

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Risto Reino Juhani Mattila

METALLIN

ESIKÄSITTELYMENETELMIEN
KORROOSIONKESTÄVYYSTUTKIMUS

Tekniikka ja liikenne

2009

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Risto Reino Juhani Mattila
Opinnäytetyön nimi	Metallin esikäsittelymenetelmien korroosionkestävyystutkimus
Vuosi	2009
Kieli	suomi
Sivumäärä	35 + 4 liitettä
Ohjaaja	Matti Makkonen

Tämä opinnäytetyö on tehty Maaseudun Kone Oy:lle. Työn aiheena oli erilaisten esikäsittelymenetelmien korroosionkestävyystutkimus. Tavoitteena oli löytää nykyisin käytössä olevalle Gardobond 26 esikäsittelymenetelmälle korroosiosuojaltaan AGCO Corporationin standardin täyttävä menetelmä, joka tuottaa nykyistä vähemmän sakkaa esikäsittelylinjaan.

Työssä kartoitettiin eri toimittajien tarjoamia vaihtoehtoja ja päädyttiin lopulta tutkimaan neljää eri esikäsittelyvariaatiota yhteistyössä Chemetall Finland Oy:n kanssa.

Työssä vertailtiin Gardobond 26 esikäsittelyä ja kolmea eri Oxsilan tuoperheen variaatiota. Testilevyt maalattiin Maaseudun Koneen maalaamossa ja lähetettiin saksalaiseen laboratorioon suolasumutestiin. Toimittaja ei etukäteen tiennyt mikä testilevy oli käsitelty milläkin esikäsittelyllä.

Tiedot opinnäytetyöhön on hankittu työntutkimusalaan käsittelevästä kirjallisuudesta ja alan asiantuntijoiden haastatteluista. Tutkimustyön perusteella voidaan todeta Oxsilan 98xx-sarjan esikäsittelyjen menestyneen testissä parhaiten, joten näitä menetelmiä voidaan suositella esikäsittelyvaihtoehdoksi Maaseudun Koneen maalaamoon.

Asiasanat esikäsittelymenetelmä, korroosionesto, suolasumutesti

VAASA POLYTECHNIC

Degree Programme: Mechanical Engineering

ABSTRACT

Author	Risto Mattila
Topic	Research on Preprocessing of Metals
Year	2009
Language	Finnish
Pages	35 + 4 appendices
Name of Supervisor	Matti Makkonen

This thesis was commissioned by Maaseudun Kone Oy. The topic examined in this thesis is research work related different preprocessing corrosion tolerances. The purpose was to find a better corrosion protection method, to replace the currently used Gardobond 26 method, which would comply with AGCO Corporations standard and produce less sediment in the preprocessing line.

A survey was made related to the different preprocessing choices provided by various suppliers. Based on the survey, a decision was made to inspect four different preprocess variations with Chemetall Finland Oy. A comparison was made between the Gardobond 26 and three different variations of Oxsilan product family. All test panels were painted in powder paint shop in the Maaseudun Kone Oy. After the panels had been painted, they were sent to salt spray test laboratory in the Denmark. The supplier did not know in advance which test panel had been preprocessed with Oxsilan or Gardobond 26.

Data for this thesis was obtained partly from scientific literature dealing with work study methods and partly from interviews with method development experts. Based on the research in this thesis, it turned out that Oxsilan 98xx-series succeeded best in the test. Consequently these processes can be recommended for Maaseudun Kone Oy.

Keywords Preprocessing Method, Corrosion Protection, Salt Spray Test

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
1 JOHDANTO	6
1.1 Maaseudun Kone Oy	6
1.2 Tavoitteet ja rajausta	7
2 MAALAAMO	8
2.1 Tuotanto	8
2.2 Tuotteet	8
2.3 Maalausprosessi	8
2.4 Esikäsittely	9
3 TYÖN TUTKIMUSMENETELMISTÄ	12
3.1 Polarisaatio ja lepopotentiaalimittaukset	12
3.2 Suolasumukoe	12
3.3 Hilaristikkokoe	13
3.4 Uputustesti	15
4 KORROOSIO	16
4.1 Yleistä korroosiosta	16
4.2 Kemiallinen korrosio	16
4.3 Sähkökemiallinen korrosio	16
4.4 Korkean lämpötilan korrosio	17
4.5 Erityiskorroosiot	17
4.6 Yleistä korroosiotutkimuksista	17
4.7 Korroosionesto	19
5 PINTAKÄSITTELYMENETELMÄT	20
5.1 Yleistä esikäsittelymenetelmistä	20
5.2 Korroosiokestävyyden hallinta	20
5.3 Pinnoitteiden ominaisuudet ja käyttö	21
5.4 Pinnoitteiden rajoitukset	22
6 ESIKÄSITTELYMENETELMIEN TUTKIMUS	23
6.1 Esikäsittely vaihtoehdot	23
6.2 Esikäsittelymenetelmien tutkimus	23

6.3 Tutkimusten aikataulu	23
6.4 Tutkimusten toteutus käytännössä	23
6.5 Suolasumutestien tulokset	27
6.6 Suolasumutestien analysointi ja johtopäätökset	28
7 ESIKÄSITTELYPROSESSIN PARANNUSEHDOTUKSET	30
7.1 Virhetarkastelu ja riskianalyysi	31
7.2 Parannusehdotukset	31
7.3 Jatkoimenpiteet	31
8 YHTEENVETO	32
LÄHDELUETTELO	33
LIITELUETTELO	34

1 JOHDANTO

1.1 Maaseudun Kone Oy

Maaseudun Kone Oy on Ville Isosaaren 1950-luvulla perustama yksityinen perheyhtiö, joka on erikoistunut traktoreiden turvaohjaamoiden valmistamiseen. Maaseudun Kone Oy kuuluu MSK group konserniin. Konserniin kuuluvat lisäksi Junkkari Oy, Junkkari Muovi Oy, Juncar Oy sekä Junkkari Polska Sp.zo.o.

Konsernin liikevaihto vuonna 2008 oli n.118,5 miljoonaa euroa , josta Maaseudun Koneen osuus on n. 74,2 miljoonaa euroa. Konsernin palveluksessa oli tilikauden 2008 aikana 594 henkilöä.

Pitkälle erikoistuneena Valtra traktoreiden turvaohjaamoiden ja Ponsse ohjaamorunkojen valmistajana Maaseudun Kone on kehittänyt tuotantonsa joustavaksi ja nopeaksi. Jokainen tehtaalla syntyvä turvaohjaamo on yksilö, joka täyttää asiakkaan varustelutoivomukset ja maakohtaiset määräykset. Joustava räätälöinti ja valmistuksen nopeat läpimenoajat perustuvat kehittyneeseen tuote- ja tuotannonsuunnitteluun.

Vuosien varrella traktorin turvakehikosta on kehittynyt monipuolisesti varusteltu turvaohjaamo, joka pölytiivinä, äänieristettynä, ilmastoituna ja ergonomisin lähtökohdin suunniteltuna, tarjoaa kuljettajalle miellyttävän käyttöympäristön. Yhtiön nykyaikainen ohjaamotehdas sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla Ylihärmässä.

