

Laura Kosonen

Maalauseesikäsittelyliuosten vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinöörityö

17.4.2015

Tekijä(t) Otsikko	Laura Kosonen Maalauksesikäsittelyliuosten vertailu
Sivumäärä Aika	41 sivua + 8 liitettä 17.4.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Materiaali- ja korroosiotekniikka
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Kai Laitinen Myynti-insinööri Jani Tolvanen
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla erilaisten maalauksesikäsittelykemikaalien antamaa korroosiosuojaa ja maalin tartuntapohjaa erilaisilla metallipinnoilla. Vertailtavat esikäsittelymenetelmät olivat silaani- ja zirkoniuempohjaisia reaktiotuotepinnoitteita, joita oli neljä erilaista. Tutkittavia metallipintoja olivat alumiini, kylmävalssattu, ruostumaton sekä sinkitty teräs. Kaikki koekappaleet pinnoitettiin samalla jauhemaalilla.</p> <p>Maalikalvon kestävyyttä testattiin irtiveto- ja hilaristikkokokeella, sekä sen antamaa korroosiosuojaa neutraalilla suolasumutestillä. Jokaista materiaalia testattiin suolasumutestissä kahdessa eri korroosiorasitusluokassa (kahdella eri koestusajalla). Sinkittyä terästä ja alumiinia testattiin myös kolmannessa eri korroosiorasitusluokassa.</p> <p>Tutkimustulosten perusteella ei reaktiotuotepinnoitteista erottunut selvästi parasta, mutta pieniä eroja tuloksissa oli havaittavissa. Kaikki testatut reaktiotuotepinnoitteet soveltuvat erinomaisesti maalauksesikäsittelyksi alumiinille ja ruostumattomalle teräkselle. Myös kuumasinkitylle teräspinnalle kaikki pinnoitteet soveltuivat yhtä hyvin. Kylmävalssatulle teräkselle parhaimmaksi maalauksesikäsittelyksi osoittautuivat zirkoniuempohjaiset konversiopinnoitteet sekä toinen testatuista silaanipohjaisista konversiopinnoitteista.</p>	
Avainsanat	Maalauksesikäsittely, reaktiotuotepinnoite, korroosionkestävyys

Author(s) Title	Laura Kosonen Comparison of pre-treatment chemicals
Number of Pages Date	41 pages + 8 appendices 15 September 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Materials Technology and Surface Engineering
Specialisation option	Material Science and Corrosion Technology
Instructor(s)	Kai Laitinen, Principal Lecturer Jani Tolvanen, Sales Engineer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to collate the corrosion protection and paint adhesion provided by different pre-treatment chemicals when applied to different metal surfaces. These pre-treatments were silane- and zirconium-based reaction coatings, and there were four of them. Different metal surfaces were aluminium, cold rolled steel, stainless steel and hot galvanized steel. Every test piece was coated with the same powder paint.</p> <p>Durability of the coating was tested with the pull-off test, by the cross hatching method and with the neutral salt spray test. All the materials were tested in two different corrosion stress categories (two different testing times). Hot galvanized steel and aluminum were tested in a third category as well.</p> <p>On the basis of the test results, none of the reaction coatings stood out as the best, but small differences in the test results were observed. All the tested reaction coatings functioned perfectly as a pretreatment on aluminum and stainless steel. They also functioned equally well on hot galvanized steel. For the cold rolled steel, the best pretreatment chemicals turned out to be the zirconium-based reaction coatings and one of the silane-based reaction coatings.</p>	
Keywords	Pre-treatment, reaction coating, corrosion durability

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Metallit maalausalustana	2
2.1	Alumiini	2
2.2	Kylmävalssattu teräs	3
2.3	Kuumavalssattu teräs	4
2.4	Kuumasinkitty teräs	4
2.5	Ruostumaton teräs	5
3	Kemialliset maalausesikäsittelyt	6
3.1	Peittäus	6
3.2	Konversiokäsittelyt	6
3.2.1	Rautafosfatoi	6
3.2.2	Sinkkifosfatoi	7
3.2.3	Zirkonumpinnoite	7
3.2.4	Silaanipinnoite	8
3.2.5	Kromatoi	8
4	Jauhemaalau	9
5	Koekappaleet ja niiden käsittelyt	13
5.1	Koemateriaalit	13
5.2	Rasvanpoisto	13
5.3	Konversiokäsittelyt	13
5.3.1	Zirkonumpohjainen konversiopinnoite Zirca-Sil CA	13
5.3.2	Silaanipohjainen konversiopinnoite E-CLPS 1700CA	14
5.3.3	Silaanipohjainen konversiopinnoite E-CLPS 1980CA	15
5.3.4	Pesevä zirkonumpohjainen konversiopinnoite Candobond 551	16
5.4	Koekappaleiden maalaus	17
6	Testausmenetelmät	18
6.1	Adheesiokokeet	18
6.1.1	Hilaristikkokoe	19
6.1.2	Irtivetokoe	20
6.2	Suolasumukoe	23

7	Tutkimustulokset	26
7.1	Hilaristikkokoe	26
7.2	Irtivetokoe	28
7.3	Suolasumukoe	30
8	Tulosten tarkastelu	33
8.1	Hilaristikkokoe	33
8.2	Irtivetokoe	33
8.3	Suolasumukoe	34
9	Kylpyanalyysit ja niiden tulokset	35
9.1	Analyysimenetelmä	35
9.2	Standardisuorat	35
9.3	Jätteiden käsittely	37
10	Johtopäätökset	38
	Lähteet	40

Liitteet

Liite 1. Candoclene 915 tuotetiedot

Liite 2. Zirca-Sil CA tuotetiedot

Liite 3. E-CLPS 1700CA tuotetiedot

Liite 4. E-CLPS 1980CA tuotetiedot

Liite 5. Candobond 551 tuotetiedot

Liite 6. Jauhemaalain tuotetiedot

Liite 7. Suolasumukokeen tulokset taulukoituina

Liite 8. Kuvia koekappaleista

Lyhenteet

CRS Kylmävalssattu teräs

RST Ruostumaton teräs

Z275 Kuumasinkitty teräs

Al Alumiinilevy

1 Johdanto

Metallituotteet voidaan pintakäsitellä monella tavalla. Yksi näistä tavoista on niiden maalaus. Metallituotteiden maalaus on monivaiheinen prosessi, joka vaatii oikeanlaista suunnittelua. Ennen maalausta on tunnistettava käsiteltävä metalli ja sen pinnassa olevat epäpuhtaudet. Pinnan epäpuhtaudet heikentävät maalikalvon tarttumista ja siksi ne on poistettava ennen maalausta. Metallipinnan epäpuhtauksia voidaan poistaa mekaanisesti sekä kemiallisesti.

Kemiallisilla esikäsitelyillä parannetaan metallin korroosiosuojaa ja maalin tarttuvuutta sen pintaan. Esimerkkejä metallien maalausesikäsitelyistä ovat peittäus, erilaiset konversiokäsittelyt ja passivoinnit.

