Tampereen yliopisto

Teemu Välkkynen

SINKITYSLAITTEEN PARAMETRIEN OPTIMOINTI

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Mikko Vanhatalo
Petri Vuoristo
Syyskuu 2020

TIIVISTELMÄ

Teemu Välkkynen: Sinkityslaitteen parametrien optimointi
Kandidaatintyö, 20 sivua
Tampereen yliopisto
Konetekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Syyskuu 2020

Avainsanat: ohutseinäputki, rullamuovaus, terminen ruiskutus

Ohutseinäputkien laatuvaatimukset kiristyvät kovaa vauhtia tekniikan kehittyessä. Asiakkaat vaativat koko ajan mittatarkempia ja laadukkaampia putkia. Yksi vaatimuksista on ohutseinäputkien korroosionkesto. Korroosionkestoa voidaan parantaa erilaisten pinnoitteiden avulla, joista yleisin on sinkkipinnoite. Putkien hitsaussauma pitää myös suojata korroosiolta, jos putken raaka-aine on pinnoitettua. Hitsaussauman pinnoite ruiskutetaan sauman kohdalle termisen ruiskutuksen menetelmin.

Tässä työssä analysoitiin kahta eri tutkimusta, joissa oli tutkittu sinkkiruiskun parametrien vaikutusta sinkkipinnoitteeseen. Tampereen teknillisen yliopiston suorittamassa kokeessa pinnoitettiin SSAB:lla valmistettuja 100 mm:n putkinäytteitä laboratorio-olosuhteissa, jotka eivät vastanneet täysin putkilinjan olosuhteita. Olosuhteet manipuloitiin vastaamaan putkilinjan olosuhteita mahdollisimman hyvin, jotta laboratoriossa syntynyt pinnoite olisi vertailukelpoinen putkilinjalla syntyvään pinnoitteeseen. Kokeen tarkoituksena oli selvittää lämpötilan ja esikäsittelyn vaikutusta syntyvään pinnoitteeseen.

Ruukin (nykyinen SSAB) suorittamassa kokeessa tutkittiin erilaisilla ruiskutusparametreilla valmistettuja putkinäytteitä laboratorio-olosuhteissa. Putkinäytteet oli valmistettu Hämeenlinnan tehtaan putkilinjoilla. Jokaisesta näytteestä valittiin kaksi näytekohtaa, joita tutkittiin tarkemmin. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää erilaisten ruiskutusparametrien vaikutus syntyvään sinkkipinnoitteeseen.

Tutkimustuloksista havaittiin, että lämpötilan vaikutusta syntyvään pinnoitteeseen pidetään suuressa roolissa, mutta sitä ei putkilinjalla mitata millään tavalla. Lämpötila olisi optimaalista mitata heti hitsauksen jälkeen ennen pinnoitusta, sillä lämpimämpään pintaan pinnoite tarttui huomattavasti paremmin kuin kylmään pintaan. Muita pinnoitteeseen vaikuttavia parametreja olivat ruiskutusetäisyys, ruiskun suuntaus sekä sekundääripaine, jonka avulla partikkelisuihku on helpompi suunnata putken mukaisesti. Ulkopuolisen hitsaussauman höyläys tulee tapahtua tarpeeksi isolta alueelta, jotta kaikki mahdollinen kuona-aine saadaan pois pinnoitettavalta alueelta. Pinnan puhdistus paineilman avulla ennen pinnoitusta voisi olla myös yksi keino parantaa kiinnipysyvyyttä.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. PUTKITUOTANTO 2
2.1 Ohutseinäputken valmistus 2
2.2 Ohutseinäputken käyttö 5
3. HITSAUSSAUMAN SINKKIPINNOITUS 6
3.1 Terminen ruiskutus 6
3.2 Pinnoituksen vaiheet putkenvalmistuksessa 7
3.3 Pinnoituslaitteisto ja käytössä olevat parametrit 8
3.4 Ongelmat sinkkipinnoituksessa 9
4. PARAMETRIEN OPTIMOINTI 11
4.1 TTY:n tekemä tutkimus 11
4.2 Ruukin tekemä tutkimus 12
5. TULOSTEN ANALYSOINTI 17
5.1 HITSAUSSAUMAN LÄMPÖTILAN VAIKUTUS 17
5.2 PARAMETRIEN VAIKUTUS 17
5.3 PUTKEN PINNAN PUHTAUS 18
6. YHTEENVETO 19
LÄHTEET 20

LYHENTEET JA MERKINNÄT

HF	eng. High Frequency, korkeataajuus

1. JOHDANTO

Teräsputkien laatuvaatimukset kiristyvät kovaa vauhtia tekniikan kehittyessä. Asiakkaat vaativat koko ajan laadukkaampia ja mittatarkempia tuotteita. Myös korroosionkestävien putkien kysyntä on kasvussa. SSAB:lla korroosionkestävyys saadaan putkiin erilaisten pinnoitteiden avulla, joista yleisin on sinkkipinnoite. Sinkkipinnoitteisten putkien hitsaussaumat tulee myös sinkitä, jotta niiden korroosionkesto pysyy yhtä hyvänä kuin muunkin putken.

Hämeenlinnan putkitehtaalla hitsaussauman sinkkiruiskutus tapahtuu heti hitsauksen jälkeen. Olosuhteet ovat aivan erilaiset kuin tavallisissa kaariruiskutusprosesseissa. Tämän vuoksi ruiskutuksessa esiintyy erilaisia ongelmia, esimerkiksi pinnoitteen kiinnipysyvyyden ja paksuuden kanssa.

Työn tavoitteena on tutkia, kuinka sinkinruiskutusprosessia saisi parannettua olemassa olevien keinojen ja tutkimuksien avulla. Olemassa on paljon erilaisia tutkimuksia aiheesta, mutta niiden tietoja ei ole hyödynnetty käytännön tasolla. Prosessia parantamalla säästettäisiin huomattava määrä reklamaatiokustannuksissa, sillä hitsaussauman sinkin irtoamista tapahtuu yllättävän paljon.

Tutkimuksiin valittiin kaksi aiemmin tehtyä tutkimusta aiheesta, joista toinen käsitteli pinnoitteen kehittämistä ja toinen sinkityslaitteen parametrien vaikutusta syntyvään pinnoitteeseen. Tuloksia tutkittiin ja analysoitiin tarkemmin. Lopuksi niistä tehtiin johtopäätökset, mitä parametreja tulevaisuudessa tulisi optimoida ja mihin asioihin tulisi kiinnittää huomioita, jotta pinnoite olisi parempi.