1.2 Tavoitteet ja työn rajaus

Työssä tutkittiin eri esikäsitelymenetelmien korroosionesto-ominaisuuksia ja adheesiota. Tavoitteena oli löytää Maaseudun Koneen maalaamon nykyisin käytössä olevalle Gardobond 26 sinkkifosfatoinnille vaihtoehtoinen esikäsitely, joka täyttää korroosionesto-ominaisuuksiltaan AGCO:n vaatimukset ja tuottaa sakkaa vähemmän. Nykyinen menetelmä tuottaa sakkaa 12g/m², joka aiheuttaa esikäsitelylinjan putkien ja suuttimien tukkeutumista. Tämä vaatii pesulinjan fosfatointiputkien ja suuttimien säännöllistä puhdistusta ja uusimista, joka on aikaa vievää ja lisää huoltokustannuksia. Tavoitteena oli vertailla suolasumutestin

avulla eri esikäsittelymenetelmien korroosionesto-ominaisuuksia nykyisin käytössä olevaan menetelmään.

Tämä työ on rajattu niin, että siinä tutkitaan ainoastaan muutamaa esikäsittelyvariaatiota ja vertaillaan näiden vaikutusta pulverimaalatun metallipinnan korroosiokestävyyteen ja laatuun.

2 MAALAAMO

2.1 Tuotanto

Maaseudun Koneen tuotanto perustuu yksilöllisten ohjaamoiden valmistamiseen sarjassa. Tämä tarkoittaa käytännössä samaan runkoon perustuvaa ohjaamoa, joka varustellaan asiakkaan toiveiden mukaiseksi. Tehtaan tuotannonohjaus perustuu laajaan tietokonejärjestelmään, joka ohjaa kaikkia osa-alueita tuotannossa. Tuotannon tehokkuutta seurataan jatkuvasti useilla mittareilla ja tuloksista tiedotetaan säännöllisesti henkilöstölle.

Yrityksen valmistamien ohjaamoiden työkierto voidaan karkeasti kuvata seuraavasti. Ohjaamon rungon osat valmistetaan levyosastolla ja hitsaamossa sekä ostetaan alihankintana. Rungon osat hitsataan hitsaamossa roboteilla ja käsin ohjaamon rungoiksi, josta ne siirtyvät hiomon kautta maalauslinjalle. Maalaamossa ohjaamon runko kulkee linjan eri vaiheiden läpi ja päättyy lopuksi maalattuna kokoonpanoon kasattavaksi.

Maalaamo koostuu kahdesta kokonaisuudesta, ns. isosta ja pienestä linjasta. Isossa linjassa maalataan ohjaamoiden rungot ja muut isommat osat. Pieni maalauslinja on pienempien ohjaamon osien kuten ovien, kattoluukkujen, valojen pidikkeiden ja muiden pienosien maalaamista varten.

2.2 Tuotteet

Maalaamon tuotanto mahdollistaa traktorien- ja metsäkoneiden ohjaamon runkojen pintakäsittelyn aina esikäsittelystä valmiiseen maalipintaan. Maalaamossa maalataan myös ohjaamojen muut pintakäsittelyä vaativat osat pienemmällä linjalla. Maalaamon kapasiteetti mahdollistaa kaikenkokoisten metalliosien maalauksen.

2.3 Maalausprosessi

Maalaamon molempien linjojen periaate on sama. Maalaamon katossa on kuljetin, joka kiertää eri toimipisteiden kautta jatkuvatoimisesti. Kappaleiden käsittely

toimii seuraavasti: Kappaleet ripustetaan ensin kuljettimeen, ensimmäisessä vaiheessa ne siirtyvät esikäsittelylinjaan, jossa kappaleet pestään, fosfatoidaan ja loppuhuuhdellaan. Toinen vaihe on kappaleiden kuivaaminen kuivausuunissa. Kuivaamisen jälkeen rata kuljettaa kappaleet maalausroboteille isolla radalla ja maalausautomaatille pienellä radalla. Pulverimaalauksen jälkeen kappaleet menevät kuljetinrataa pitkin polttouuniin, jossa jauhemaali palaa sulaen kiinni kappaleeseen. Kun kappale tai ohjaamo tulee polttouunista se tarkastetaan, jonka jälkeen ohjaamon runko tai osa kuljetetaan kokoonpanoon.

2.4 Esikäsittely

Esikäsittely on tärkeä, kun pyritään saavuttamaan paras mahdollinen tarttuvuus ja kestävyys. Maalaukseen menevien kappaleiden esikäsittely tapahtuu automaattisesti esikäsittelylinjan avulla (Kuva 1). Fosfatoi on metallipinnan kemiallinen käsittely. Siinä metallipinnalle tehdään ohut kiteinen metallifosfaattipinnoite, joka muodostaa kerroksen veteen liukenemattomia fosfaattikiteitä. Fosfatoi kiteiden tarkoituksena on luoda hyvä tartuntapinta maalille sekä parantaa metallin korroosiokestävyyttä. /5/



Kuva 1. Pulverimaalaamon esikäsittelylinja

Fosfatoiointi koostuu seitsemästä vaiheesta (Taulukko 1). Ensimmäisessä ja toisessa rasvanpoistovaiheessa poistetaan metallin pinnalla oleva rasva. Rasvanpoiston jälkeen kappaleesta huuhdellaan siihen jääneet kemikaalit ja se aktivoidaan fosfatoiointia varten. Fosfatoiinnissa kappaleet käsitellään neljällä eri fosfatoiointiaineella, jonka jälkeen kappaleet huuhdellaan kahteen kertaan.

Taulukko 1. Esikäsittelylinjan vaiheet

Vaiheet	Tehtävä	Käsittelyaine	Käyttölämpötila	Käsittelyaika
Vaihe1	Rasvanpoisto1	Gardoclean 294/6	50-60°C.	3min
Vaihe2	Rasvanpoisto2	Gardoclean 294/4	50-60°C.	3min
Vaihe3	Huuhtelu	Käyttövesi	25-35°C.	3min
Vaihe4	Aktivointi	Gardoclean V6513	25-35°C.	3min
Vaihe5	Fosfatoiointi	Bonder 2640 SA	55°C.	3min
	Fosfatoiointi	Bonder SE/1	55°C.	
	Fosfatoiointi	Bonder Z-luos	55°C.	
	Fosfatoiointi	Additive 7107	55°C.	
Vaihe6	Huuhtelu	Käyttövesi	25-35°C.	3min
Vaihe7	Huuhtelu	Käyttövesi	20°C.	3min

Esikäsittelylinjan nesteet ja niiden rasvapitoisuus sekä kemikaalien pitoisuus tarkastetaan päivittäin. Ennen työskentelyn aloittamista roskasuodattimen puhtaus ja pesunesteen rasvapitoisuus tarkastetaan ja rasva poistetaan tarpeen vaatiessa. Rasvanpoltoaltaasta rasva poistetaan automaattisesti yöllä, jolloin linja on seisahduksissa. Tarkastukset ja mittaukset tehdään niille tarkoitetuilla välineillä ja aineilla. Päivittäisessä tarkastelussa kemikaalien arvot kirjataan ylös. (Liite 3)

3 TYÖN TUTKIMUSMENETELMISTÄ

Korroosionkestävyyden tutkimuksissa on käytettävissä erilaisia tutkimusmenetelmiä, joilla jokaisella on omat erityisominaisuutensa. Parhaan mittausten menetelmän valintaa varten voidaan antaa joitakin menettelytapaohjeita. Todella pätevä valinta voi olla kuitenkin vasta sitten, kun valintaa suorittava henkilö tuntee työn mittausten menetelmät ja niiden ominaisuudet riittävän hyvin.