Konversiokäsittelyllä metallin pintaan tuotetaan kerros, joka estää ruostumista aiheuttavien hapen ja veden pääsyn metallin pintaan. Käsitelyt ovat myös huonosti sähköä johtavia, mikä myös osaltaan hidastaa korroosiota. Esikäsitelylinjalla konversiokäsittelyt tehdään yleensä heti pesun tai rasvanpoiston jälkeen. Käsitelyjä voidaan tehdä joko kasto- tai ruiskutusmenetelmillä. Yleisimpiä konversiopinnoitteita ovat rauta- ja sinkki-fosfaatit, zirkonium- ja silaanipinnoitteet sekä erilaiset passivoinnit.

Fosfatointia on käytetty metallien maalausesikäsitelyinä pitkään, mutta sen käytöstä ollaan hiljalleen luopumassa osittain taloudellisista ja osittain ympäristöllisistä syistä. Tilalle ovat siirtymässä uudemmat konversiokäsittelyt: zirkonium- ja silaanipinnoitteet.

Zirkonium- ja silaanipohjaiset konversiokäsittelyt tehdään huonelämpötilassa. Tämä vähentää tai poistaa jopa kokonaan lämmityskustannuksen. Samalla veden haihtuminen ja sen lisäämisen tarve vähenevät. Zirkonium- ja silaanipinnoitekylvyt ovat kromi- ja fosfaattivapaita, eivätkä ne sisällä raskasmetalleja. Kylpyjen lietteenmuodostus on myös todella vähäistä, mikä vähentää huoltokustannuksia merkittävästi.

Tämän insinöörityön tarkoituksena on vertailla erilaisten konversiopinnoitteiden paremmuutta maalausesikäsitelyinä erilaisilla metallipinnoilla. Tutkittavia konversiopinnoitteita on neljä: zirkoniumpohjaiset konversiopinnoitteet Candobond 551 ja Zirca-Sil

CA sekä silaanipohjaiset konversiopinnoitteet E-CLPS 1700CA ja E-CLPS 1700CA. Työn tilaajana on Candor Oy.

Candor Sweden AB

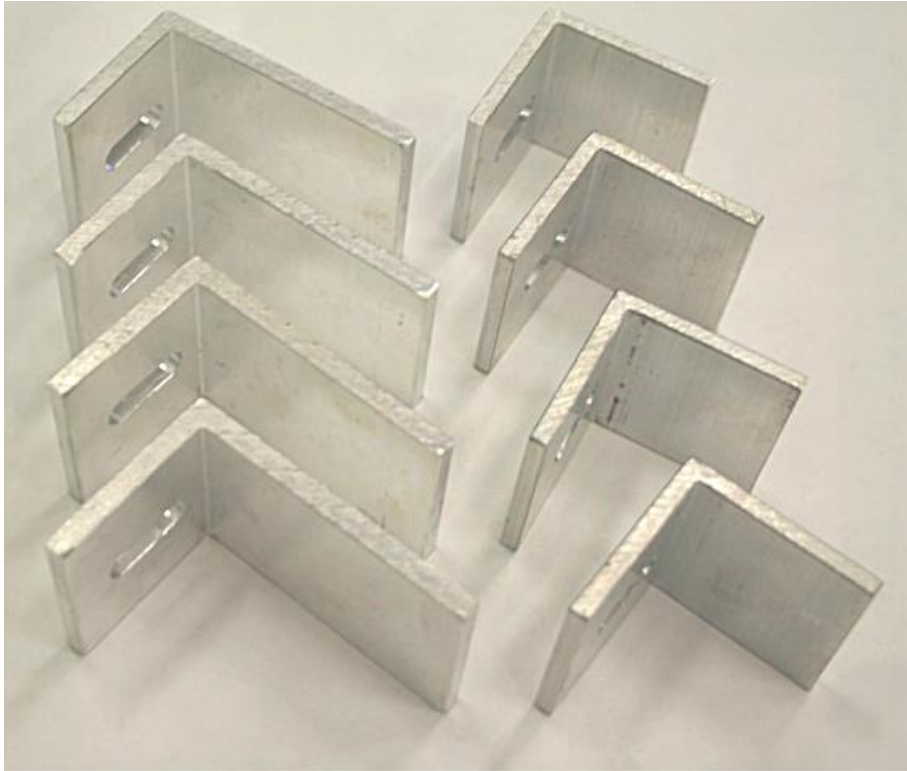
Candor Sweden AB on yksi harvoista merkittävistä molempien, pintakäsittelylaitteistojen sekä -kemikaalien, tavarantoimittajista. Candor Sweden AB on yksityisomistuksessa oleva pintakäsittelyalan ruotsalainen yritys, jonka tuotanto sekä päätoimisto sijaitsevat Ruotsin Norrköpingissä. Candor Sweden AB:lla on tytäryhtiöitä läpi Skandinavian sekä edustajia Euroopassa, Aasiassa ja Yhdysvalloissa.

2 Metallit maalausalueena

2.1 Alumiini

Alumiini on metallina ominaisuuksiltaan kevyttä ja lujuudeltaan terästä heikompaa. Sen yleisimpiä käyttökohteita ovat esimerkiksi autojen ja koneiden osat. Alumiini soveltuu hyvin maalattavaksi, mutta monet maalit eivät tartu erityisen hyvin sileään alumiinipintaan. Tällöin maalauskesittelyn tarpeellisuus korostuu. Alumiinia maalataan lähinnä ulkonäkösyistä, sillä normaalioloissa maalausta ei tarvita korroosion estämiseen. Kuvassa 1 on tällaisia alumiiniprofiilista valmistettuja tuotteita jotka ovat valmiita pintakäsiteltäviksi.

Alumiinin pintaan muodostuu ilman hapen vaikutuksesta alumiinioksidikerros, joka suojaaa alumiinia korroosiolta.



Kuva 1. Alumiiniprofiilista valmistettuja tuotteita, jotka käsitellään pesemällä ja konversiokäsittelyllä sekä jauhemaalalla. [3, s. 23]

Yleisin alumiinin pintakäsittely on anodisointi, jossa alumiinin pintaan kasvatetaan normaalia paksumpi alumiinioksidikerros, joka on todella kovaa ja suojaa alumiinia hyvin korroosiolta. Alumiinioksidikalvon huokoisuuden ansiosta käsittelyä muuntamalla pinnalle saadaan myös muita haluttuja ominaisuuksia, esimerkiksi väriä tai liukuominaisuuksia. [3, s. 23; 2.]

2.2 Kylmävalssattu teräs

Kylmävalssattu teräs on yksi yleisimpiä maalattavia metalleja. Kylmävalssatun teräksen tunnusmerkkejä ovat sen tasainen harmaa pinta sekä teräksen pinnalla oleva suojaöljy, jonka tehtävänä on suojata metallia ruostumiselta varastoinnin aikana. Kylmävalssattu teräs on maalattava tai muulla tavoin pinnoitettava, sillä se ruostuu herkästi. [3, s.17 – 18.]