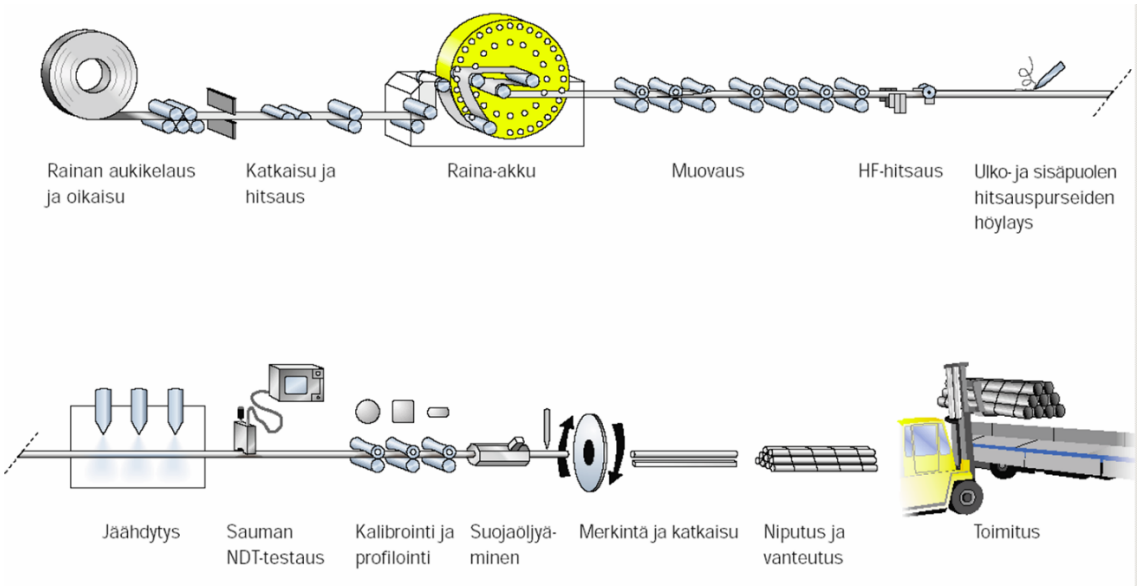
2. PUTKITUOTANTO

SSAB:n Hämeenlinnan putkitehdas työllistää tällä hetkellä noin 130 henkilöä. Käytössä on neljä putkilinjaa, yksi rakenneputkilinja sekä kolme ohutseinäputkilinjaa, joilla valmistetaan HF (High frequency) -pituussaumahitsattuja teräsputkia. Putkituotannon vuosittainen kapasiteetti on 80 000 tonnia vuodessa, josta noin 60 % ohutseinäputkia ja 40 % rakenneputkia. Rakenneputkilinja sekä yksi ohutseinäputkilinjoista ovat tällä hetkellä modernisoinnin kohteena. Modernisoinnilla saadaan laajennettua putkien mitta-aluetta Hämeenlinnan tehtaalla. Uusi mitta-alue on

- ohutseinäputkissa Ø 16 mm x 0.8 mm – Ø 88.9 mm x 3.0 mm
- rakenneputkissa Ø 42.4 mm x 2.0 mm – Ø 127 mm x 8.0 mm. [1]

2.1 Ohutseinäputken valmistus

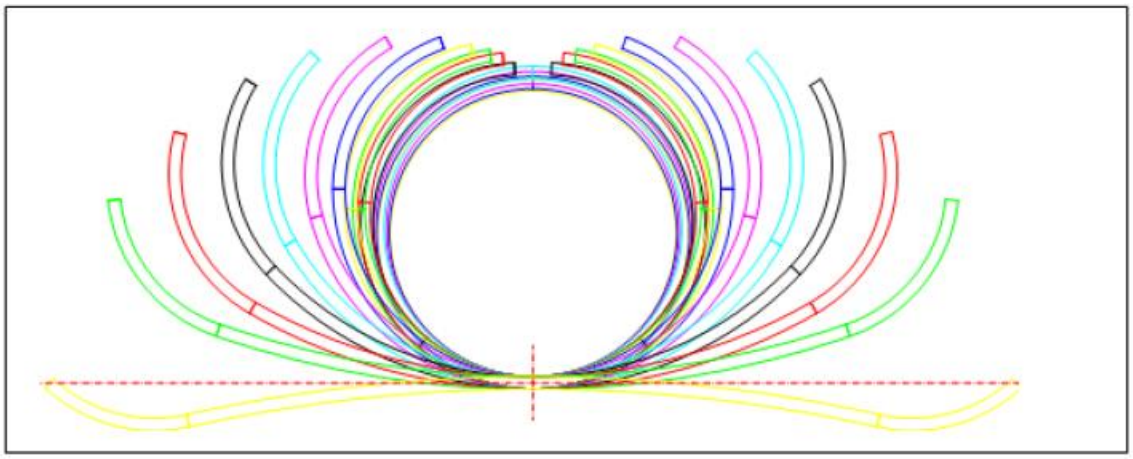
Pituussaumahitsatun ohutseinäputken valmistus alkaa rainasta, joka on leikattu oikeaan leveyteen kelasta. Alla olevassa kuvassa 1 näkyy putken valmistuksen eri työvaiheet.



Kuva 1. *Pituussaumahitsatun putken työvaiheet [2].*

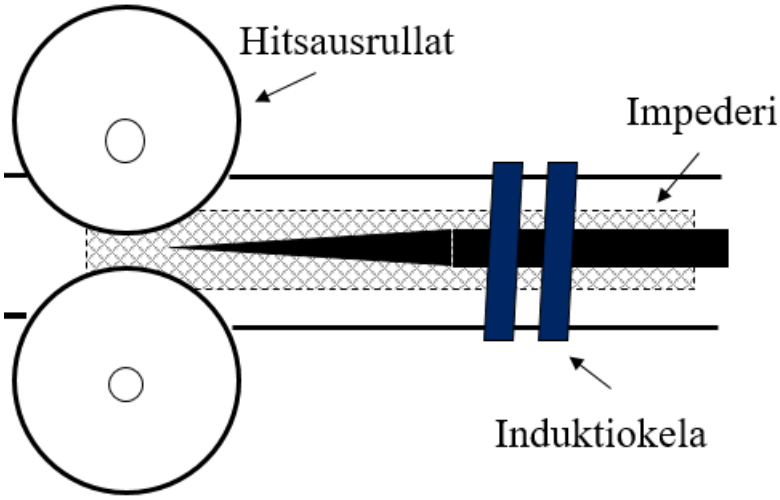
Raina aukikelataan ja oikaistaan, minkä jälkeen se syötetään katkaisu- ja hitsauslaitteistoon. Rainan päät leikataan suoriksi, minkä jälkeen edellisen rainan loppupää hitsataan kiinni uuden rainan alkupäähän. Hitsauksen jälkeen raina kelataan raina-akkuun. Raina-akkuun pystytään syöttämään rainaa linjanopeutta suuremmalla nopeudella, mikä mahdollistaa rainan päiden hitsauksen yhteen ilman tuotantokatkoksia. [1] [2] [3]

Raina-akusta raina kulkee linjan muovausosaan. Muovausosassa raina kylmämuovataan pyöreän putken muotoon. Muovausosa koostuu vetävistä muovausrullista sekä vapaasti pyörivistä sivurullista. Putken muoto viimeistellään veitsirullilla, joiden tarkoitus on ohjata rainan reunat kohtaamaan oikealla tavalla. [1] [2] [3] Kuvassa 2 on esitetty rainan taipumisen vaiheet muovausosassa.