3.1 Polarisaatio- ja lepopotentiaalimittaukset

Polarisaatio- ja lepopotentiaalimittaukset ovat sähkökemiallisia mittauksia, jotka soveltuvat sähkökemiallisten ilmiöiden kuten sähkökemiallisen korroosion, tarkasteluun. Polarisaatiomittauksia käytetään tyypillisesti materiaalin yleisen korroosiokäyttäytymisen tutkimiseen tarkastellussa liuoksessa. Polarisaatiomittauksissa näytettä poikkeutetaan sähkövirran avulla tasapainoilastaan ja poikkeutuksen aikaansaama vaste kertoo näytteen käyttäytymisestä tutkittavassa ympäristössä. Mittausten avulla saadaan tietoa esimerkiksi tutkittavan materiaalin korroosionopeudesta tarkasteltavassa liuoksessa, reaktiomekanismista, passivoitumistaipumuksesta, paikallisista korroosionmuodoista kuten pistekorroosiosta ja pinnoitteiden ominaisuuksista.

Lisäksi menetelmä soveltuu eri materiaalien vertailuun tietyssä ympäristössä tai eri korroosioympäristöjen vertailuun (esimerkiksi liuosten inhibointi). Lepopotentiaalimittauksin voidaan seurata näytteen tasapainopotentiaalia pitkiäkin aikoja. Lepopotentiaalimittausten avulla saadaan tietoa näytteen pinnan stabiilisuudesta tarkastellussa elektrolyytissä. Siten esimerkiksi pinnoitteen tiiveyttä, oksidikerroksen muodostumista metallipinnalle ja pistekorroosion alkamista voidaan seurata lepopotentiaalimittauksin. /6/

3.2 Suolasumukoe

Suolasumukokeet ovat nopeutettuja altistuskokeita. Suolasumukokeilla saadaan tietoa materiaalien käyttäytymisestä kemikaalialtistuksessa, esimerkiksi suolapitoisissa ympäristöissä. Suolasumukokeissa käytetään kosteutta ja korotettua lämpötilaa nopeuttamaan tutkittavia reaktioita. Suolasumualtistus

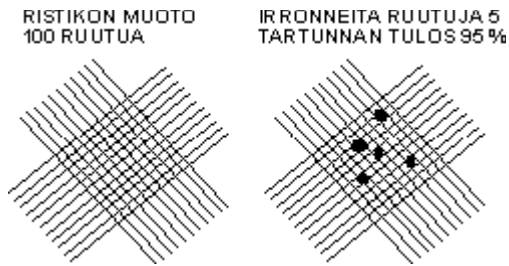
soveltuu lähinnä materiaalien yleisen käyttäytymisen tutkimiseen tietyssä ympäristössä tai eri materiaalien keskinäiseen vertailuun. (Kuva 2) /6/



Kuva 2. Suolasumukaappi

3.3 Hilaristikkokoe

Hilaristikkokokeessa maalipinnan läpi viilletään 10×10 kappaleen ruudukko (Kuva 3) erillisellä terällä (Kuva 4), jonka jälkeen pintaa harjataan kevyesti. Jos maalin tartuntapinta on heikko, irtoavat ruudut pinnasta. Tulos ilmoitetaan prosenttilukuna, laskien niiden ruutujen määrä, jotka ovat jääneet pintaan kokonaan kiinni. Esim. jos ruutuja on irronnut kokonaan ja osittain 14 kpl, on tartunnan arvo 86 %:ia



Kuva 3. Hilaristikko

Ristikon tekeminen

Jotta terät menisivät koko alalta maalipinnan läpi, on sitä painettava hyvin voimakkaasti pintaa vasten. Toisella vedolla on katsottava, että ruudukosta tulee suorakulmainen. Kun ristikko on tehty on tarkastettava, että viillot ovat kauttaaltaan menneet maalipinnan läpi. Jos näin ei ole, on ristikko tehtävä uudestaan. Paksujen ja kovien maalikerrosten läpi voi olla hyvin vaikea tehdä kunnollista ristikkoa.



Kuva 4. Ristikkoleikkuri

Tuloksen tarkastaminen

Ristikkoa harjataan kevyesti laitepakkauksessa olevalla harjalla, jonka jälkeen lasketaan kokonaan ja osittain irronneiden ruutujen määrä. Mittaustulos on 100 % - laskettujen ruutujen määrä. Hilaristikkokokeella saatava tulos on hyvä, jos tartunnan tulos on yli 95 %:ia. Ennen suolasumutestiä tehty hilaristikko peitetään testin ajaksi teipillä, jotta se ei häiritse suolasumutestiä. Hilaristikkokoetta tarkempi menetelmä on vetokoe.

3.4 Upotustesti

Upotustestiä käytetään metallin tai metallipinnoitteiden korroosionkestävyyden testaamiseen. Upotustestissä testataan näytteen korroosionkestävyyttä pitkäaikaisessa merivesialtistuksessa. Testattavat kappaleet upotetaan suolaliuokseen testiajaksi. Näytteiden korroosionkestävyyttä arvioidaan visuaalisesti tai painohäviömittauksin.

4 KORROOSIO

4.1 Yleistä korroosiosta

Korroosio on ympäristön vaikutuksesta tapahtuvaa materiaalin muuttumista käyttökelvottomaan muotoon. Vahingoittuva materiaali liukenee tai muuten reagoi ympäristön (ilma, neste, maa jne.) aineiden kanssa. Korroosion taustalla on kemiallinen tai sähkökemiallinen ilmiö, mutta ympäristö voi vaikuttaa myös mekaanisesti korroosioilmiön syntymiseen ja nopeuteen.

Yksinkertainen esimerkki korroosiosta on raudan hapettuminen rautaoksideiksi, eli raudan ruostuminen.

Korroosiossa voidaan erottaa kolme päätyyppiä: kemiallinen korroosio, sähkökemiallinen korroosio ja korkean lämpötilan korroosio. /4/

4.2 Kemiallinen korroosio

Kemiallisessa korroosiossa metallipinta reagoi suoraan ympäristönsä kanssa. Pinnalle ei tällöin muodostu korroosiotuotekerrosta eikä reaktioon liity sähkövarausten liikettä. Näin ollen kemiallinen korroosio tapahtuu materiaalin suorana liukenemisena syövyttävään ympäristöön (esim. vesiliuokset, hapot, sulat, metallit, polymeerien liuottimet jne.). Usein liukeneminen tapahtuu ns. valikoivana syöpymisenä, mistä esimerkkeinä on messinkien sinkinkato vedessä ja grafitoituminen valuraudassa. Kemiallista korroosiota voidaan vähentää alentamalla lämpötilaa, pinnoittamalla (estämällä liuottimen pääsy liukenevaan pintaan) ja käyttämällä stabiileja materiaaleja. /3/