2.3 Kuumavalssattu teräs

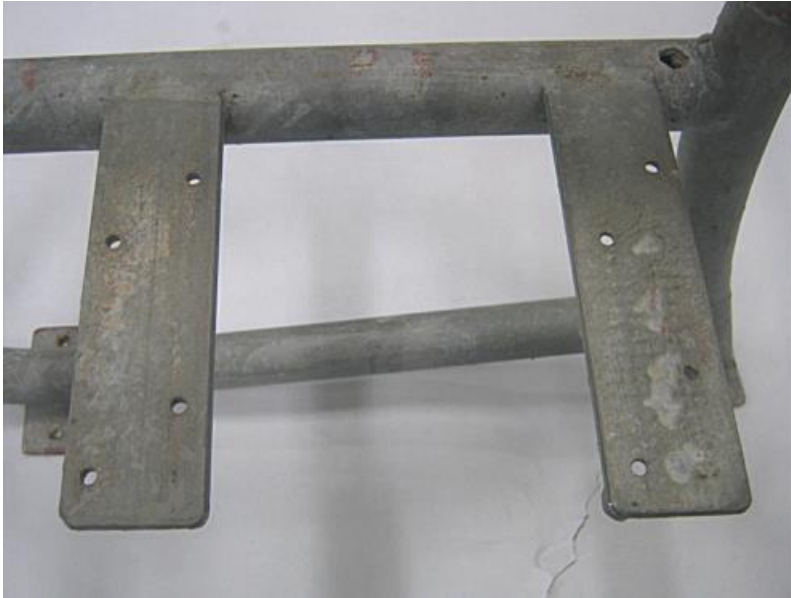
Kuumavalssatusta teräksestä valmistetut tuotteet ovat yleensä selvästi massiivisempia kuin kylmävalssatusta teräksestä valmistetut. Kuumavalssatun teräksen tunnistaa sen pinnalle valmistusvaiheessa muodostuvasta sinertävästä valssihilsekerroksesta.

Valssihilse on hapettunutta rautaa. Se on haurasta ja irtoaa vähitellen lämpölaajenemisesta ja heikosta sitoutuvuudesta johtuen ja on näin ollen huono maalausalusta. Kuumavalssattu teräs voi olla ruostunutta, jolloin valssihilse on joko jonkin verran tai kokonaan irronnut alustasta. Valssihilse ja ruoste on poistettava ennen maalausta esimerkiksi suihkupuhdistuksen avulla tai peittauksella. [8; 3, s. 19.]

2.4 Kuumasinkitty teräs

Sinkitty teräs on edullista ja sillä on hyvä korroosionkestävyys. Tämän takia se on hyvin yleinen rakennemateriaali. Yleisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi katulamppujen pylväät, siltojen kaiteet, auton korinosat sekä peltikatot. Kuumasinkityksen teräkselle antama ruostesuoja kestää jopa vuosikymmenien ajan. Kuumasinkittyä terästä maalataan lähinnä esteettisistä syistä.

Kuumasinkitys tapahtuu upottamalla teräskappale sulaan sinkkiin ja nostamalla se pois sinkistä. Valssatut levyt sinkitään jatkuvamenetelmällä. Teräskappaleen pintaan jää näin melko paksu sinkkikerros. Yleensä sinkkikerrosta ei passivoida. Kuitenkin ilman ja kosteuden vaikutuksesta kuumasinkityn teräksen pintaan muodostuu sinkkioksidia. Sinkkioksidia pidetään epäpuhtautena, joka heikentää maalin tarttumista pintaan. Tämän vuoksi teräskappale tulisi maalata mahdollisimman pian kuumasinkityksen jälkeen. Kuvassa 2 on kuumasinkitty teräskappale, jonka pinta on hapettunut.



Kuva 2. Hapettunut kuumasinkitty teräskappale. [3, s. 21]

Jos maalausta ei pystytä suorittamaan heti kuumasinkityksen jälkeen, joudutaan maalattava pinta esikäsittelemään. Kuumasinkityn teräksen maalausta vaikeuttaa maalin huono tartunta sinkittyyn pintaan. Kuumasinkitty pinta on huokoista, mikä aiheuttaa kuplimista maalipinnassa. [3, s. 21; 7.]

2.5 Ruostumaton teräs

Ruostumatonta terästä ei yleensä maalata. Kun ruostumatonta terästä maalataan, se tehdään yleensä ulkonäkösyistä. Ennen maalausta ruostumaton teräs esikäsitellään happopeittauksella, joka tekee pinnasta matan, mikä parantaa maalin tarttuvuutta. Ruostumattomat teräkset jaetaan mikrorakenteensa perusteella kolmeen pääryhmään:

- austeniittisiin,
- ferriittisiin ja
- martensiittisiin.

Mikrorakenne voi koostua myös edellä mainittujen mikrorakenteiden yhdistelmästä: ferriittis-austeniittiset ja ferriittis-martensiittiset teräkset. Ruostumattomien terästen tar-

keimmät seosaineet ovat kromi ja nikkeli, joista edellinen suosii ferriittistä ja jälkimmäinen austeniittista rakennetta. [6, s. 455; 4.]

3 Kemialliset maalauskesittelyt

3.1 Peittaus

Peittaus on kemiallinen ruosteenpoistomenetelmä. Sillä poistetaan metallin pinnalta epäpuhtaudet, joita ei saa poistettua pesulla. Peittauksella on tarkoituksena poistaa hapettumakerrokset syövyttämättä perusmetallia. Peittausaineeseen voidaan lisätä inhibiittejä metallin suojaamiseksi ja kostutusaineita, jotka parantavat aineen tunkeutumista ruosteeseen. Peittausaine valitaan metallin ja sen pinnalla olevien epäpuhtauksien mukaan.

Peittaus voidaan tehdä hapolla tai emäksellä. Happepeittauksessa käytettyjä happoja ovat esimerkiksi suolahappo, rikkihappo ja typpihappo. Alkalipeittaus tehdään yleensä liuoksella, jossa on emäksenä 50 – 80 % natriumhydroksidia. Alkaliset kylvyt poistavat myös orgaanisia epäpuhtauksia, mutta ruosteenpoisto on hapoilla nopeampaa. Aluminiin peittaus tehdään yleensä alkaalisesti. [9; 3, s. 40 – 41.]

3.2 Konversiokäsittelyt

3.2.1 Rautafosfatoi

Rautafosfatoi on fosfatoi menetelmistä yksinkertaisin ja edullisin. Rautafosfatoi parantaa maalikalvon tarttuvuutta metallipintaan, muttei anna yhtä hyvää korroosiosuojaa kuin sinkkifosfatoi. Fosfatoi nissa metallin pintaan muodostetaan ohut, kiteinen metallifosfaattikalvo, johon maali tarttuu paremmin kuin sileään metallipintaan.