Kuva 2. *Rainan taipumisen vaiheet muovausosassa [2].*

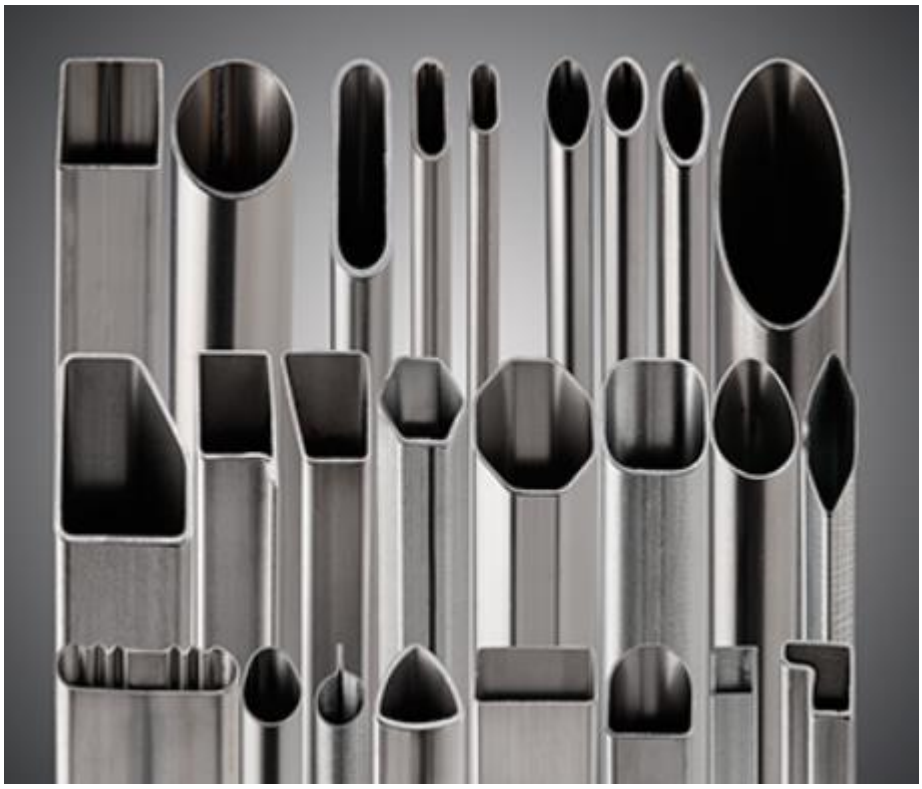
Rainan reunat hitsataan yhteen HF-menetelmällä, jolloin avonaisesta profiilista syntyy suljettu profiili. HF-menetelmässä vesijäähdytetty kuparikela indusoi virran avonaiseen putkeen. Putken sisällä oleva ferriittisauva (kutsutaan myös impederiksi) ohjaa induktiokelasta tulevan virran rainan reunoihin. Tämän seurauksena rainan reunat kuumenevat noin 1500 celsiusasteeseen ja ne painetaan hitsausrullilla yhteen. [1] [2] [3] Kuvassa 3 on esitetty HF-menetelmä.



Kuva 3. *Putken HF-hitsausmenetelmä [2].*

Hitsauksen jälkeen putkesta poistetaan ulkopuolinen hitsauspurse ja tarvittaessa myös sisäpuolinen hitsauspurse asiakkaan tarpeen mukaan. Höyläyksen jälkeen putki jäähdytetään vesilaatikossa. Jäähtynyt putki tarkastetaan pyörrevirtalaitteella suoraan linjassa. Pyörrevirtalaite tunnistaa vialliset putket ja hylkää ne. [1] [2] [3]

Putken ulkohalkaisija kalibroidaan lopulliseen mittaan kalibrointiosassa. Kalibrointiosa koostuu 3 – 4 kalibrointipukista. Kalibrointiosasta putki kulkee profilointiosaan, joka koostuu 2 – 3 profilointipukista. Profilointipukeilla putki oikaistaan ja tarvittaessa muokataan haluttuun muotoon, neliöksi, suorakaiteeksi tai erikoisprofiiliksi. Kuvassa 4 on esitelty erilaisia profiileja, joita SSAB valmistaa. [1] [2] [3]



Kuva 4. *Esimerkkejä SSAB:n valmistamista profiileista [3].*

Profiloinnin jälkeen putket tarvittaessa suojaöljytään ennen katkaisua linjalla. Putki katkaistaan liikkuvalla sahalla. Saha kiihdyttää nopeutensa linjanopeuteen, katkaisee putken ja palaa alkuasemaan seuraavaa katkaisua varten. Sahalta putki kulkee linjan viimeiseen osaan, niputukseen. Putket niputetaan automaattiniputtajalla nippuihin ja vanteutetaan vanteutuskoneella, jotta ne pysyvät koossa asiakkaalle asti. Pyöreät putket niputetaan kuusikulmaisiin nippuihin ja kantikkaat putket kantikkaisiin nippuihin. Erikoisprofiilien nippumuotoja ei ole tarkoin määritelty. Nippukoot riippuvat putkien koosta sekä asiakkaan tarpeista. Valmiit putkiniput toimitetaan varastoon odottamaan noutoa. [1] [2]

2.2 Ohutseinäputken käyttö

Ohutseinäputkia käytetään, kun vaaditaan tarkkoja toleransseja, korroosionkestävyyttä, muovattavuutta, työstettävyyttä, lujuutta ja pinnanlaatua. Ohutseinäputkien korroosionkestävyyttä ja pinnanlaatua saadaan parannettua erilaisten sinkkipinnoitteiden avulla. SSAB:n ohutseinäputket voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan, SSAB Form Tube – putkiin, SSAB Boron – putkiin sekä Docol Tube – putkiin, joilla kaikilla on omat huippuominaisuutensa. [3] [4]

SSAB Form Tube – putket ovat yhdistelmä lujuutta, muovattavuutta, tarkkoja toleransseja sekä hyvää pinnanlaatua. Tähän kategoriaan kuuluu suurin osa SSAB:lla valmistettavista putkista. Näitä putkia käytetään kaikissa mahdollisissa ohutseinäputkikohteissa, esimerkiksi huonekaluteollisuudessa ja erilaisissa teollisuuden käyttökohteissa. [3] [4]

SSAB Boron – putket ovat karkaistavia ohutseinäputkia. Putket ovat helposti muovattavissa toimitustilassa, mutta ultralujia karkaisun jälkeen. Näiden käyttökohteita ovat ajoneuvojen suojarakenteet sekä koneteollisuus, joissa molemmissa vaaditaan erittäin suurta lujuutta. [3] [4]

Docol Tube – putket ovat korkealujuuksisia ohutseinäputkia, joissa yhdistyvät suuri lujuus ja erilaiset pinnanlaadut. Korkealujuuksisten ohutseinäputkien kysyntä on kasvanut viime vuosien aikana todella paljon. Autoteollisuus käyttää putkia korin ja alustan turvakomponentteina ja rakenneosina, mutta myös muu valmistava teollisuus on alkanut kiinnostumaan näistä. [3] [4]

3. HITSAUSSAUMAN SINKKIPINNOITUS

Ohutseinäputkien valmistuksessa käytetään kaariruiskutusta sinkittyjen putkien hitsaussauman pinnoitukseen. Pinnoituksen tarkoituksena on saada saumalle hyvä korroosionkestävyys sekä hyvä ulkonäkö, joka vastaa ulkonäöltään sinkityn putken pinta. Pinnoitus tapahtuu valokaariruiskutuksena, joka on yksi termisen ruiskutuksen osa-alueista. Putkenvalmistuksessa ruiskutus eroaa perinteisestä valokaariruiskutuksesta aiheuttaen omat hankaluutensa.

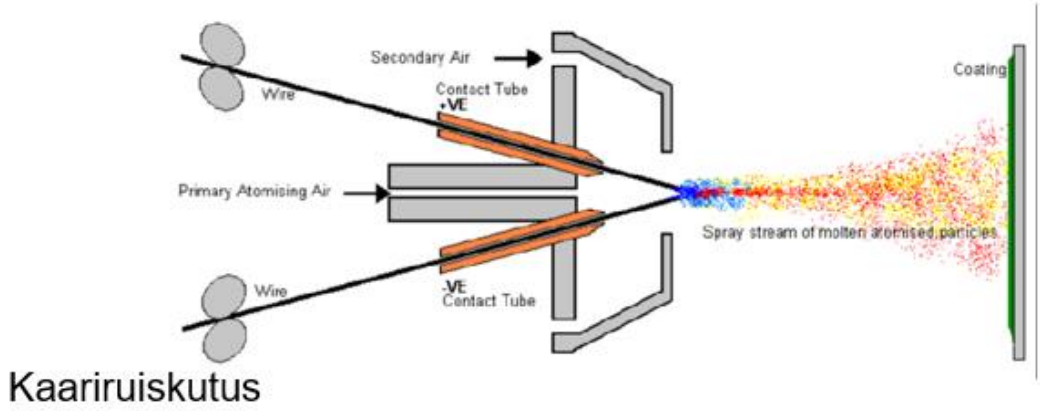
3.1 Terminen ruiskutus

Terminen ruiskutus on yleinen pinnoitusmenetelmä erilaisissa teollisuuskohteissa sen monipuolisen käytön vuoksi. Termisessä ruiskutuksessa pinnoitukseen käytettävä materiaali sulatettaan osittain tai kokonaan ja ruiskutetaan hiukkassuihkuna kaasuvirtauksen avulla pinnoitettavan materiaalin pintaan. Pinnoitukseen käytettävä materiaali voidaan sulattaa joko sähköisesti (valokaari tai plasma) tai palavan liekin avulla. [5] [8]