4.3 Sähkökemiallinen korroosio

Sähkökemiallisella korroosioilla tarkoitetaan materiaalin liukenemista ympäristöön sähköisten ja kemiallisten ilmiöiden yhteisvaikutuksesta. Sähkökemialliseen korroosioon liittyy aina sähkövarausten (elektrodit ja ionit) siirtymistä rajapinnan läpi. Sähkökemialliseen korroosioon tarvitaan myös eri jalousasteiset metallit tai metallipinnan kohdat, sähköä johtava yhteys ko. metallien välille ja

elektrolyyttinen yhteys ko. metallien tai kohtien välillä. Näiden ehtojen täytyessä on tuloksena korroosioparin muodostuminen, korroosiovirran synty ja epäjalomman materiaalin liukeneminen. /3/

4.4 Korkean lämpötilan korrosio

Korkean lämpötilan korrosio on pääasiassa metallin muuttumista erilaisiksi yhdisteiksi korkean lämpötilan kiihdyttämän reaktionopeuden ansiosta tai metallin liukenemista sen pinnalle muodostuviin osittain suliiin korroosiotuotteisiin. /4/

4.5 Erityiskorroosiot

Kemiallisen korroosion päätyypit ovat yleinen korrosio ja pistekorrosio. Sähkökemiallisen korroosion alalajien päätyypit ovat: tasainen syöpyminen, galvaaninen korrosio, paikallinen syöpyminen, eroosikorrosio ja korroosioväsyminen. /7/

4.6 Yleistä korroosiotutkimuksista

Korroosioilmiöiden ja korroosionestotekniikan edellytysten tutkimus on monivivahteinen ja laaja tutkimusalue. Poikkitieteellisenä ja teknisenä aiheena siihen sisältyy metallien (ja muiden materiaalien) korroosionkestävyyden tutkimusta ja uusien, kestävämpien rakenne- ja pinnoitemateriaalien kehittelyä, korroosionestomaalien, keraamisten ja metallisten pinnoitteiden ja niiden pinnoitustekniikan tutkimusta. Eri ympäristöjen korrosio-ominaisuuksien selvittäminen on tärkeä tutkimuksen näkökulma.

Tehokkaan korroosion torjunnan tärkeä edellytys on myös olemassa olevien korroosion mittaus- ja tutkimusmenetelmien tunteminen. Korroosion mittaus- ja tutkimusmenetelmillä voidaan suhteellisen pienin kustannuksin ja nopeasti selvittää rakenneaineiden ja suojapinnoitteiden korroosionkestävyys ja korroosion ilmenemismuodot halutuissa korrosioympäristöissä. Näiden tutkimustulosten pohjalta voidaan myös tehdä paitsi oikeita rakenneaineiden valintoja myös päätelmiä siitä, olisiko jokin sähkökemiallinen korroosionestomenetelmä edullisempi ratkaisu. Korroosion mittaus- ja tutkimusmenetelmiä voidaan käyttää

myös olemassa olevien rakenteiden korroosion mittauksiin ja tutkimuksiin sekä ko. korroosioympäristön syövyttävyyden jatkuvaan seurantaan ja valvontaan. Korroosion mittaus- ja tutkimusmenetelmien valinnassa on tärkeää tuntea niiden luotettavuus. Useat halvat ja nopeat korroosion tutkimusmenetelmät ovat epäluotettavia. Laboratoriossa suoritettavat korroosiokokeet ovat yleensä edullisia, koska niissä kaikki korroosioon vaikuttavat tekijät voidaan hallita ja mitata. Laboratorio-olosuhteissa ei voida selvittää kaikkia todellisen prosessin epäpuhtauksien ja syntytilassa olevien yhdisteiden, virtausolosuhteiden ja seinämäympäristöjen korroosiovaikutuksia. Luotettavimmat korroosiotutkimustulokset saadaan vain todellisissa käyttöympäristöissä. /3/

4.7 Korroosionesto

Korroosioneston päätavoite on varmistaa rakenteen jatkuva toiminta. Kun korroosiota pyritään estämään tai hidastamaan, on käytössä eri mahdollisuuksia. Jos tilannetta tarkastellaan korroosiokennon avulla, mahdollisia vaihtoehtoja on neljä: anodisen tai katodisen elektrodireaktorin estäminen, elektrolyytin poistaminen, sähköisen yhteyden katkaisu ja kennon toiminnan muuttaminen kääntämällä anodilla tapahtuvien reaktioiden suunnat päinvastaisiksi.

Rakenteen korroosiokestävyyteen vaikuttaa materiaalin ja sen ympäristön välinen vuorovaikutus. Tämä vuorovaikutus tapahtuu lähes poikkeuksetta materiaalin uloimmalla pinnalla. Materiaalin tuhoutuminen alkaa niistä kohdin rakennetta, joissa sen pinnalla esiintyy poikkeavia kohtia. Korroosionestomenetelmiä valittaessa on tunnettava olosuhteet, joihin suojattava kohde joutuu lopullisessa käyttötarkoituksessaan. Eri korroosionestomenetelmät eivät ole toisiaan pois sulkevia vaan paras lopputulos saadaan usein yhdistämällä eri menetelmiä.

Korroosionesto alkaa suunnitteluvaiheessa. Suunnittelun tarkoituksena on varmistaa rakenteen käyttöikä yliarvioimatta materiaalivahvuuksia. Suunnittelussa painotetaan eri kohtia riippuen siitä, minkälainen rakenne on kyseessä. Suunnittelun merkitystä ei kannata aliarvioida, sillä pienillä muutoksilla voidaan saada paljon aikaan. Korroosioneston kannalta hyvän rakenteen peruseriaatteet ovat yksinkertaisia, mutta usein hankalia toteuttaa.

Varsinaiset korroosionestomenetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään: itse metalliin vaikuttaviin ja metallin ympäristöön vaikuttaviin. /1/

5 PINTAKÄSITTELYMENETELMÄT

5.1 Yleistä esikäsitteilymenetelmistä

Yleisin pinnoitettava materiaali on seostamaton teräs. Pintakäsittelyn edellytyksenä on huolella suoritettu esikäsitteily. Esikäsitteilyllä tarkoitetaan kaikkea pinnan puhdistusta ja väliaikaista suojausta ennen varsinaista pinnoitusta.

