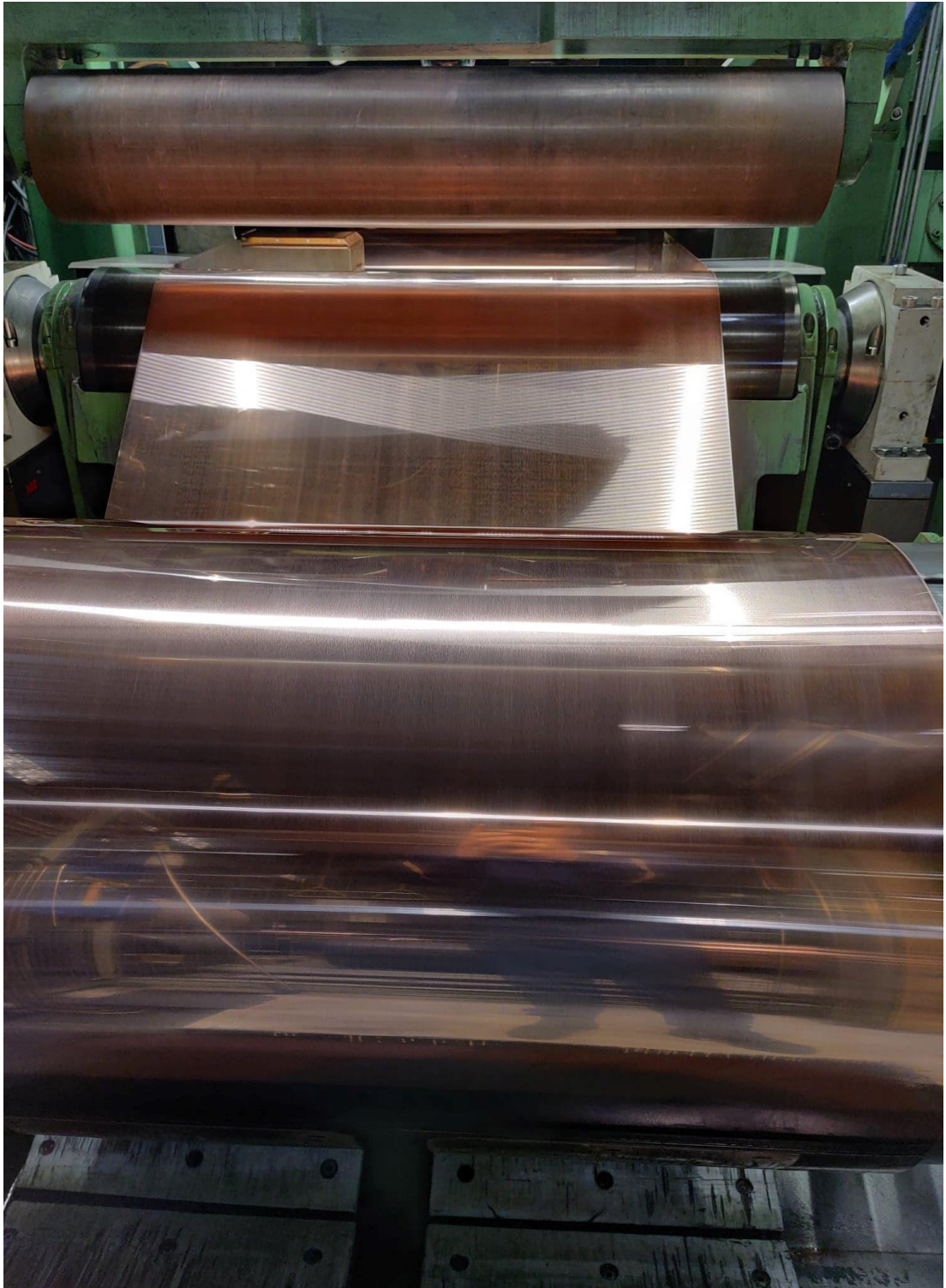
Kuva 16 Toisen koerullan pinnanlaatu kulmasta katsottuna