Termisessä ruiskutuksessa voidaan käyttää kaikkia materiaaleja, jotka eivät sulatilan saavuttaessaan hajoa. Pinnoitusmateriaali voidaan tuoda prosessiin joko jauhe- tai lankamuodossa. Lankamuotoisen materiaalin kustannukset ovat huomattavasti edullisempia kuin jauhemaisen materiaalin. [5]

Termisessä ruiskutuksessa pinnoitteen laatua arvioidaan mittaamalla huokoisuutta, oksidipitoisuutta, pinnankarheutta, kovuutta sekä sidoksen lujuutta. Pinnoitteen laatua saadaan parannettua ruiskutuken pisaranopeutta kasvattamalla.

SSAB:lla sovelletaan yhtä termisen ruiskutuksen mallia, valokaariruiskutusta. Valokaariruiskutuksessa pistooliin syötetään kahta sähköä johtavaa metallilankaa, joiden paksuus vaihtelee 1,6-3,2mm välillä. Langat on kytketty sähkövirtaa syöttävään virtalähteeseen (20-40 V, 20-2000 A). Virtalähteen ansiosta metallilankojen kohdatessa niiden välille syntyy valokaari, joka sulattaa metallilangat. Sulat metallipisarat puhalletaan paineilman avulla kappaleen pintaan. Valokaari pidetään tasaisena säätämällä lankojen syöttönopeutta, virtaa ja jännitettä. [5] [8] Kuvassa 5 on havainnollistettu kaariruiskutuksen toiminta.



Kuva 5. *Kaariruiskutuksen toimintaperiaate [8].*

3.2 Pinnoituksen vaiheet putkenvalmistuksessa

Termisen ruiskutuksen työvaiheet voidaan jakaa kolmeen eri osaan, pinnan esivalmisteluun, ruiskutusprosessiin sekä jälkikäsittelyihin. Putken valmistuksessa työvaiheet poikkeavat melko paljon tavallisesta ruiskutusprosessista.

Termisessä ruiskutuksessa kappaleen pinta tulee esivalmistella mahdollisimman hyvin ruiskutusta varten. Esivalmistelussa pinta puhdistetaan liasta ja rasvasta sopivalla puhdistusaineella. Tämän jälkeen pinta tarvittaessa karhennetaan. Karhennuksen ideana on karhentaa kappaleen pinta eli tehdä siitä epätasainen, jolloin tartuntapinta-alaa muodostuu enemmän. Pinnankarhennus voidaan tehdä erilaisten puhallusmenetelmien tai koneistuksien avulla. Putkenvalmistuksessa pinnoitusta ei esivalmistella. Putki tulee suoraan ruiskutuskaappiin sauman hitsauksen ja höyläyksen jälkeen. [5] [8]

Termisessä ruiskutuksessa kappaleen pintaan ruiskutetaan yleensä ensin tartuntakerros, jonka päälle ruiskutetaan varsinainen pinnoitekerros. Tartuntakerrosta ei käytetä korroosionestopinnoitteissa, eli putkenvalmistusprosessissa sitä ei käytetä. Terminen ruiskutus on mahdollista tehdä käsin tai koneellisesti, riippuen prosessista. [5] [8] Putkenvalmistuksessa putken pinnan lämpötilaa ei mitata mitenkään. Se aiheuttaa ongelmia ruiskutuksen kiinnipysyvyyden kanssa, sillä lämpimämpään pintaan pinnoite tarttuu paremmin kuin kylmään pintaan.

Termisessä ruiskutuksessa jälkikäsittelyt ovat harvinaisia, mutta mahdollisia. Putkenvalmistuksessa pinnoitettu alue harjataan ruiskutuksen jälkeen. Harjauksen jälkeen putki kulkee vielä kalibrointi- ja viimeistelyrullaston lävitse, jotka omalta osaltaan muokkaavat pinnoitusta.

3.3 Pinnoituslaitteisto ja käytössä olevat parametrit

SSAB:lla on käytössä Beijersin Metallisation Arc 145-sarjan 350A kaariruiskutuslaitteisto (Kuva 6). Ruiskutuspistooli sijaitsee ruiskutuslaatikossa, putkilinja kulkee pistoolin alla. Ruiskutuslaatikossa pidetään pieni alipaine, joka estää sinkkipölyn ja muiden mahdollisten epäpuhtauksien leviämisen ympäri työpistettä. Metallilankoina käytetään 1.6mm paksuisia sinkkilankoja.

Kuva 6. *Metallisation Arc 350A kaariruiskutuslaitteisto.*

Ennen ruiskutusta hitsaussaumasta höylätään ulkopuolinen hitsauspurse pois. Ruiskutuksen jälkeen putki kulkee sauman harjauslaitteiston läpi. Harjauksen tarkoituksena on poistaa mahdollinen ylimääräinen sinkki ruiskutuskohdasta. Mikäli harjausta ei suoriteta, ylimääräinen sinkki irtoaa kalibrointi- ja viimeistelyrullastoissa tarttuen rullien pintaan ja alkaa naarmuttaa putkea.

Ruiskutuksessa käytetään aina vakioparametrejä. Alla olevassa taulukossa 1 näkyy käytössä olevat parametrit.

Taulukko 1. Käytössä olevat parametrit

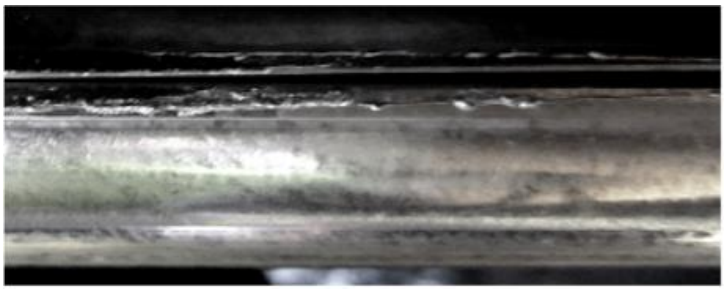
Ruiskun etäisyys putkesta	Jännite	Virta	Suuttimen paine
n. 20mm	25 V	80-120 A	5 bar

Pinnoitteen paksuutta säädetään virran avulla. Virta säätelee langan syöttöä. Jos pinnoitteen paksuus on alle 10µm tai yli 40µm, säädetään virran arvoa parametrihaarukan sisällä. Pinnoitetta mitataan pinnoitteen paksuusmittarin avulla, joka antaa tuloksen mikrometreinä. Muita parametreja ei säädetä. Yllämainittujen parametrien lisäksi ennen ruiskutusta tulee varmistaa, että sinkkipistooli on asetettu keskelle hitsaussaumaa.

3.4 Ongelmat sinkkipinnoituksessa

Sauman sinkkipinnoituksessa lähes kaikki ongelmat liittyvät pinnoitteen kiinnipysyvyyteen. Yleisimpiä ongelmia ovat sinkkipinnoitteen sulaminen hitsausalueen viereen, sinkkipinnoitteen irtoaminen kalibrointirullastossa tai sinkkipinnoitteen irtoaminen asiakkaan jälkikäsittelyprosesseissa.