Esikäsitteily ennen metallipinnoitusta voi olla kemiallinen tai mekaaninen. Kemiallisia ovat rasvanpoisto, peittäus ja kiillotus (kylvyssä). Mekaanisia menetelmiä ovat suihkupuhdistus, hionta (kiillotus), rummutus ja harjaus. Mahdollisuudet suorittaa tehokas esikäsitteily vaihtelevat suuresti kappaleen geometrisen muodon, pinnan laadun, materiaalin ja toleranssivaatimusten mukaisesti. /5/

5.2 Korroosionkestävyyden hallinta

Korroosionkestävyys tarkoittaa sitä, että metalli säilyttää toimintakykynsä tietyssä rakenteen ja ympäristön muodostamassa korroosiojärjestelmässä. Toimintakyky taas tarkoittaa kykyä suorittaa määritetyt tehtävät korroosion aiheuttamasta heikentymisestä huolimatta. Korroosionkestävyydelle ei siis voi antaa lukuarvoa, korroosionopeudelle joissakin tapauksissa voi. Korroosionopeus riippuu materiaalista, ympäristöstä ja korroosionmuodosta, korroosionkestävyys riippuu korroosionopeudesta ja käyttökohteesta. Käytännön tasolla korroosion hallitsemiseksi on olemassa kuusi yleistä tapaa toimia: huolellinen suunnittelu, materiaalin valinta, pinnoitteiden käyttö, liuosympäristön muuttaminen korroosioinhibiittien avulla, sähköinen suojaus tai ei tehdä mitään. Viimeisenkin vaihtoehdon käyttäminen voi olla taloudellinen ja järkevä vaihtoehto jos rakenteen suunnittelijat, käyttäjät ja huollosta vastaavat tietävät tarkkaan materiaalin tuhoutumisnopeuden ja kaikki siihen vaikuttavat seikat. Rakenteen mekaaniseen kestävyteen vaikuttaa koko konstruktion kestävyys, kun taas korroosionkestävyyteen vaikuttaa materiaalin ja sen ympäristön välinen vuorovaikutus. Tämä vuorovaikutus tapahtuu aina materiaalin uloimmalla pinnalla. Materiaalin tuhoutuminen alkaa lähes poikkeuksetta niistä kohdin

rakennetta, jossa sen pinnalla esiintyy poikkeavia kohtia. Pinnoitteet jaetaan tavallisesti metallisiin, orgaanisiin ja epäorgaanisiin pinnoitteisiin. Ne suojaavat metallia yhdellä tai useammalla seuraavista mekanismeista: erottamalla metallin ympäristöstä, uhrautumalla tai inhiboimalla. Kaikki pinnoitteet erottavat metallin ympäristöstään jossakin määrin. Pinnoitusmenetelmistä yleisin on maalaaminen. Maalin tehtävä on sekä suojata korroosiolta että antaa rakenteelle haluttu ulkonäkö. Maalityypin valintaan vaikuttavat suojattavan rakenteen tyyppi, ympäristörasituksen ankaruus, käytävissä olevat menetelmät sekä pinnan esikäsitely. Maaleilla on sekä fysikaalisia että kemiallisia suojavaikutuksia. Useimmat maalit erottavat metallin ympäristöstään, mutta ne läpäisevät silti vettä ja happea. /1/

5.3 Pinnoitteiden ominaisuudet ja käyttö

Pinnoitteet voivat olla perusmateriaaliin nähden jalompia tai epäjalompia. Täten niiden sähkökemiallinen jalousaste määrää pinnoitetun rakenteen käyttäytymisen korroosiorasituksissa. Rakenne käyttäytyy kuten pinnoitemetalli käyttäytyisi siihen asti, kunnes pinnoitteeseen tulee, joko jo valmistusvaiheessa tai käytön aikana, naarmuja tai huokosia, joissa perusmateriaali on esillä. Sinkki teräksen päällä on epäjalo pinnoite, joka käyttäytyy pinnoitteen vauriotilanteessa perusmateriaaliin nähden uhrautuvasti. Täten se syöpyy ja antaa paljastuneelle perusmateriaalille katodista suojaa niin kauan kuin pinnoitemetallia riittää korroosioelementin vaikutuspiirissä.

Pinnoitteiden käyttötarkoitus ohjaa pääsääntöisesti pinnoitteiden valintaa. Käyttötarkoitukset ryhmitellään viiteen pääryhmään: korroosionestoon, kulutukseen, liuku- ja kulutuspinnaksi, tartuntapohjaksi ja korjauksiin. Eri pinnoitteilla on erilaisia käyttöominaisuuksia ja omat käyttöalueensa. /5/

5.4 Pinnoitteiden rajoitukset

Pinnoitteiden ominaisuuksia ja käyttöä tarkasteltaessa on myös otettava huomioon niiden valmistukseen ja käyttöön liittyvät rajoitukset. Valmistusteknisiä rajoituksia asettavat erityisesti sellaiset pintakäsittelyt, joissa pinnoitettava kappale on upotettava liuoksiin. Toinen rajoittava tekijä on mm. pinnan laatu. Naarmu ja työstöjälkiä ei voida peittää sähköisesti pinnoitettaessa, vaan päinvastoin, pinnan epätasaisuudet saattavat korostua pintakäsittelyn jälkeen. Kolmas päätekijä on pinnoitteen huollettavuus ja korjattavuus. Viimeisenä tekijänä on otettava huomioon taloudellisuus ja saatavuus. /5/

6 ESIKÄSITTELYMENETELMIEN TUTKIMUS

6.1 Esikäsittelyvaihtoehdot

Esikäsittelyvaihtoehtoja löytyy monenlaisia eri kemikaalitoimittajilta. Mm. ACC 866, ACC 930, Tectalis 1200, Tectalis 1800, Bonderite NT-1, Pai-Kor A/402, Ecophor B/609, Tectalis additive 229, Toran 3, Oxsilan 9810/1, Oxsilan 9810/2, Oxsilan MM-0705 ja Gardobond R 26.

6.2 Esikäsittelymenetelmien tutkimus

Työssä kartoitettiin eri kemikaalitoimittajien tarjoamia vaihtoehtoja ja päädyttiin lopulta tutkimaan Oxsilan 9810/1, 9810/2 ja MM-0705 esikäsittelyjä, koska Maaseudun Kone ei ole näitä aiemmin tutkinut ja kyseiset menetelmät tuottavat sakkaa vain murto-osan nykyiseen menetelmään verrattuna. Nykyisin käytössä oleva esikäsittely maalaamossa on Gardobond 26, joka oli myös testissä mukana. Näiden neljän esikäsittelymenetelmän korroosionkestävyyttä ja adheesiota vertailtiin suolasumutestin avulla. Kaikki neljä kemikaalia ovat Chemetall Finland Oy:n edustamia, joten testit suoritettiin yhteistyössä kyseisen toimittajan kanssa.

6.3 Tutkimusten aikataulu

Tutkimuksissa testatut paneelit maalattiin 10.9.2009 Maaseudun Koneen maalaamossa. Paneelien suolasumukoe aloitettiin Chemetall konserniin kuuluvassa laboratoriossa Saksan Frankfurtissa 14.10.2009. Tulokset testistä saatiin 27.11.2009.

6.4 Tutkimusten toteutus käytännössä

Tutkimuksessa käytettiin esikäsittelyvariaationa seuraavia esikäsittelyjä:

Gardoclean S 5197 (alkalinen rasvanpoisto) + Oxsilan MM-0705 (4%); käsitelty Propinta Oy:llä Lahdessa; levyt 1, 2, 3, 6, 7.

Gardoclean S 5197 (alkalinen rasvanpoisto) + Oxsilan 9810/1; käsitelty CNC-Metal Oy:llä Outokummussa; levyt 4, 5, 8.