Kuva 17 Kolmannen koerullan pinnanlaatu edestä



Kuva 18 Kolmannen koerullan pinnanlaatu kulmasta katsottuna



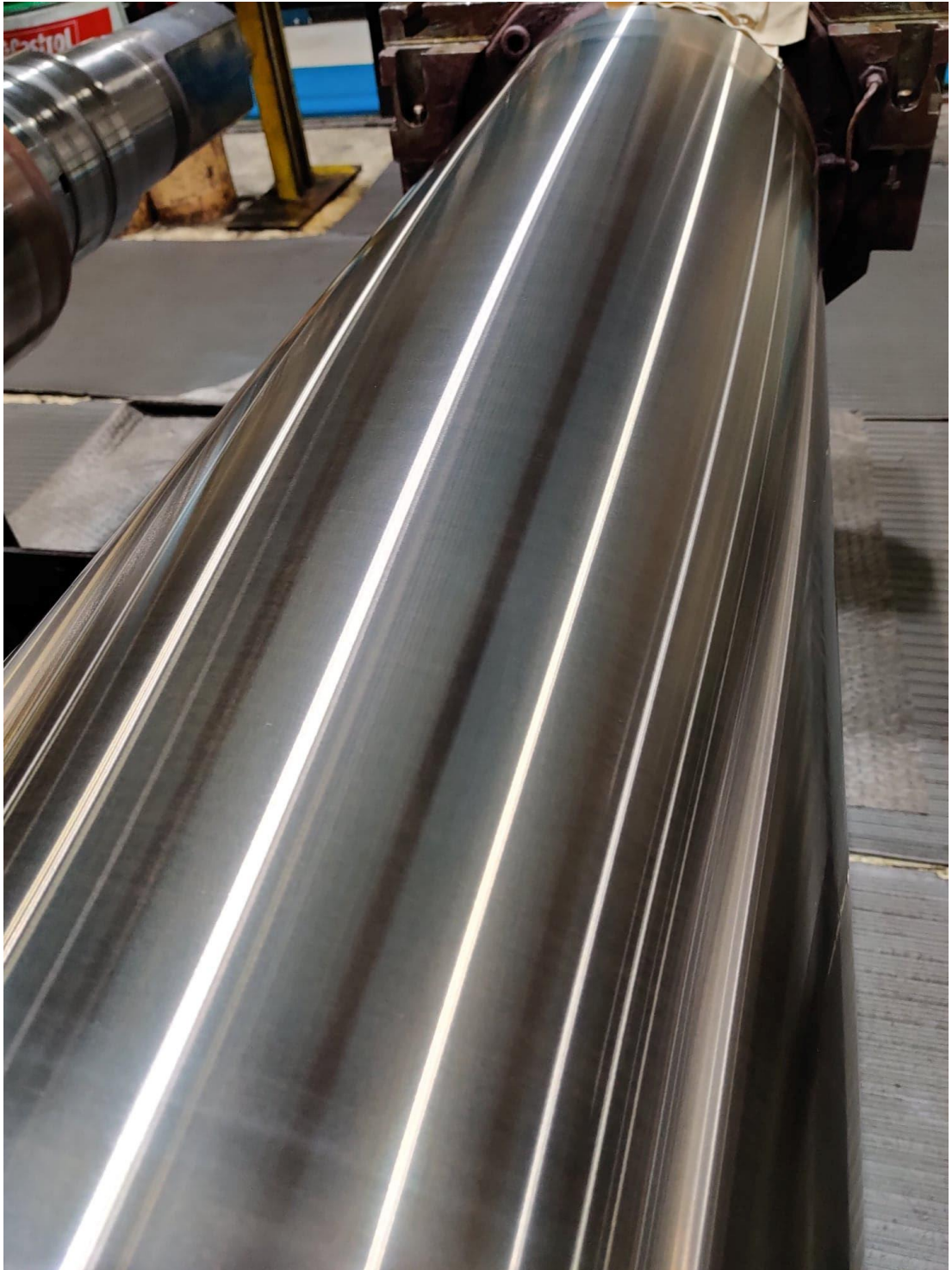
Kuva 19 Neljännen koerullan pinnanlaatu edestä



Kuva 20 Neljännen koerullan pinnanlaatu kulmasta katsottuna

9.3.4 Achenbach työvalssien pinnanlaatu kokeen jälkeen

Koevalsseilla valssattiin yhteensä neljä jyrsettä koerullaa, joiden leveys oli 1030 mm. Tässä kappaleessa tarkastellaan, miten työvalssien pinnanlaatu oli muuttunut kokeen aikana. Kokeen kannalta tämä on tärkeä osa, koska voidaan verrata työvalssien pinnanlaatua ja peilata muutosta valssattujen kuparinauhojen pinnanlaatuun kokeen alussa ja lopussa. Työvalsseissa olevat nousuraidat olivat oletettavasti jonkin verran kuluneet, mikä taas vaikutti kokeen loppupään kuparinauhojen pinnanlaatuun. Kun verrataan ylävalssin nousuraitaa kuvissa 21 ja 7 voidaan huomata, että kokeen aikana nousuraita oli selvästi pienempi kuin ennen koetta. Alavalssilla muutos oli pienempi kuin ylävalssilla ja kun verrataan kuvia 22 ja 8 voidaan huomata, että alavalssin nousuraita ei ollut juurikaan muuttunut kokeen aikana.



Kuva 21 Ylävalssi kokeen jälkeen



Kuva 22 Alavalssi kokeen jälkeen

9.4 Kokeen tulokset

Kokeen aikana seurattiin kolmella eri koneella kuparinauhojen pinnanlaatua ja prosessin aikana otettiin kuvia. Achenbach kylmävalssaimen työvalssien pinnoissa olevat nousuraidat välittyivät valssauksessa kuparinauhojen pintaan, kuten kuvassa 9 näkyy.