Sinkkipinnoitteen sulamista hitsausalueen viereen tapahtuu yleensä silloin, kun SSAB:n omassa prosessissa on jokin asia pielessä. Pinnoitteen sulaminen tarkoittaa sitä, että sinkkipinnoite ei tartu hitsaussaumaan kiinni, vaan tarttuu vasta enemmän jäähtyessään sauman vierelle. Pinnoitteen sulaminen nähdään putkilinjassa heti, joten korjaavat toimenpiteet päästään aloittamaan myös heti. Korjaavat toimenpiteet löytyvät SSAB:n työohjeesta. Korjaavia toimenpiteitä ovat hitsausparametrien säätö, rainan reunojen kohtaamisen säätö, höyläyksen säätö sekä jäähdytyksen säätö. Kuvassa 7 on esimerkki sulaneesta pinnoitteesta.



Kuva 7. *Sulanutta pinnoitetta sauman vieressä [6].*

Sinkkipinnoitteen irtoamista kalibrointirullastossa tapahtuu myös silloin, kun omassa prosessissa on jokin pielessä. Irronnut pinnoite tarttuu kiinni rulliin ja alkaa

naarmuttamaan putkea. Pinnoitteen irtoaminen ja naarmut nähdään heti putkilinjassa, joten korjaavat toimenpiteet päästään myös aloittamaan heti. Korjaavat toimenpiteet löytyvät SSAB:n työohjeesta. Korjaavia toimenpiteitä ovat ruiskutusparametrien tarkastus ja säätö, rainan reunojen kohtaamisen säätö, hitsausparametrien säätö sekä höyläyksen säätö. Kuvassa 8 on esitetty pinnoitetta, joka on hilseillyt irti profilointirullastossa.

Kuva 8. *Irtonaista pinnoitetta, joka tarttuu rullastoon [6].*

Sinkkipinnoite saattaa irrota vasta asiakkaan jälkikäsittelyprosessin aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että omassa prosessissa kaikki on näyttänyt olleen kunnossa, mutta todellisuudessa pinnoite ei ole kiinnittynyt. Kun asiakas esimerkiksi jauhemaalaa tai taivuttaa putkea omalle tarpeelleen sopivaksi, irtoaa sinkki saumasta. Tällainen pinnoitteen kiinnipysyvyyden ongelma on kaikista kallein, sillä asiakas on oikeutettu reklamoimaan asiasta. Ongelman juurisyyt ovat myös hankalia selvittää, koska ongelmaa ei olla havaittu omassa prosessissa. Kuvassa 9 on esitetty asiakkaan maalausprosessissa irronnut pinnoite.

Kuva 9. *Pinnoitteen irtoaminen asiakkaan maalausprosessissa.*

4. PARAMETRIEN OPTIMOINTI

Sinkityslaitteen parametrien optimointia ollaan tehty yhtä kauan kuin saumoja ollaan sinkitty. Ruiskutuslaitteistot ovat vaihtuneet vuosien varrella, nyt käytössä on Beijersin Metallisation Arc – ruiskutuslaitteisto. Tässä luvussa on tarkoitus käydä läpi vanhoista tutkimuksista saatua tietoa.

4.1 TTY:n tekemä tutkimus

Tampereen teknillisen yliopiston materiaaliopin laitos on yhteistyössä Ruukin (nykyinen SSAB) kanssa tehnyt tutkimuksen vuonna 2006 aiheesta ”Sinkityn putken hitsaussauman kaariruiskutetun pinnoitteen kehittäminen”. Kokeellisessa tutkimuksessa oli tarkoitus kehittää putkilinjaruiskutusta ja vertailla erilaisia ruiskuvaihtoehtoja poistuvalle ruiskulle. Tutkimuksen aikaan Ruukilla oli käytössä 4RG-ruisku. Vertailussa olivat OSU-300 tube –ruisku sekä SmartArc-ruisku. Nykyään SSAB:n putkilinjalla on käytössä Metallisation -valokaariruisku.

Tutkimuksessa tehdyt kokeet tehtiin TTY:n laboratoriossa noin 100 mm pituisilla näyteputkilla. Näyteputket oli saatu Ruukin putkitehtaalta. Näytteet olivat hitsattuja ohutseinäputkia, jotka oli höylätty, mutta ei pinnoitettu. Sauman kohta kuumennettiin lähelle sinkin sulamispistettä (420 celsiusastetta), pinnoituksen jälkeen sauman lämpötila oli noin 250 celsiusastetta. Nopeus pinnoituskohdassa oli noin 2m/s (120m/min). Tutkimuksessa käytetyn SmartArc-ruiskun parametrit löytyvät alla olevasta taulukosta 2. Huomioitava asia on se, että tässä kokeessa sauman lämpötilaa pidettiin vakiona, vaikka putkilinjassa sauman lämpötila vaihtelee riippuen putken materiaalista ja seinämäpaksuudesta. [7]

Taulukko 2. SmartArc-ruiskun parametrit [7].

	Jännite (V)	Virta (A)	Ilma (bar)	Ilma (m3/h)	Lanka (mm)
SmartArc	10-46	80-400	2.4-4.2	58-105	1.6/2.0/2.3

Alustavissa kokeissa tutkittiin lämpötilan ja esikäsittelyn vaikutusta pinnoituksen laatuun. Kylmälle putkelle tehdyissä kokeissa havaittiin, ettei pinnoite tartu kylmälle pinnalle kovin hyvin. Kuumennettuun näytteeseen pinnoite tarttui hyvin. Alustavissa kokeissa tutkittiin myös pinnan esikäsittelyä eli karhennusta. Karhennusta ei putkilinjalla tapahdu eikä siitä tuntunut olevan juurikaan apua tässä tutkimuksessa, joten päädyttiin tekemään kokeet pääosin käsittelemättömille putkille. [7]

Laboratoriokokeiden perusteella SmartArc-ruiskun suuttimeksi valittiin fan-suutin, siinä ohiruiskutus oli kaikista pienintä. Fan-suuttimen avulla voidaan partikkelisuihkun muoto muuttaa ovaaliksi, joka voidaan suunnata putken suuntaiseksi. SmartArcilla tehdyt pinnoitteet olivat muiden ruiskujen pinnoitteisiin verrattuna karkeita, joka vaikeutti näytteiden valmistusta. Tällainen pinnoite saattaa putkilinjalla toimia hyvin, sillä pinnoituksen jälkeen putki kalibroidaan oikeaan kokoon. [7]

Tutkimuksen perusteella SmartArc-ruiskua kannattaisi kokeilla putkilinjalla, sillä pinnoitteen karkeus ei haittaa, koska putki kulkee vielä linjassa kalibrointirullaston läpi. Laboratoriokokeissa ei voida tarkasti simuloida putken lämpötilaa pinnoituksessa eikä tehdä kalibrointivalssausta ruiskutuksen jälkeen. Lämpötila havaittiin tärkeäksi parametriksi pinnoituksen muodostumisen kannalta. Materiaaliteknisesti seoslankojen käyttö on paras ratkaisu verrattuna alumiini-sinkki eriparilankoihin, sillä koetuloksissa havaittiin jatkuvasti sekoittumattomia sinkki- ja alumiinialueita. Tärkeitä tutkimuksessa ilmenneitä parannusehdotuksia ovat ruiskun suunnan ja etäisyyden hienosäätö ajon aikana, lämpötilan tarkkailu ajon aikana sekä putken pinnan puhdistaminen ajon aikana esimerkiksi ilmaveitsien avulla. [7]

4.2 Ruukin tekemä tutkimus

Ruukki teetti vuonna 2012 tutkimuksen ”Sinkinruiskutusparametrien vaikutus ohutseinäputken hitsisauman sinkkipinnoitteeseen”. Tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla sinkinruiskutusparametrien vaikutusta syntyvään sinkkipinnoitteeseen. Vertailtaviin parametreihin kuuluivat myös ajonopeus ja sinkkiruiskun etäisyys pinnoitettavasta kohdasta. Tutkimuksen näytteet oli pinnoitettu SmartArc-ruiskulla.