Rautafosfatoi nia käytetään pääasiassa kylmävalssatun teräksen käsittelyyn. Rautafosfaattipinnoite on menetelmästä riippuen määrältään yleensä 0,1 -1,0 g / m². Pinnoitteen värisävy vaihtelee sen paksuudesta riippuen sinimustasta harmaaseen. Rautafosfatoi ninnan jälkeen tuotteet voidaan passivoida, mikä parantaa kokonaispintakäsittelyn kor-

roosionestokykyä sekä maalin tartuntaa entisestään. Rautafosfatointikylpyyn muodostuu käytön aikana sakkaa, jota täytyy poistaa kylvystä laskeuttamalla tai suodattamalla. [9; 3, s. 42 – 43.]

3.2.2 Sinkkifosfatointi

Sinkkifosfatointia käytetään, kun maalattavalle pinnalle halutaan parempi korroosiosuoja kuin rautafosfatoinnilla saataisiin. Sinkkifosfatoinnin metallille antama korroosiosuoja ja tartuntapohja maalille ovat erinomaiset. Sinkkifosfatointi on esikäsittelemenetelmänä rautafosfatointia monimutkaisempi ja kalliimpi käyttää. Sinkkifosfatointia käytetään pintojen esikäsittelemänä vaativissa olosuhteissa, kuten auto- ja kuljetusväline-teollisuudessa.

Sinkkifosfatoinnissa muodostuva pinnoite on määrältään 2 – 4,5 g/m². Pinnoite on väriltään harmaa. Sinkkifosfatointikylpyyn muodostuu sakkaa, jota on poistettava kylvystä käytön aikana suodattamalla. Sinkkifosfatointikylpy ei puhdista, vaan esikäsiteltävät tuotteet on pestävä erikseen. Sinkkifosfatoinnin jälkeen tuotteet on mahdollista passiivoida, mikä parantaa korroosionestokykyä sekä maalin tartuntaa entisestään. [9; 3, s. 44.]

3.2.3 Zirkoniumpinnoite

Zirkoniumpinnoitteesta käytetään myös nimitystä ”nanokeraamipinnoite”. Se on uuden aikainen konversiokäsittely, jolla voidaan korvata fosfatoiteja ja passivointia. Se antaa metallille hyvän korroosiosuojan muodostaen hyvin ohuen tiiviin kalvon ja estäen näin hapen ja veden siirtymisen metallin pinnalle.

Zirkoniumkäsittelyä käytetään maalaus-esikäsittelemänä teräkselle, alumiinille ja sinkkipinnoille parantamaan käsiteltävän metallin korroosiosuojaa ja maalin tartuntaa alustaan. Käsittely voidaan suorittaa joko kasto- tai ruiskutusmenetelmillä ja jopa eri metalleille samalla linjalla. Käsittely voidaan myös tehdä yksivaiheisena, jolloin pinnoituskylpy pesee samalla, tai kaksivaiheisena, jolloin pinnoitettava tuote pestään ensin erikseen.

Zirkoniumkäsittely tehdään huoneenlämpötilassa, mikä vähentää tai poistaa jopa kokonaan lämmityskustannuksen. Samalla veden haihtuminen ja sen lisäämisen tarve vä-

henevät. Zirkoniumkäsittelykylvyn lietteenmuodostus on paljon vähäisempää kuin fosfointikylvyillä, mikä vähentää huoltokustannuksia merkittävästi. Kylvyn käyttöikä on myös huomattavasti pidempi kuin fosfointikylpyjen. Käsittelykylvyt ovat myös kromi- ja fosfaattivapaita, eivätkä ne sisällä raskasmetalleja. Pinnoituksessa käytettävät kemikaalitkin ovat työturvallisuuden kannalta parempia kuin fosfatoinnissa. [3, s. 45 – 47.]

3.2.4 Silaanipinnoite

Myös silaanipinnoite on uudenaikainen konversiokäsittely, jolla voidaan korvata fosfointeja ja passivointia. Käsittely antaa käsiteltävälle metallille hyvän korroosiosuojan ja parantaa maalin tarttumista sen pintaan.

Silaanipohjaista konversiokäsittelyä käytetään maalauskesikäsittelynä teräkselle, alumiinille ja sinkkipinnoille parantamaan käsiteltävän metallin korroosiosuojaa ja maalin tartuntaa alustaan. Silaanipinnoite perustuu sarjaan silaaneja, jotka muodostavat metallin pinnalle molekyyliverkoston. Se estää hapen ja veden pääsyn metallien pintaan ja antaa erinomaisen korroosiosuojan ja tartuntapinnan. [3, s. 47 – 49.]

3.2.5 Kromatointi

Kromatointi on kromipitoinen passivointikäsittely. Sitä käytetään esikäsittelymenetelmänä kevytmetalleille ja sinkityille kappaleille. Kromatoinnissa kappaleen pintaan muodostetaan kromaattiyhdisteitä sisältävä kerros parantamaan pinnan korroosionestoa sekä maalin tarttuvuutta siihen. Kromatointia on aikaisemmin käytetty lähes yksin eri metallipintojen passivoinnissa sen edullisen hinnan ja teknisesti erittäin hyvien ominaisuuksien vuoksi.

Kromatointi tapahtuu upottamalla käsiteltävät tuotteet liuokseen. Kromatointiliuos on yleensä hapaa. Aikaisemmin liuos sisälsi 6-arvoisia kromisuoloja, mutta kuudenarvoisen kromin käytöstä passivoinnissa on luovuttu nykyään lähes kokonaan, sillä se on ympäristölle vaarallinen ja syöpää aiheuttava aine. Kuudenarvoisella kromilla passivoinnista käytetään nimeä keltapassivointi. Kromatointia, joka sisältää kolmenarvoista kromia, käytetään yhä jossain määrin. Se ei ole syöpää aiheuttava aine. Kolmenarvoista kromia sisältävästä passivoinnista käytetään nimityksiä kirkaspassivointi, viherpassivointi ja sinipassivointi.

Käsittelyliuos sisältää myös muita suoloja, joiden laatua vaihtelemalla voidaan vaikuttaa kromatointikalvon ulkonäköön ja kovuuteen. Mm. kromatointiliuoksen koostumus, pH -arvo ja lämpötila sekä käsittelyaika vaikuttavat muodostuvan kalvon väriin ja pinnoitteen tyyppiin.

Kromatointikäsittelyjen huuhteluvesiä ei voi laskea viemäriin, vaan ne on puhdistettava tai toimitettava ongelmajätelaitokseen. Kromipitoisten passivointiainesten käyttö on jäämässä hiljalleen pois ympäristö- ja terveyshaittojen, sekä kalliiden kustannusten vuoksi.

[3, s. 50 - 51; 6, s. 567.]