Achenbach kylmävalssaimen jälkeen rullat ohjattiin läpivetouunille. Läpivetouunilla saatiin otettua kuparinauhojen todellisesta pinnasta hyviä kuvia, koska kuparinauhat olivat kulkeneet läpivetouunin pesurin läpi. Kuvista 10, 11 ja 12 voidaan nähdä kuparinauhan puhtaan ja todellisen pinnan, jossa Achenbach työvalsseilta tulleet nousuraidat erottuvat selkeästi.

Läpivetouunin jälkeen koerullat ohjattiin viimeistelyvalssaukseen Sundwig kylmävalssaimelle. Koerullien pinnasta otettiin prosessin aikana kuvia valssausjärjestyksessä, eli Achenbach kylmävalssaimen valssausjärjestyksen mukaan. Kuvista 13–20 voidaan nähdä, että Achenbach kylmävalssaimelta tulleet nousuraidat ovat lopputuotteen pinnalla. Kun verrataan kuvien 14 ja 20 koerullien pinnanlaatua, voidaan havaita, että nousuraita oli ensimmäisellä koerullalla huomattavasti näkyvämpi kuin viimeisellä koerullalla. Nousuraita oli kulunut huomattavan paljon varsinkin ylävalssista, mistä voidaan päätellä, että viimeisen koerullan pienempi nousuraita johtuu ylävalssin nousuraidan kulumisesta.

Kokeen tavoitteena oli selvittää, miten Achenbach kylmävalssaimen työvalsseissa oleva nousuraita vaikuttaa kuparinauhojen pintaan. Kokeen tulosten perusteella nousuraita pysyy kuparinauhassa työn alusta loppuun. Viimeistelyvalssauksenkin jälkeen nousuraidat erottuivat selvästi kuparinauhan pinnassa.

10 TYÖN LOPPUTULOKSET JA POHDINTA

Projektin ensimmäisen osan tuloksista saatiin selville, millä valssiparilla pinnankarheuden muutos on pienimmillään. Siitä voidaan päätellä, että kovimmilla valssipareilla on kannattavinta valssata isompaa erää työtä, jolla on vaatimuksena alhainen pinnankarheus Ra. Taulukon tuloksista päätellen kovimmilla valsseilla saadaan pidempään aikaiseksi haluttu pinnankarheus nostamatta materiaalin muokkausprosenttia.

Projektin toisen osan tuloksista voidaan nähdä, miten näytepalojen pinnankarheus muuttuu suhteessa muokkausprosenttiin. Taulukoiden tuloksista voidaan havaita, että isommilla muokkausprosentteilla saadaan aikaan isompia pinnankarheuksia tuotteisiin. Tästä voidaan päätellä, että muokkausprosentti vaikuttaa suoranaisesti tuotteiden pinnankarheuteen.

Viimeisellä projektin osalla eli kokeella saatiin selville, että Achenbach kylmävalssaimen työvalsseista tulleet nousuraidat pysyvät kuparinauhojen pinnalla jokaisella työvaiheella. Koevalssien nousuraita oli tavanomaista nousuraitaa näkyvämpi, mikä vaikuttaa siihen, mikä asiakas kelpuuttaa sen pintaisen tuotteen. Nousuraita luokitellaan siis pintavirheeksi, jolla on joillekin asiakkaille suuri merkitys. Asiakas hylkää nousuraidallisen tuotteen lähinnä esteettisyyden takia, koska mekaanisissa ominaisuuksissa ei ole eroa nousuraidallisen ja ei nousuraidallisen välillä.

Tämä opinnäytetyö toi paljon uusia näkökulmia omasta alasta ja oli erittäin mielenkiintoinen. Työssä tuli opittua paljon laadusta, kunnossapidosta ja tuotannosta. Opinnäytetyötä tehdessä sain aina apua, tukea ja vinkkejä tarvittaessa ja siitä haluaisin kiittää kaikkia, jotka olivat tässä työssä mukana.

LÄHTEET

Aurubis AG:n www – sivut. Viitattu 23.11.2019. <https://www.aurubis.com/en>

Aurubis Finland Oy www –sivut 2019. Viitattu 23.11.2019. <https://www.aurubis.fi/>

Aurubis Finland Oy:n sisäinen verkko. 2019. Viitattu 18.11.2019.

Aurubis-henkilökunnan haastattelu 2020. 27.11.2019

J. Sorsa 2015, s.36. Materiaalitekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy

M. Heikkilä 1991, s.91. Tekninen piirustus ja suunnittelu. Porvoo: Werner Söderström Oy

S. Kivioja, S. Kivivuori, P. Salonen 2007, s.24. Tribologia, kitka, kuluminen ja voitelu. Helsinki: Hakapaino Oy

P. Sihvonen 2003, s.336. Valmistustekniikka. Helsinki: Hakapaino Oy