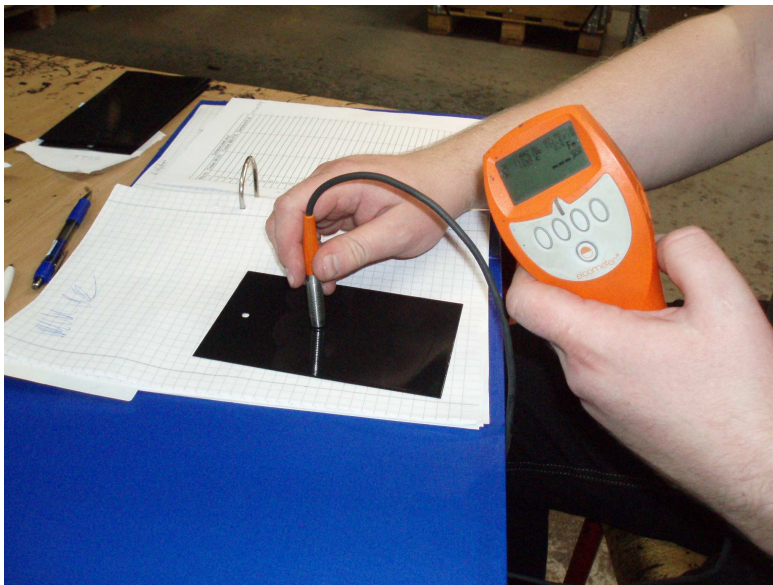
Gardoclean 338 (voimakkaasti alkalinen rasvanpoisto) + Oxsilan 9810/2; käsitelty Tammet Oy:llä Raaseporissa; levyt 9, 10, 11, 15, 16.

Gardoclean 296/4 (alkalinen rasvanpoisto) + Gardobond 26; käsitelty MSK:lla Ylihärmässä; levyt 12, 13, 14, 17, 18.

Tutkimus suoritettiin metallisten testipaneelien avulla, joita varattiin viisi kappaletta jokaista testattavaa esikäsittelymenetelmää kohden. Chemetall Finland Oy toimitti 20 kpl testipaneeleita, joista heidän alihankkijat olivat käsitelleet valmiiksi Oxsilan 9810/1, 9810/2 ja MM-0705 kemikaaleilla. Kaikki paneelit maalattiin Maaseudun Koneen maalaamossa Teknoksen pulverimaalilla. Gardobond 26-testilevyt ripustettiin ohjaamolinjan lastausasemalla rungon mukana maalauslinjalle, jolloin ne kulkivat pesulinjan ja sinkkifosfointiprosessin kautta rungon mukana käsin pulveroitavaksi (Kuva 5). Muut testilevyt ripusteltiin osalinjalla lokasuojan jatkeisiin ja maalattiin maalausautomaatilla.



Kuva 5. Testipaneeleita ripustettuna ohjaamon runkoon



Kuva 6. Maalikalvonpaksuuden mittaus

Kaikkien testipaneelien maalikalvonpaksuus mitattiin Elcometer 456-pinnoitteiden paksuusmittarilla ja tulokset kirjattiin ylös.

Paneelit numeroitiin satunnaisessa järjestyksessä, jolloin toimittaja ei tiennyt etukäteen millä esikäsittelyllä mikäkin levy oli käsitelty. (Kuva 7) Ennen suolasumutestiä paneeleihin tehtiin kaksi viiltoa ristiin, joista testin jälkeen mitattiin korroosion allevaellus. (Allevaellus kertoo korroosion etenemisen viillosta millimetreinä) (Kuva 8). Adheesiotesti tehtiin paneeleille ennen ja jälkeen suolasumutestin, ensimmäisen adheesiotestin hilaristikko peitettiin teipillä testin ajaksi, jotta se ei häirinnyt suolasumutestiä.



Kuva 7. Maalatut testilevyt numeroituna

Chemetall Finland Oy toimitti paneelit Saksaan laboratorioon suolasumutesteihin. Suolasumutesti on tehty standardin DIN EN-ISO-9227 mukaan ja testausaika valittu vastaamaan ACGO Corporationin vaatimuksia, eli 800 h. ACGO määrittää 800 h suolasumutestin jälkeen maksimiallevaellukseksi 3 mm. Kappaleet on arvioitu allevaellusstandardin DIN EN-ISO 4628 sekä adheesiostandardin DIN EN-ISO-2409 mukaan.

6.5 Suolasumutestien tulokset

Taulukko 2. Esikäsitelymenetelmien tulokset

Bez. der Teile/ Identification		384 h	792 h	Gt classification		Lackdicke/ Paint thickness [µm]
		U	U	begin	end	
1	OS MM-0705	1,80	6,5	0	0	78
2	OS MM-0705	2,3	5,5	0	0	86
3	OS MM-0705	<1	1	0	0	98
6	OS MM-0705	1,8	8,5	0	0	84
7	OS MM-0705	2,3	8,8	0	0	94
4	OS 9810/1	<1	2,5	0	0	88
5	OS 9810/1	<1	1,3	0	0	93
8	OS 9810/1	<1	1,8	0	0	97
9	OS 9810/2	3,8	10	1	1	67
10	OS 9810/2	4	10	0	2	66
11	OS 9810/2	<1	1,5	0	0	72
15	OS 9810/2	<1	1,8	0	0	86
16	OS 9810/2	<1	1,5	0	0	81
12	GB 26	3,8	7	1	1	98
13	GB 26	2,5	4,3	0	0	112
14	GB 26	2	2,3	0	0	104
17	GB 26	<1	3	0	0	74
18	GB 26	2,5	6,3	0	0	79

Taulukosta 2, joka on laadittu laboratorio tulosten (Liite 1) perusteella voidaan havaita, että testin perusteella esikäsitelyllä Oxsilan 9810/1 saavutetaan kaikilla testipaneeleilla ACGO:n standardin vaatima tulos. Koska Oxsilan 9810/2 esikäsitelyn levyt 9 ja 10 poikkeavat muista esikäsitelyn levyistä huomattavan paljon, on syytä epäillä että, pintaan on todennäköisesti tullut maalaus- tai kuljetusvaiheessa esim. sormenjälkiä, jotka aiheuttavat suuren allevaelluksen ja huonon adheesion. Myös maalikalvon paksuus on levyillä 9 ja 10 alle suosituksen.

Oxsilan MM-0705-levyissä hajonta oli aika suuri. Kuljetus esikäsitelyn ja maalauksen välillä saattaa vaikuttaa korroosiokäyttämiseen.

Adheesio oli pääsääntöisesti kunnossa kaikissa levyissä.

6.6 Suolasumutestien analysointi ja johtopäätökset



Kuva 8. Allevaelluksen mittaus

Yhteenvetona voidaan todeta, että korroosiotestin tulokset olivat poikkeuksetta huonommat kuin normaalisti ko. prosesseilla. Sinkkifosfatoinnilla (GB 26) käsitellyt levyt olivat reunoiltaan parhaan näköiset. Muiden testilevyjen kulmissa oli havaittavissa selvää reunakorroosiota. Reunojen maalipintojen lohkeilemisessa ei kuitenkaan esiintynyt suurta poikkeamaa eri esikäsitelymenetelmien välillä. Tästä poikkeuksena Oxsilan MM-0705-levyt, joiden maalipinta lohkeili reunoista selvästi muita herkemmin kevyesti taltan kärjellä rapsuttaessa, maalipinnassa oli havaittavissa myös selkeitä syöpymisen merkkejä.