Tutkittavia näytteitä oli kerätty kahdeksan kappaletta, Hämeenlinnan putkitehtaan H1- ja H2-linjoilta. Näyte 2 jätettiin pois tutkimuksista, sillä sen ajo- ja sinkinruiskutusparametreja ei ollut saatavilla. Jokaisesta näytteestä tutkittiin kaksi kohtaa. Alla olevassa taulukossa 3 on esitetty näytteiden perustiedot. Molemmilla linjoilla oli käytössä sama sinkkiruisku, joten siitä ei aiheutunut ylimääräisiä muuttuvia tekijöitä. [9]

Taulukko 3. Tutkittujen näytteiden perustiedot [9].

Näyte	Laatu	Geometria	D/t	Linja
1	Form 370 Z-275MA	40x40x2	20	H1
3	Form 220 Z-275MA	40x40x1.5	26.7	H1
4	Form 220 Z-275MA	40x40x2	20	H1
5	Form 220 Z-275MA	50x1.5	33.3	H1
6	Form 220 Z-275MA	50x2	25	H1
7	Form 500 Z-450MA	25x25x2	12.5	H2
8	Form 220 Z-275MA	36x16x1 FL	28	H2

Taulukosta 3 voidaan huomata, että näyte 7 on hieman erilainen kuin muut näytteet, se vaatii 32 mikrometrin paksuisen sinkkipinnoitteen, kun muut näytteet vaativat 20 mikrometrin paksuisen sinkkipinnoitteen. Taulukossa 4 on esitetty käytetyt ruiskutusparametrit eri näytteille.

Taulukko 4. Kokeessa käytetyt ruiskutusparametrit [9].

Näyte	Jännite (V)	Virta (A)	Ensiö-paine (psi)	Sekundääri-paine (psi)	Pistooli-kiinnike (bar)	Etäisyys (mm)	Ajonopeus (m/min)
1	26	134	33	0	1.2	20	112
3	26	133	32	0	1.2	30	110
4	26	130	32	0	1.2	30	108
5	26	136	31	10	1.2	32	110
6	26	132	31	11	1.2	32	100
7	24	122	56	66	1.2	29	120
8	24	122	55	62	1.1	29	120

Sinkinruiskutuskoneen virran arvo määrittää hitsilangan syötön ja jännitteen arvo langan kuumennuksen. Taulukosta 4 havaitaan, että virta ja jännite pysyvät vakioina molemmilla linjoilla. Linjojen välillä toki on eroja, se huomataan verrattaessa näytteitä 1-6 näytteisiin 7-8. H1-linjalla ensiöpaine pysyy vakiona, mutta näytteillä 5 ja 6 esiintyy myös sekundääripainetta. H2-linjalla molemmat, sekä ensiö- että sekundääripaine pysyvät samoissa lukemissa. Ruiskutusetäisyys pysyy vakiona molemmilla linjoilla lukuun ottamatta näytettä 1. Ajonopeus vaihtelee 100-120 m/min välillä.

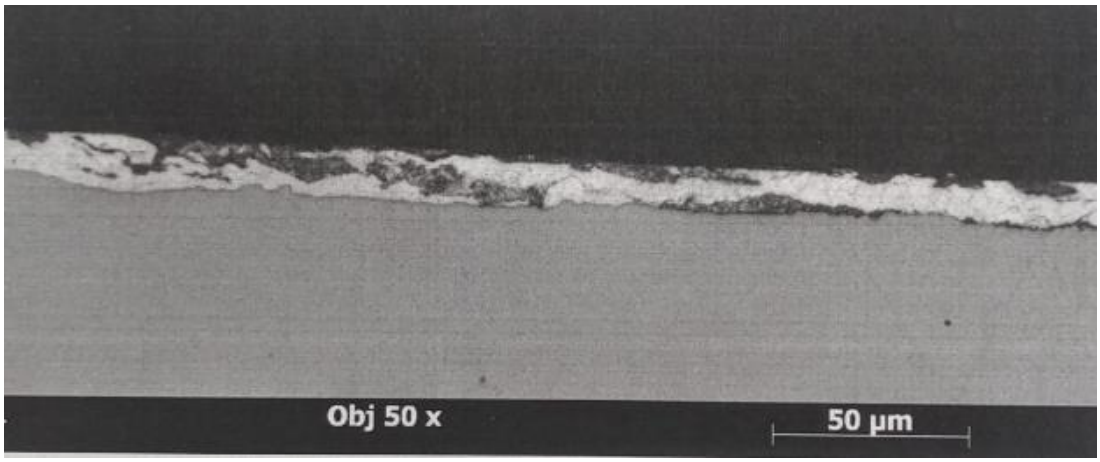
Jokaisesta näytteestä valittiin kaksi näytekohtaa ja niistä tutkittiin sinkkipinnoitteen paksuutta. Tulokset on kerätty alla esitettyyn taulukkoon 5.

Taulukko 5. Näytteiden sinkkipinnoitteiden paksuudet [9].

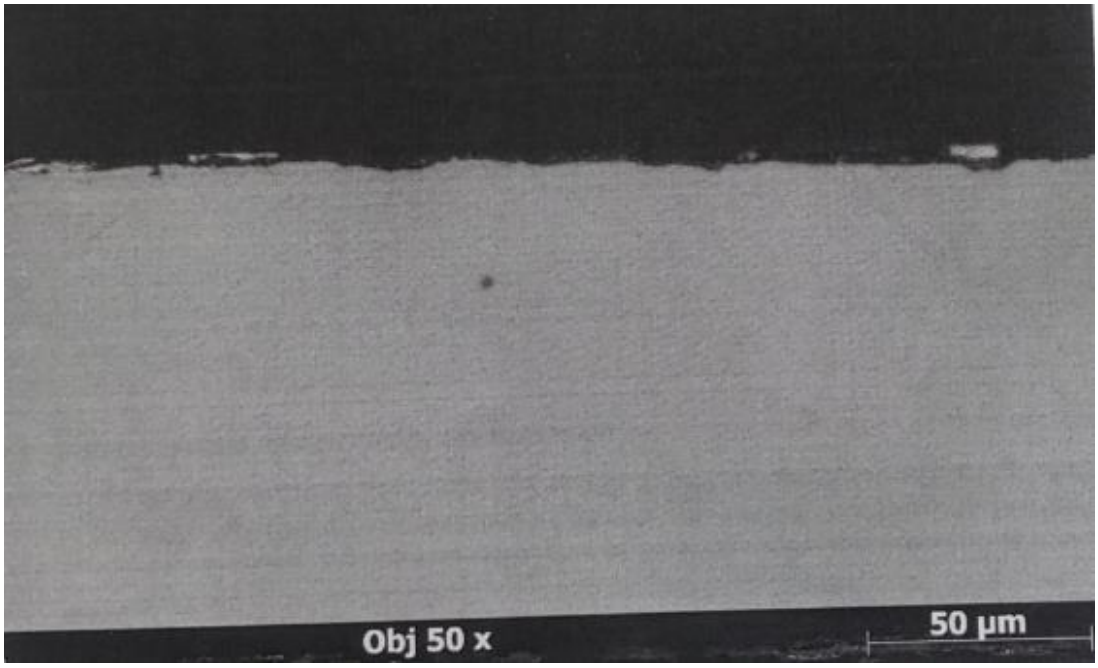
Näytekohta	Minimi (µm)	Maksimi (µm)	Keskiarvo (µm)	Alle 2 µm tuloksia
1.1	0	14.5	5.8	9
1.2	0	17.2	10.1	4
3.1	0	22.3	10.8	6
3.2	0	23.6	10.4	5
4.1	1.2	21.9	12.9	2
4.2	0	17.9	8.8	3
5.1	3.3	13.6	7.4	0
5.2	0	20.4	8.9	3
6.1	2.7	25.6	13.7	0
6.2	2.4	26.2	11.7	0
7.1	0	11.9	7.0	3
7.2	0	12.5	7.6	3
8.1	0	11.2	4.3	13
8.2	0	13.5	6.7	11