4 Jauhemaalauus

Jauhemaalauus on maalausmenetelmänä varsin erilainen kuin tavallinen märkemaalauus. Jauhemaalauksessa maali on levitysvaiheessa jauhemaisessa muodossa. Maalattava tuote maadoitetaan ja ruiskutettaessa maalijauhe varataan sähköisesti, jolloin se hakeutuu maadoitettuun pintaan. Tämän jälkeen maalattu kappale kuumennetaan uunissa, jolloin jauhemaaali sen pinnassa sulaa. Sulavaiheessa käynnistyy jauhemaaalin verkkoutuminen ja maali tarttuu kappaleen pintaan. Jäähdyttyään maalikalvo on kovettunut lopullisesti ja maalatun tuotteen voi ottaa heti käyttöön.

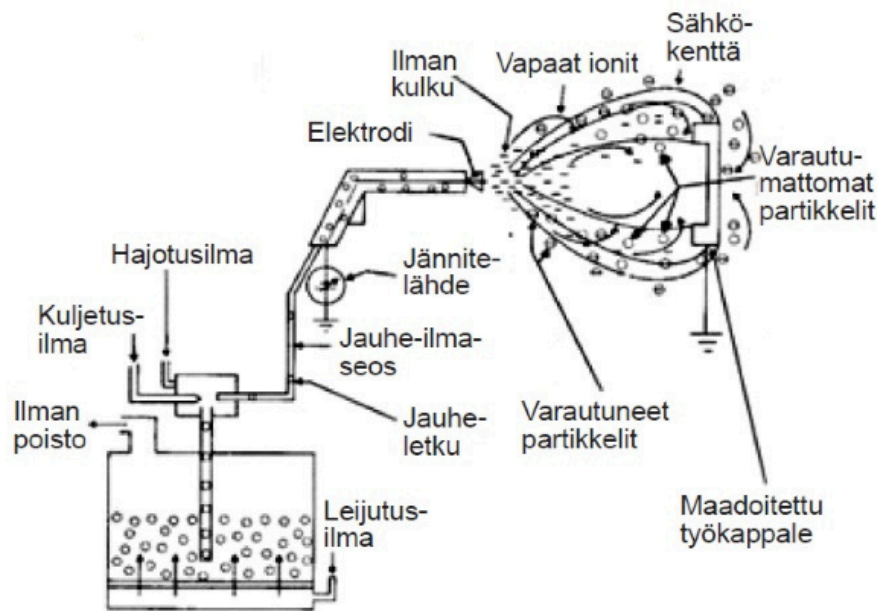
Jauhemaalauus yleistyy koko ajan. Sitä käytetään varsinkin kappaletavaroiden maalausmenetelmänä. Jauhemaalauksen hyviä puolia ovat jauhemaaalin edullisuus ja uudelleen käytettävyys, maalauksen automatisointi sekä maalikalvon mekaanisen ja kemiallisen rasituksen hyvä kestävyys. Yksinkertaiset profiilit on helppoa maalata jauheella tasalaatuisiksi. Maali hakeutuu sähköisen varauksen ansiosta myös hankalampiin paikkoihin, joita ei voitaisi märkemaalata. Jäähdytymisen jälkeen maalatut tuotteet voidaan pakata toisiaan vasten, eivätkä ne tartu toisiinsa kiinni tai naarmuunnu helposti, jolloin säästetään pakkauskuluissa. Jauhemaalauus on myös ympäristölle haitattomampaa, sillä siinä ei synny liuotinpäästöjä, jolloin myös paloturvallisuus ja näin työturvallisuuskin ovat parempia. Jauhemaalauuslaitteet ovat erittäin varmatoimisia. Niiden huollon tarve ja huoltokustannukset ovat vähäiset.

Jauhemaalauksella on investointikustannuksiltaan kallein kaikista maalausmenetelmistä. Maalattujen kappaleiden lämmittäminen vaatii energiaa ja siksi jauhemaalauksella ei sovellu kookkaille, monimuotoisille kappaleille kohtuullisin kustannuksin. Jauhemaalauksella ei sovellu myöskään kohteille, joita ei voida lämmittää. Jauhemaalit toimitetaan yleensä isoissa pakkauksissa (yleisin koko 20 kg), sillä pienten jauhemäärien kilohinta on suurempi. Jauhemaalit ovat edullisia kun niiden värisävy valitaan RAL –värikartasta. Muut värisävyt voivat olla hyvinkin kalliita. Värien vaihto jauhessa säiliöön on melko työlästä. Jauhemaalaukseen tarvitaan myös erillinen uuni, jonka lämpötila pystytään nostamaan noin 200 °C:n lämpötilaan. Jauhemaalauksella on hitaampaa kuin märkemaalauksella, sillä jauhemaalipistoolilla ei voi ruiskuttaa maalia paljon, koska hiukkaset eivät varautuisi kunolla. Korjausmaalauksella on tehtävä aina koko tuotteelle, kun taas märkemaalauksella voidaan maalata myös vain osa tuotetta. [3, s.177 - 180; 5; 10.]

Jauhemaalauksimenetelmät

Jauhemaalauksessa jauhemaalipistoolilla tehtävänä on hajottaa maalijauhe tasaiseksi pilveksi tuotteen ympärille ja varata maalihiukkaset niin, että ne hakeutuvat sähkövarauksensa ansiosta maadoitetun tuotteen pintaan. Jauheen varausmenetelminä käytetään sähköstaattista varausta ja kitkavarauksista. Jauhemaalipistoolit ovat käsi- tai automaattipistoolia.

Sähköstaattisesta varauksesta käytetään myös nimitystä koronavarauksella. Sähköstaattisessa jauhemaalipistoolissa on erilliset elektrodit, jotka muodostavat sähkökentän. Sähkökentässä on vapaita elektroneja, jotka varaavat sähkökentän läpi kulkeutuvat maalihiukkaset. Hiukkaset varautuvat näin pistoolin ulkopuolella. Maalijauhe varataan yleensä miinusmerkkiseksi. Sähköstaattisen varauksen menetelmässä tarvitaan erillinen jännitelähde, jolla maalijauhe varataan noin 30 – 115 kV:n jännitteeseen. Kuvassa 3 on esitetty sähköstaattiseen varaukseen perustuvan laitteiston toimintaperiaate.