Gardobond 26 paneelien heikompaan reunakorroosioon voi vaikuttaa näiden levyjen pulverointi käsin maalaamon ohjaamolinjalla. Muut levyt maalattiin osamaalauslinjalla maalausautomaatilla, jolloin on mahdollista, ettei näiden

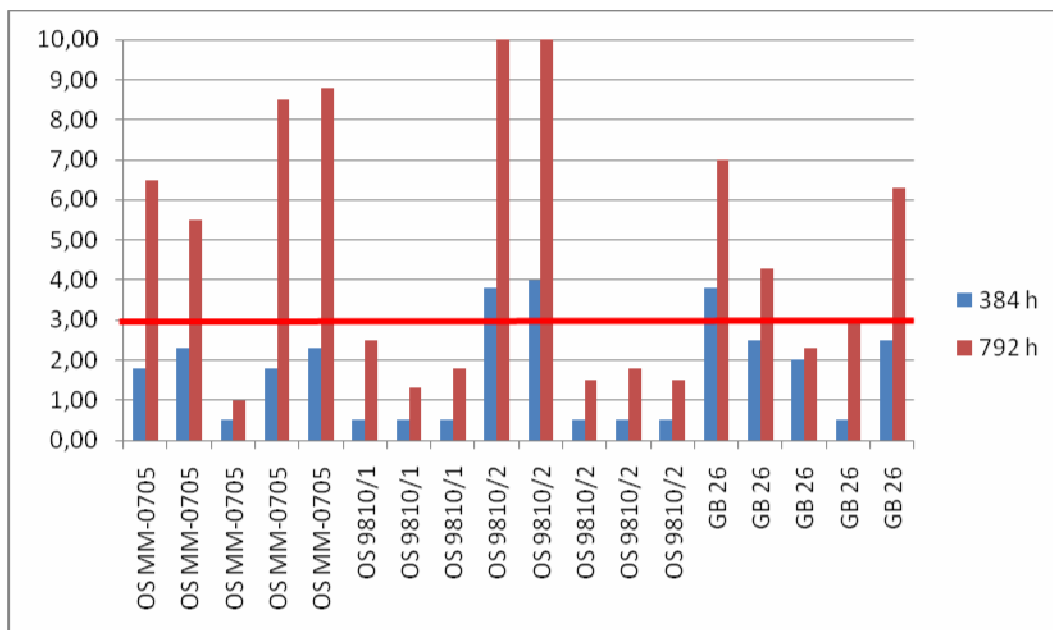
levyjen reunoissa ollut tarpeeksi maalia. Oxsilan-levyjen vahvempaan reunakorroosioon voi vaikuttaa myös menetelmän erilainen sähköjohtavuus tai levyjen kuljetuksesta aiheutuneet häiriötekijät, ennen maalausta. /2/



Kuva 9. Paneelit suolasumutestin jälkeen

7 ESIKÄSITTELYPROSESSIN PARANNUSEHDOTUKSET

7.1 Virhetarkastelu ja riskianalyysi



Taulukko 3. Esikäsitteilyjen korroosionkestävyys

Suolasumutestiä ei voida pitää riskittömänä tuloksien vaihtelevan hajonnan takia. Gardobond 26 esikäsitteilytulokset ovat huonoja, verrattuna aiemmin suoritettuun testiin (Liite 2) Normaali tulos tälle esikäsitteilylle on noin 1000 h suolasumussa ilman allevaellusta. Testilevyt kiinnitettiin esikäsitteilyä ajaksi pesulinjaan menneeseen ohjaamoon, joka osaltaan voi vaikuttaa esikäsitteilylaatuun, koska maalauksen jälkeen on mahdotonta sanoa kummalle puolelle levyä esikäsitteilysoihku on osunut paremmin. Testissä parhaiten menestyi Oxsilan 9810/1 kemikaalilla käsitellyt levyt, häiriötekijänä oli kaksi polttouuniin pudonnutta paneelia, jonka vuoksi testissä oli vain kolme levyä.

7.2 Parannusehdotukset

Oxasilan kemikaaleihin vaihdettaessa ei tarvitse muuttaa esikäsitteilyprosessia eikä maalausmenetelmiä. Pesulinjaan riittää pelkkä kemikaalien vaihto. Molemmissa esikäsitteilyprosesseissa pesuvaihe ja itse esikäsitteilyvaihe ovat erillisiä. Oxasilanin ja GB 26:n pesu on tässä tapauksessa ollut alkalinen ja sen muodostama sakka on luokkaa 0,1 g/m², tosin Maaseudun Koneella on tällä hetkellä käytössä sinkkifosfatointia aktivoiva pesu, Gardoclean 296/4, joka tuottaa sakkaa tavanomaista alkalipesua enemmän, johtuen sen aktivoivasta vaikutuksesta. Jos taas vertaa koko esikäsitteilyprosessia (mukaan lukien sinkkifosfatointivaihe/Oxasilan) saadaan sakan muodostumiseen oleellinen ero. Oxasilan tuottaa sakkaa materiaalista riippumatta noin 0,1 g/m² ja sinkkifosfatointi raudalla noin 4 - 8 g/m², sinkillä 1 -2 g/m², alumiinilla 8 - 12 g/m². Oxasilan 98xx on siis sinkkifosfatointiin verrattuna lähes sakan prosessi.

7.3 Jatkotoimenpiteet

Tutkimustyön perusteella voidaan todeta Oxasilan 9810/1 ja 9810/2 menestyneen testissä parhaiten. Oxasilan 98xx-sarjan kemikaaleja voidaan pitää vaihtoehtona nykyiselle menetelmälle, niiden vähäisen sakan tuoton ja hyvän korroosionkestävyyden perusteella. Koska testi ei kuitenkaan osoita aukottomasti Oxasilan 98xx-sarjan kykyä toimia Gardobondin korvikkeena, olisi suositeltavaa suorittaa jatkotutkimus näiden esikäsitteilyjen välillä. Uusi suolasumutesti, jossa tutkitaan Oxasilan 9810/1, 9810/2 ja Gardobond 26-menetelmiä, osoittaisi varmuudella Oxasilanin korroosionesto-ominaisuudet parhaana vaihtoehtona. Suuren hajonnan ehkäisemiseksi jokaista menetelmää kohden 10 kpl testilevyjä, jotka kaikki pulveroidaan samassa pisteessä. Huonosti testissä menestyneen Gardobondin testilevyjen käsittely, upottaen pesulinjan altaisiin, varmistaisi tämän menetelmän esikäsitteilyn laadun. Jatkotoimenpiteenä kannattaisi tutkia myös, yhteistyössä toimittajan kanssa näiden menetelmien tuottama sakan määrä käytännössä.

8 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin erilaisia metallipintojen esikäsitelymenetelmiä ja pyrittiin löytämään Maaseudun Koneen nykyiselle sinkkifosfatointi esikäsitelymenetelmälle parempi ja kustannustehokkaampi esikäsitely. Nykyinen menetelmä tuottaa sakkaa 12g/m^2 ja tavoitteena oli löytää menetelmä, joka ei tuota sakkaa niin paljon.

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen ja monipuolinen. Pääsin näkemään aitiopaikalta kuinka tutkimustyö käytännössä toteutetaan. Opin tutkimustyön suunnittelusta ja toteuttamisesta systemaattisen tavan edetä, jotta tavoitteet varmasti saavutetaan.