Ensimmäisen näytteen tutkimuksissa huomattiin, että samasta näytteestä otetut kaksi eri tutkimuskohtaa erosivat toisistaan huomattavan paljon. Pinnoitteen paksuuden

keskiarvo oli lähes puolet pienempi kohdassa 1.1. Kohdassa 1.1 oli myös kaksinkertainen määrä alle 2 µm tuloksia. Molemmissa näytekohdissa oli myös pinnoittamattomia kohtia. Pinnoite oli todella reikäistä ja huonoa, tämä todettiin kuvaamalla pinnoitetta 50-kertaisella objektiivilla. [9] Kuvissa 10 ja 11 on esitetty kuvat hyvästä ja huonosta pinnoitekohdasta.



Kuva 10. *Näytteestä 1 kuvattu hyvä pinnoitekohta 50-kertaisella objektilla [9].*



Kuva 11. *Näytteestä 1 kuvattu huono pinnoitekohta 50-kertaisella objektilla [9].*

Kolmannen näytteen tutkimukset olivat tasalaatuisempia kuin ensimmäisen näytteen. Molemmat tutkimuskohdat olivat hyvin samankaltaisia. 50-kertaisella objektiivilla kuvatuissa kuvissa selviää, että paksummat sinkkisaarekkeet nostavat keskiarvoa. Pinnoite oli suuressa osassa näytekohtaa ohutta ja reikäistä. [9]

Neljännen näytteen tutkimuksissa havaittiin, että näytekohdalla 4.1 on korkeammat arvot minimissä, maksimissa ja keskiarvossa kuin näytekohdalla 4.2. Alle 2 µm tuloksia oli vähän, joten pinnoite oli tasainen. Näytekohdassa 4.1 ei myöskään ollut pinnoittamattomia kohtia, toisin kuin näytekohdassa 4.2. [9]

Viidennen näytteen tutkimuksissa havaittiin, että molemmille näytekohdille yhtenäistä oli ohut, mutta suhteellisen tasainen pinnoitekerros. Saman asian kertoo taulukon 5 arvot näytekohdan 5.1 kohdalta, alle 2 µm tuloksia ei ollut yhtään ja pinnoitteen keskiarvo oli suhteellisen matala. Näytekohdassa 5.2 pinnoitekerros oli hieman paksumpi. [9]

Kuudennen näytteen tutkimuksissa havaittiin, ettei kummastakaan näytekohdasta löytynyt pinnoittamattomia kohtia. Pinnoitteiden paksuudet olivat näytesarjan korkeimmat. Pinnoitteiden keskiarvot olivat hyvin lähellä toisiaan. 50-kertaisella objektiivilla huomattiin, että näytekohdan 6.2 pinnoite oli hieman ohuempi, mutta tasaisempi kuin näytekohdan 6.1. [9]

Seitsemäs näyte oli ensimmäinen näytteistä, joka oli valmistettu H2-linjalla. Seitsemäs näyte oli myös ainoa, jossa vaadittiin paksumpaa sinkkipinnoitteen paksuutta. 50-kertaisella objektiivilla havaittiin, että näyte on hyvin samankaltainen kuin näyte 5, pinnoite on todella ohut mutta kattava. Taulukosta 4 voidaan havaita, ettei kokeessa näytteeseen 7 ollut edes tarkoitus tehdä paksumpaa pinnoitetta, sillä ruiskutusparametrit ovat samat kuin muissakin näytteissä. [9]

Kahdeksannen näytteen tutkimuksissa pinnoitteen paksuuden keskiarvo oli alhaisin. Molemmat näytekohdat ovat hyvin reikäisiä, eli niistä löytyi pinnoittamattomia kohtia. [9]

Vertailtaessa tutkittujen näytteiden sinkkipinnoitteita voidaan havaita, että saman näytteen eri näytekohdissa ei ole suuria eroja, paitsi näytteellä 1. Kyseisen näytteen kohdalla ruiskutusetäisyys poikkesi muista. Ruiskutusetäisyyden vaikutusta sinkkikerroksen laatuun on kuitenkin vaikea arvioida. [9]

Näytteillä 5 ja 6 oli kaikista näytteistä parhaimmat sinkkipinnoitteet, sillä pinnoitteissa ei ollut juurikaan reikiä. Nämä näytteet ovat molemmat ajettu H1-linjalla ja näissä on käytetty sekundääripainetta. Hitsisaumojen pinnoitteet eivät kuitenkaan ole samanlaiset, näytteellä 5 on ohut ja tasainen pinnoite, näytteellä 6 puolestaan paksumpi ja epätasaisempi. [9]

Näytteet 3 ja 4 ovat geometrialtaan samanlaisia tuotteita (40x40) ja samaa laatua, mutta niiden paksuus ei ollut sama. Sinkinruiskutusparametrit ovat samanlaisia molemmilla näytteillä. Vaikka keskimääräinen sinkkipinnoitteen paksuus on samaa luokkaa molemmilla näytteillä, ohuemman näytteen pinnoite on paljon epätasaisempi. Tämä voi

johtua siitä, että ohuempi materiaali jäähtyy nopeammin kuin paksumpi ja näin ollen pinnoite ei tartu siihen yhtä hyvin. [9]

Näytteet 7 ja 8 oli ajettu H2-linjalla. Näitä näytteitä on vaikea verrata H1-linjalla ajettuihin näytteisiin, sillä sinkinruiskutusparametrit eroavat linjojen välillä niin paljon. Näytteiden 7 ja 8 ruiskutusparametrit ovat samanlaiset, mutta pinnoitteet eroavat toisistaan hyvin paljon. Tämä johtuu osittain siitä, että näytteiden laatu ja geometria poikkeavat aika paljon toisistaan. Näyte 7 on paljon lujempaa materiaalia kuin näyte 8 ja näyte 7 muokataan neliöprofiiliksi, kun taas näyte 8 ovaaliprofiiliksi. Näytteen 7 sinkkipinnoite on kaikista laadukkain, mutta todella ohut. [9]

5. TULOSTEN ANALYSOINTI

Luvussa 4.1 käsiteltiin TTY:n tekemää tutkimusta sinkityn putken hitsisauman pinnoitteen kehittämisestä. Tutkimus tehtiin vuonna 2006, jolloin putkilinjalla ei ollut vielä käytössä SmartArc – ruiskua. Tällöin suositeltiin ottamaan testiin SmartArc – ruiskut, ja nykyään ne ovat käytössä jokaisella putkilinjalla Hämeenlinnassa. SmartArc – ruiskun karkeampi pinnoite verrattuna aiempiin ruiskuihin ei haitannut, sillä pinnoite siliää kalibrointirullastossa. Luvussa 4.2 käsiteltiin Ruukin omatekemää tutkimusta sinkityslaitteen parametrien vaikutuksesta syntyvään pinnoitteeseen.