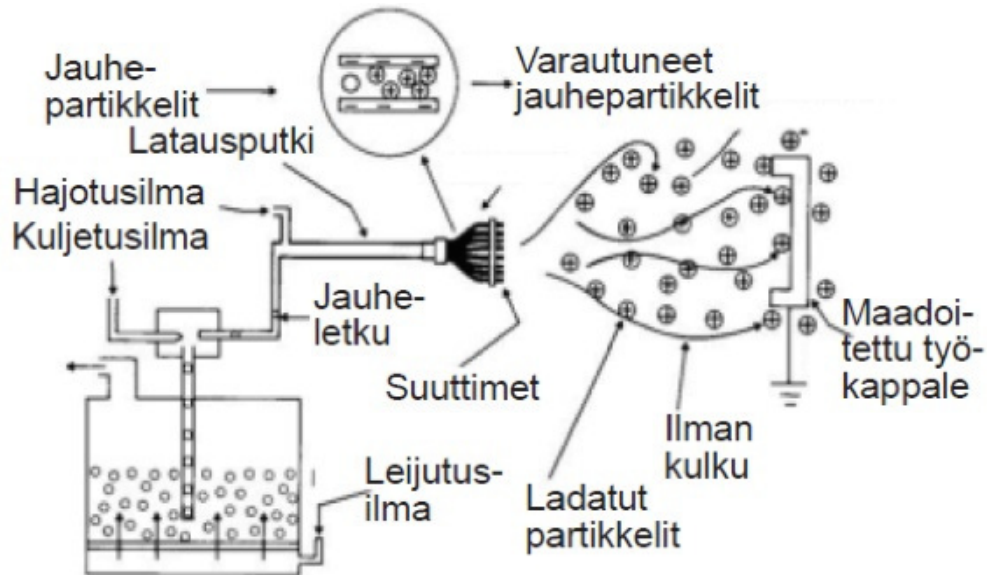


Kuva 3. Sähköstaattiseen varaukseen perustuvan laitteiston toimintaperiaate. [3; 11]

Sähköstaattisen varauksen menetelmän etuja ovat sen monipuoliset säätömahdollisuudet ja suuri kapasiteetti. Menetelmällä jauhetta käytetään yleensä noin 10 kg tunnissa pistoolia kohti. Määrää voi säätää suuremmaksi, mutta samalla ohiruisutus lisääntyy. Varauskin on erikseen säädettävissä. Sähköstaattinen varaus sopii kaikille jauhemaalityypeille.

Sähköstaattisessa menetelmässä pistoolin ja maalattavan tuotteen välille syntyvä sähkökenttä ei ole tasasuuruinen. Sähkökenttä on suurin kappaleen ulkokulmissa, ulko-reunoissa ja ulokkeissa ja pienin kappaleen sisäkulmiin. Puhutaan Faradayn häkki-ilmiöstä. Tämän vuoksi maalin ruiskuttaminen kappaleen sisäkulmiin on hankalaa. Maalaus on hankalampaa, jos maalattava kappale on monimuotoinen. Jo kertaalleen jauhemaalattun tuotteen maalaus sähköstaattisella menetelmällä on vaikeaa, koska tiivis maalikalvo toimii sähköisenä eristeenä. Sähköstaattisella menetelmällä tapahtuu enemmän ohiruisutusta kuin kitkavarauksen menetelmällä. [3, s.191-192; 5.]

Kitkavarauksen menetelmässä maalijauhe varautuu, kun se kulkee putkessa ja hankautuu putken seinämiin. Maalihiukkasten varautuminen perustuu hiukkasten ja putken muovi-lajien väliseen elektronegatiivisuuseroon. Jauheen varaamiseen ei näin tarvita erillistä jännitelähdettä. Maalauspistoolin ja maalattavan kappaleen välille ei muodostu sähkökenttää. Kuvassa 4 on esitetty kitkavaraukseen perustuvan laitteiston toimintaperiaate.



Kuva 4. Kitkavaraukseen perustuvan laitteiston toimintaperiaate. [3; 11]

Sähkökentän puuttuminen kitkavarauksen menetelmässä on yksi sen hyvistä puolista. Ilman sähkökenttää maalauksessa ei esiinny Faradayn häkki-ilmiötä ja esim. kappaleiden sisäkulmia on helpompi maalata. Maalauksessa ei tarvita erillistä jännitelähdettä. Myös automaattimaalaus ja jo kertaalleen maalattujen kappaleiden uudelleenmaalaus onnistuvat paremmin kitkavarauksen menetelmällä kuin sähköstaattisella varausmenetelmällä.

Kitkavarauksen menetelmän kapasiteetti on pienempi kuin sähköstaattisella ruiskutuksella. Kaikki maalityypit eivät sovellu sellaisinaan kitkavarauksen menetelmään. Kitkavarauksen laitteiston puhdistus on hitaampaa ja työläämpää kuin sähköstaattisen varauksen laitteiston puhdistus. Maalijauheen varautumista ei voi säätää kitkavarauksen menetelmässä muulla tavoin kuin muuttamalla jauheen virtausnopeutta pistoolissa. Myöskään kierrätettävä jauhe ei varaudu enää yhtä hyvin kitkavarauksen menetelmässä. Esim. kosteus voi haitata kierrätetyn jauheen varautumista. [3, s.192-194; 5.]

5 Koekappaleet ja niiden käsittelyt

5.1 Koemateriaalit

Koekappaleet olivat kooltaan 150 mm x 100 mm x 1mm. Alumiinikoekappaleet olivat hieman paksumpia, noin 2mm paksuja.

Testattavat materiaalit olivat seuraavat:

- Alumiinilevy (EN AW 5754)
- Kuumasinkitty teräs (DX 51 D + Z275) Kuumasinkitty teräs oli kemiallisesti passivoitua.
- Ruostumaton teräs: (ASTM A 240-2014 TYPE 316L / 316)
- Kylmävalssattu teräs: (EN 10130 DC01-A-M-O)

5.2 Rasvanpoisto

Candoclene 915 -rasvanpoistokylpyä käytettiin ennen kaikkia muita kokeissa käytettyjä konversiopinnoitteita paitsi Candobond 551:ä.

Candoclene 915 -kylvyn pitoisuus oli noin 55 g/l ja käyttölämpötila n. 50 - 60°C. Käsittelyaika oli 4 min. Rasvanpoiston jälkeen koekappaleet konversiopinnoitettiin.

Kylvyn tarkemmat tuotetiedot löytyvät liitteenä (liite 1).

5.3 Konversiokäsittelyt

5.3.1 Zirkonumpohjainen konversiopinnoite Zirca-Sil CA

Zirca-Sil CA esikäsittely suoritettiin seuraavasti: rasvanpoisto, 3 huuhtelua, reaktiotuote Zirca-Sil CA ja jälkihuhtelu. Kaksi ensimmäistä huuhtelua suoritettiin vesijohtovedessä, kolmas ja jälkihuhtelu ionivaihdetussa vedessä. Tämän jälkeen suoritettiin kuivaus puhtaalla paineilmalla. Esikäsittelyn jälkeen kappaleet jauhemaalattiin.

Kylvyn Zirca-Sil CA pitoisuus oli noin 34 ml/l ja käsittelylämpötila noin 21 °C (huonelämpötila). Käsittelyaika oli 4 min ja pH pysyi välillä 4,4-5,0.

Kylvyn tarkemmat tuotetiedot löytyvät liitteenä (liite 2).

Koekappaleet

Alla ovat taulukoituina Zirca-Sil CA:lla esikäsitellyt koekappaleet, niiden materiaalit sekä testatut korroosiorasitusluokat. Koekappaleita oli yhteensä 32 kpl.