Työssä tutkittiin neljää eri esikäsitelymenetelmää. Testilevyjä ajettiin viisi kappaletta jokaista esikäsitelymenetelmää kohden ja nämä kaikki maalattiin Maaseudun Koneen maalaamossa pulverimaalilla. Maalattujen levyjen maalikalvon paksuus mitattiin ja ne numeroitiin satunnaisessa järjestyksessä jolloin toimittaja ei etukäteen tiennyt mikä levy oli milläkin menetelmällä käsitelty. Kun levyt oli numeroitu ja pakattu toimittaja lähetti levyt suolasumutestiin saksalaiseen laboratorioon.

Tutkimustyön tavoitteena oli löytää AGCO Corporationin vaatimukset täyttävä vaihtoehtoinen esikäsitelymenetelmä Gardobond 26 sinkkifosfatoinnille, joka tuottaa sakkaa vain murto-osan nykyisestä. ACGO määrittää 800 h suolasumutestin maksimiallellaellukseksi 3 mm. Testin perusteella Oxsilan 9810/1 menestyi parhaiten, sinkkifosfatointi sen sijaan huonosti aiempiin testeihin verrattuna. Häiriötekijöiden vuoksi suolasumutestiä ei kuitenkaan voida pitää riskittöminä, vaan olisi suositeltavaa suorittaa uusi testi.

Oxsilan 98xx on sinkkifosfatointiin nähden lähes sakaton prosessi, koska sen muodostama sakka on luokkaa $0,1\text{g/m}^2$, kun nykyisellä prosessilla se on 12g/m^2 .

LÄHDELUETTELO

- /1/ Aromaa, Jari. 2005. Korroosionestotekniikan perusteet. Espoo. Otamedia Osakeyhtiö
- /2/ Chemetall Finland Oy. 2009. Kemikaalitoimittaja.
- /3/ Tikkanen, M. H. 1960. Korroosio ja sen estäminen. Lahti. Kemian keskusliitto
- /4/ Tunturi, P. J.. 1988. Korroosio käsikirja. Suomen korroosioyhdistys SKY.
- /5/ Tunturi, P. J., Kaunisto Pirjo. 1983. Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt. Metalliteollisuuden Kustannus Osakeyhtiö.
- /6/ Tampereen teknillinen yliopisto 2005. [viitattu 14.12.2009]. Saatavilla myös www-muodossa: <[URL:http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_2_1_6.php](http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_2_1_6.php)>.
- /7/ Tampereen teknillinen yliopisto 2004. [viitattu 15.12.2009] Saatavilla www-muodossa: <[URL:http://www.tut.fi/units/mol/materiaalioppi/korroosio.htm](http://www.tut.fi/units/mol/materiaalioppi/korroosio.htm)>.

LIITELUETTELO

Liite 1. Chemetall Finland Oy. Oxsilan 9810/1, 9810/2, MM 0705 ja GB 26 suolasumutestin tulokset.

Liite 2. Chemetall Finland Oy. GB 26 suolasumutestin tulokset.

Liite 3. Maaseudun Kone Oy. Esikäsittelylinjan seurantalomake.

Liite 4. Taulukko, testilevyistä numeroituna.

LIITE 3

Maaseudun Kone Oy
Sinkkifosfatoitintiprosessin valvontapäytäkirja / Zinc Phosphate Process Control Sheet

Date Time / Pvm Aika	Controller / Tekijä	Degreasing 1 / Rasvanpoisto 1		Degreasing 2 / Rasvanpoisto 2		Activation / Aktivointi			Phosphation / Fosfatointi			
		Temperature [°C] [55 °C ± 5 °C]	Total Alkalinity Kokonaisalkaliteetti [4 - 6]	Temperature [°C] [55 °C ± 5 °C]	Total Alkalinity Kokonaisalkaliteetti [4 - 6]	Temperature [°C] [50 °C ± 5 °C]	pH 8.5 - 9.5	Conductivity [mS/cm] >2500 µS/cm	Temperature [°C] [50 - 55 °C]	Free Acid Vapaahappo [0.8 - 2.0]	Total Acid Kokonaishappo [18 - 24]	Gas point Kiihdytinpiste [1.0 - 3.0]
10.9.2009 7:47	vesap	50	4,80	50	5,3	8		53	0,6	20,8	1,1	
9.9.2009 7:22	vesap	50	5,10	50	5,1	8,4		52	0,6	21	1,1	
8.9.2009 7:37	vesap	50	5,40	51	5	8,3		49	0,6	21,4	1,1	
4.9.2009 8:30	vesap	51	5,00	51	4,4	8,3		49	0,6	21,7	1,1	1.tammi
2.9.2009 7:46	vesap	50	5,90	50	5	8		50	0,5	21,4	1,2	
1.9.2009 7:45	vesap	50	5,70	50	5,1	8,3		48	0,5	20,8	1,3	
31.8.2009 7:50	vesap	50	5,50	51	4,9	8		50	0,5	20,5	1,9	
28.8.2009 8:14	vesap	50	6,60	50	6	8		50	0,5	20,9	3,1	
27.8.2009 8:09	vesap	51	6,90	50	6,8	8,5		49	0,6	20,4	1	
25.8.2009 9:02	vesap	50	6,70	50	7,1	8,6		50	0,4	21,4	2	
24.8.2009 8:12	vesap	50	6,60	50	7	8,3		48	0,5	20,9	2,1	
21.8.2009 8:27	vesap	51	5,90	50	6,2	8,1		51	0,6	22,1	2,3	
20.8.2009 7:27	vesap	51	5,70	50	6	8,7		53	0,5	20,8	1,6	
19.8.2009 7:40	vesap	50	5,50	51	6,3	8,6		50	0,6	22	1,1	
18.8.2009 7:49	vesap	50	5,80	50	6,6	8,3		49	0,6	21,6	2,3	
17.8.2009 8:59	vesap	50	5,70	51	6,5	8,5		50	0,6	21,8	1,3	
14.8.2009 8:03	vesap	50	5,60	50	5,5	8,7		50	0,6	22	1,1	
13.8.2009 7:28	vesap	50	5,70	50	5,7	8,6		50	0,5	21,4	1	
12.8.2009 7:42	vesap	50	5,90	50	6	8,6		49	0,6	20	1,6	
11.8.2009 7:39	vesap	50	5,80	50	5,8	8		51	0,5	21,4	2	
10.8.2009 8:14	vesap	50	6,00	50	5,5	8,9		53	0,6	22	1	
7.8.2009 8:17	vesap	50	6,40	50	6,1	8,6		40	0,5	20,2	1,6	
6.8.2009 7:35	vesap	50	6,20	50	6,2	8		50	0,4	19	1,3	
5.8.2009 7:45	vesap	52	6,50	51	6,6	8,4		50	0,5	20	1,3	
4.8.2009 7:48	vesap	52	6,30	51	6,6	8,8		49	0,3	18,2	1,6	

LIITE 4

Suolasumutesti levyt				
levy nro.	Oxsilan 9810/2	Oxsilan MM-0705	Gardobond R 26	Oxsilan 9810/1
1		1		
2		2		
3		3		
4				4
5				5
6		6		
7		7		
8				8
9	9			
10	10			
11	11			
12			12	
13			13	
14			14	
15	15			
16	16			
17			17	
18			18	
19				
20				