5.1 HITSAUSSAUMAN LÄMPÖTILAN VAIKUTUS

Laboratoriokokeissa havaittiin tärkeäksi tekijäksi putken lämpötila pinnoitustilanteessa. Hitsaussauman lämpötilaa ei tällä hetkellä mitata mitenkään putkilinjalla. Lämpötila vaihtelee erilaisten raaka-aineiden ja dimensioiden välillä todella paljon. Mitä paksumpaa raaka-aine on, sitä vähemmän se lämpenee hitsauksessa. Ohuempi materiaali taas jäähtyy nopeammin hitsauksen jälkeen. Myös putken halkaisija – seinämäpaksuus vaihtelu vaikuttaa lämpötilaan.

Laboratoriokokeissa havaittiin, että mitä lämpöisempi hitsaussauma on, sitä paremmin sinkkipinnoite siihen tarttuu. Ohuemmat raaka-aineet jäähtyivät nopeammin kuin paksummat. Kylmään raaka-aineeseen pinnoite ei tarttunut juuri ollenkaan.

Hämeenlinnan putkilinjalla kannattaisi kokeilla hitsaussauman lämpötilan mittausta. Jos hitsaussauma saataisiin optimaaliseen lämpötilaan, pinnoite tarttuisi siihen paremmin. Kokeilu kannattaisi tehdä putkilla, joiden hitsaussauma sinkitään. Näin saataisiin näytteitä, joiden hitsaussauman lämpötila tiedettäisiin ja voitaisiin tehdä samanlainen tutkimus ja todeta, onko lämpötilalla tosiaan suuri rooli pinnoituksessa. Myös ruiskutusparametreja voisi optimoida paremmin, kun tiedettäisiin lämpötilan vaikutus.

5.2 PARAMETRIEN VAIKUTUS

Oikeilla parametreilla on suuri vaikutus syntyvään pinnoitteeseen. Tärkeimmät huomioonotettavat parametrit olivat paineen arvot sekä ruiskun suunnan ja etäisyyden arvot. Jännitteen ja virran arvot on pidetty vakiona ja ne tuntuvat toimivan hyvin.

Sinkkiruiskun paineet vaikuttavat syntyvään pinnoitteeseen huomattavan paljon. Kaikki näytteet, joissa oli käytetty sekundääripainetta, olivat pinnoitteeltaan paljon parempia kuin näytteet, joissa tätä ei oltu käytetty. Sekundääripaineella pystytään muuttamaan

partikkelisuihkun muotoa putkituotantoon sopivammaksi, jolloin pinnoite tarttuu paremmin putkilinjalla. Tämä pitäisi vielä kokeellisesti varmistaa, onko asia todella näin, vai vääristikö laboratoriotestit tuloksia.

Ruiskun suunnan ja etäisyyden todettiin myös vaikuttavan syntyvän pinnoitteen laatuun, sillä etäisyyden ja suunnan muutokset vaikuttavat pinnoitteen paksuuteen sekä tasalaatuisuuteen. Ruiskua voidaan hienosäätää tarpeen mukaan ajon aikana, jos huomataan pinnoitteen olevan huono. Laboratoriokokeissa havaittiin, että 20 mm ruiskutusetäisyydellä valmistettu pinnoite oli paljon reikäisempää kuin 30 mm etäisyydellä. Tällä hetkellä SSAB:n työohjeella ruiskutusetäisyydeksi on laitettu noin 20 mm, joten sitä olisi ehkä syytä kasvattaa ja kokeilla, tuottaisiko esimerkiksi 30 mm etäisyys paremman pinnoitteen. Tämä vaatisi tarkemmat laboratoriotutkimukset, jotta muutos voitaisiin havaita.

Putkilinjalla tulisi myös miettiä, pitäisikö parametreja olla useammat kuin yhdet, sillä nykyisillä parametreilla saadaan valmistettua vain yhtä pinnoitepaksuutta. Tämä huomattiin siinä, että yksi luvussa 4.2 tutkituista näytteistä olisi tarvinnut paksumman pinnoitekerroksen, mutta näyte oli valmistettu samoilla parametreilla kuin kaikki muutkin. Paksumpi kerros on mahdoton saada, jos parametreja ei muuteta.

5.3 PUTKEN PINNAN PUHTAUS

Putken pintaa ei puhdisteta ennen pinnoitusta. Höyläämällä poistetaan ulkopuolinen hitsauspurse sekä sulanut sinkki sauman vierestä. Höyläyksen pitää tapahtua tarpeeksi suurelta alueelta, jotta kaikki sulanut sinkki saadaan poistettua sauman ympäriltä. Suuremmalla höyläyksellä saadaan suurennettua pinnoitteen tartuntapinta-alaa.

Pölyn tai muun lian poistoa ei tapahdu. Tämä olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi paineilman avulla hitsauksen ja höyläyksen jälkeen ennen pinnoitusta. Paineilmapuhdistus vaatisi kokeilun, olisiko siitä edes hyötyä vai ennemminkin haittaa, sillä paineilma saattaa jäähdyttää hitsaussaumaa liikaa, jolloin pinnoite ei enää tartu siihen yhtä hyvin. Lämpötila on kuitenkin yksi tärkeimmistä parametreista pinnoitteen onnistumisen kannalta.

6. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä oli tarkoitus tutkia putkilinjalla käytettävän sinkityslaitteen parametrien vaikutusta syntyvään sinkkipinnoitteeseen. Parametreja tutkittiin kahden aiemman tutkimuksen pohjalta ja tehtiin johtopäätökset niissä havaituista tuloksista. Toinen tutkimuksista antoi vastauksia pinnoitteen kehittämiseen ja toinen tuloksia sinkityslaitteen parametrien vaikutuksesta syntyvään pinnoitteeseen.

Tuloksista huomataan, että yksi tärkeä asia on unohtunut sinkkipinnoitteen parametrien optimoinnissa, lämpötila. Hitsaussauman lämpötilalla on suuri vaikutus syntyvän pinnoitteen kiinnipysyvyyteen. Myös muilla parametreilla (ruiskutusetäisyys, ruiskutuksen suunta, secondary pressure) on vaikutusta syntyvään pinnoitteeseen. Putken pinnan puhdistus voisi myös auttaa pinnoitteen tarttumisessa.

Kaikki tässä työssä havaitut puutteet parametreissa vaatisivat putkilinjalla koeajon sekä tarkemmat tutkimukset, ennen kuin niitä voitaisiin hyväksyä käyttöön. Kaikki tieto tässä työssä perustuu kahden tutkimuksen sekä omien päätelmien varaan.

LÄHTEET

[1] SSAB Hämeenlinna, SSAB Esittelykalvot HÄP 2019, 2019

[2] SSAB Hämeenlinna, SSAB Esittelykalvot HÄP 2016, 2016

[3] J. Tulonen & SSAB, Precision Steel Tube Handbook 3rd Edition, 2019. Saatavissa: https://www.ssab.fi/tuotteet/terasluokat/ohutseinaputket?di=discover8F6450BF69A1415BB19594D30009AEDE

[4] SSAB, Ohutseinäputket, 2020. Saatavissa: https://www.ssab.fi/tuotteet/terasluokat/ohutseinaputket

[5] Tunturi, P., Tunturi, P., Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt, 3.painos, Helsinki, Metalliteollisuuden kustannus, 1999.

[6] SSAB Hämeenlinna, Sinkityn ohutseinäputken valmistus, Työohje, 15. versio, 2020.

[7] Vuoristo, P., Lagerbom, J., Kylmälahti, M., Sinkityn putken hitsisauman kaariruiskutetun pinnoitteen kehittäminen, Loppuraportti, Tampere 2006.

[8] Törmälä, E., Termisen ruiskupinnoituksen perusteet kaikille menetelmille, Luentokalvot, 2007.

[9] Lahtinen, J., Sinkinruiskutusparametrien vaikutus ohutseinäputken hitsisauman sinkkipinnoitteeseen, 2012.