Taulukko 1. Zirca-Sil CA:lla käsitellyt materiaalit ja niiden testien korroosiorasitusluokat.

TESTATTAVAT MATERIAALIT JA KORROOSIORASITUSLUOKAT					
Koemateriaali	C3-M	C4-M	C5-M	Irtivetokoe	Hilaristikkokoe
alumiini	-	3 kpl	3 kpl	1 kpl	1 kpl
kylmävalssattu teräs	3 kpl	3 kpl	-	1 kpl	1 kpl
kuumasinkitty teräs	3 kpl	3 kpl	-	1 kpl	1 kpl
ruostumaton teräs	3 kpl	3 kpl	-	1 kpl	1 kpl

5.3.2 Silaanipohjainen konversiopinnoite E-CLPS 1700CA

E-CLPS 1700CA –esikäsitely suoritettiin seuraavasti: rasvanpoisto, 3 huuhtelua, reaktiopinnoite E-CLPS 1700CA ja kuivaus. Kaksi ensimmäistä huuhtelua suoritettiin vesijohtovedessä ja kolmas ionivaihdetussa vedessä. Esikäsitelyn jälkeen kappaleet jauhemaalattiin.

E-CLPS 1700CA -kylvyn pitoisuus oli noin 26 ml/l ja käsittelylämpötila oli noin 21 °C (huonelämpötila). Käsittelyaika oli 5 min. Kylvyn pH oli noin 7,3.

Kylvyn tarkemmat tuotetiedot löytyvät liitteenä (liite 3).

Koekappaleet

Alla ovat taulukoituina E-CLPS 1700 CA:lla esikäsitellyt koekappaleet, niiden materiaalit sekä niiden testien korroosiorasitusluokat. Koekappaleita oli yhteensä 32 kpl.

Taulukko 2. E-CLPS 1700 CA:lla käsitellyt materiaalit ja niiden testien korroosiorasitusluokat.

TESTATTAVAT MATERIAALIT JA KORROOSIORASITUSLUOKAT					
Koemateriaali	C3-M	C4-M	C5-M	Irtivetokoe	Hilaristikkokoe
alumiini	-	3 kpl	3 kpl	1 kpl	1 kpl
 kylmävals- sattu teräs	3 kpl	3 kpl	-	1 kpl	1 kpl
kuumasinkit- ty teräs	3 kpl	3 kpl	-	1 kpl	1 kpl
ruostumaton teräs	3 kpl	3 kpl	-	1 kpl	1 kpl

5.3.3 Silaanipohjainen konversiopinnoite E-CLPS 1980CA

E-CLPS 1980CA –esikäsitteily suoritettiin seuraavasti: rasvanpoisto, 3 huuhtelua, reaktiopinnoite E-CLPS 1980CA, jonka jälkeen kuivaus puhtaalla ilmalla. Kaksi ensimmäistä huuhtelua suoritettiin vesijohtovedessä ja kolmas ionivaihdetussa vedessä. Esikäsitteilyn jälkeen kappaleet jauhemaalattiin.

E-CLPS 1980CA -kylvyn pitoisuus oli noin 25 ml/l ja käsittelyaika 4 min. Käsittely tehtiin huoneenlämpötilassa (noin 21 °C). Kylvyn pH oli noin 6,1.

Kylvyn tarkemmat tuotetiedot löytyvät liitteenä (liite 4).

Koekappaleet

Alla ovat taulukoituina E-CLPS 1980 CA:lla esikäsitellyt koekappaleet, niiden materiaalit sekä niiden testien korroosiorasitusluokat. Koekappaleita oli yhteensä 35 kpl.

Taulukko 3. E-CLPS 1980 CA:lla käsitellyt materiaalit ja niiden testien korroosiorasitusluokat.

TESTATTAVAT MATERIAALIT JA KORROOSIORASITUSLUOKAT					
Koemateriaali	C3-M	C4-M	C5-M	Irtivetokoe	Hilaristikkokoe
alumiini	-	3 kpl	3 kpl	1 kpl	1 kpl
kylmävalssattu teräs	3 kpl	3 kpl	-	1 kpl	1 kpl
kuumasinkitty teräs	3 kpl	3 kpl	3 kpl	1 kpl	1 kpl
ruostumaton teräs	3 kpl	3 kpl	-	1 kpl	1 kpl

5.3.4 Pesevä zirkonumpohjainen konversiopinnoite Candobond 551

Candobond 551 -esikäsittely tapahtui seuraavasti: Candobond 551 reaktiopinnoite, 3 huuhtelua ja kuivaus puhtaalla ilmalla. Kaksi ensimmäistä huuhtelua suoritettiin vesi-johtovedessä ja viimeinen huuhtelu ionivaihdetussa vedessä. Candobond 551 ei tarvinnut erillistä rasvanpoistoa, koska sitä käytettiin yhdessä pesuliuksen Canfos Wetter 840 kanssa. Käsittelyn jälkeen kappaleet jauhemaalattiin.

Candobond 551 -kylvyn pitoisuus oli noin 50 ml/l ja Canfos Wetter 840 pitoisuus kylvyssä noin 10 ml/l. Käsittelyaika oli 5 min ja liuksen pH noin 3,85.

Kylvyn tarkemmat tuotetiedot ovat liitteenä (liite 5).

Koekappaleet

Alla ovat taulukoituina Candobond 551:llä esikäsitellyt koekappaleet, niiden materiaalit sekä niiden testien korroosiorasitusluokat. Koekappaleita oli yhteensä 24 kpl.

Taulukko 4. Candobond 551:llä käsitellyt materiaalit ja niiden testien korroosiorasitusluokat.

TESTATTAVAT MATERIAALIT JA KORROOSIORASITUSLUOKAT					
Koemateriaali	C3-M	C4-M	C5-M	Irtivetokoe	Hilaristikkokoe
alumiini	-	3 kpl	3 kpl	1 kpl	1 kpl
 kylmävalssattu teräs	3 kpl	3 kpl	-	1 kpl	1 kpl
kuumasinkitty teräs	3 kpl	3 kpl	-	1 kpl	1 kpl
ruostumaton teräs	-	-	-	-	-

5.4 Koekappaleiden maalaus

Koekappaleet maalattiin Teknoksen Infralit PE 8339 polyesterijauhemaalilla. Infralit PE 8339 on polyesterihartsin perustuva jauhemaali, joka soveltuu käytettäväksi kohteissa, joissa vaaditaan hyvää säänkestävyyttä. Maalin tarkemmat tuotetiedot löytyvät liitteenä (liite 2).

Kappaleet jauhemaalattiin välittömästi esikäsitteilyn jälkeen, kun ne olivat kuivuneet tai kuivattu. Kuvassa 5 juuri jauhemaalattut koekappaleet riippuvat jauhemaalauskaapissa. Jauhemaalattuja levyjä pidettiin 180 °C:n lämpötilassa 10 minuutin ajan. Uunissa, korotetussa lämpötilassa jauhe sulii ja verkkoutui muodostaen lopullisen maalikalvon joka jäähtyessään kovettui. Maalikalvon paksuus oli keskimäärin noin 90 µm.



Kuva 5. Koekappaleiden jauhemaalauk.

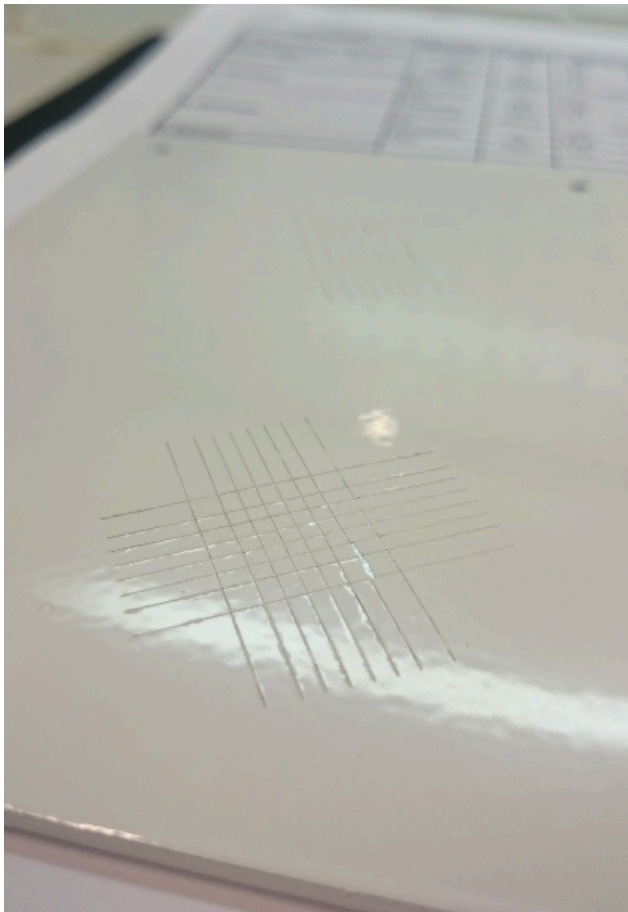
6 Testausmenetelmät

6.1 Adheesiokokeet

Adheesiokokeet tehtiin jokaiselle koekappaletyypille kuivatartuntana. Adheesiokokeet tehtiin erillisille koekappaleille joita ei koestettu.

6.1.1 Hilaristikkokoe

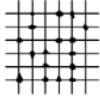

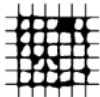
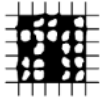
Hilaristikkokokeet tehtiin koekappaleille standardin SFS-EN ISO 2409 (Maalit ja lakat. Hilaristikkokoe) mukaisesti. Koekappaleisiin viillettiin 6 yhdensuuntaista leikkausuraa alustamateriaaliin saakka. Leikkausurien etäisyys oli 2 mm. Viillot tehtiin ERICHSEN Cross Hatch Cutter Model 295 –leikkurilla. Toistettiin toimenpide tekemällä sama määrä yhdensuuntaisia leikkauksia ristiin alkuperäisten kanssa 90 asteen kulmassa siten, että muodostui ristikkokuvio. Harjattiin pehmeällä harjalla kevyesti useita kertoja kummankin ristikkokuvion lävistäjän suuntaisesti. Tarkasteltiin tuloksia suurennuslasin avulla. Tämän jälkeen ristikkokuvion päälle liimattiin läpinäkyvä teippi ja hangattiin teippiä voimakkaasti sormenpäällä ja kynnellä. Viiden minuutin jälkeen teipin liimaamisesta se poistettiin ja tämän jälkeen tarkasteltiin tuloksia taas suurennuslasin avulla. Koe tehtiin kolmeen kertaan eri kohtiin koekappaletta. Kuvassa 6 on koekappale tarkasteltavana hilaristikkokokeen jälkeen.



Kuva 6. Koekappale tarkasteltavana hilaristikkokokeessa.

Tulokset määritettiin alla olevan taulukon 5 avulla.

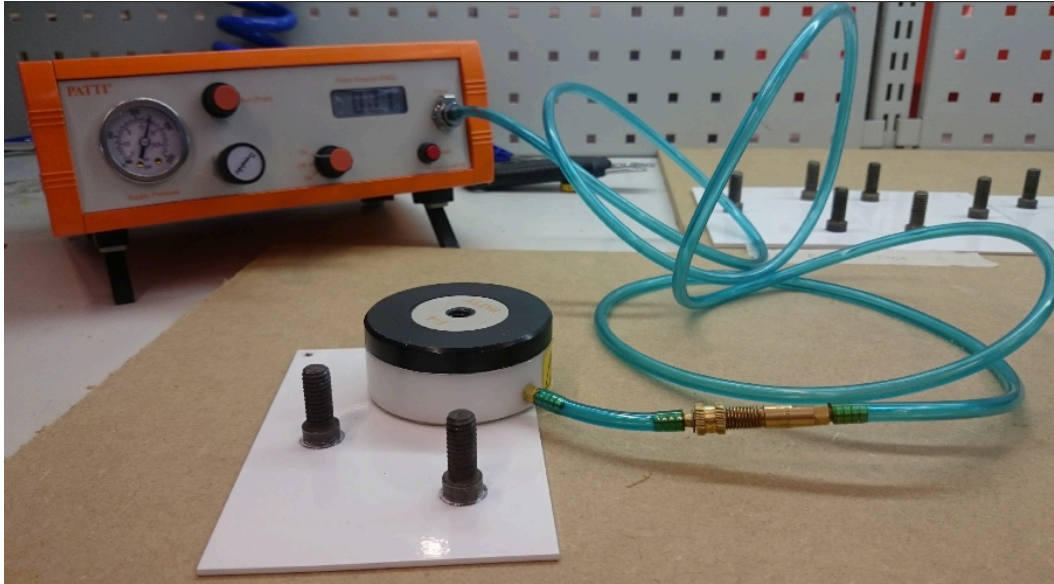
Taulukko 5. Taulukko jonka mukaan hilaristikkotestin tulokset määritettiin. [12]

Luokitus	Kuvaus	Ulkonäkö leikkausalueella, josta hilseilyä on tapahtunut (Esimerkki kuudelle rinnakkaisleikkaukselle)
0	Leikkausurien reunat ovat täysin sileät, yksikään ristikon ruuduista ei ole irronnut	–
1	Pientä hilseilyä urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta korkeintaan 5 % on vaurioitunut	
2	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta tai urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 5 % mutta ei enempää kuin 15 %	
3	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai on hilseillyt osittain tai kokonaan ruutujen eri osista. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 15 % mutta ei enempää kuin 35 %	
4	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai joitain ruutuja on irronnut osittain tai kokonaan. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 35 % mutta ei enempää kuin 65 %	
5	Mikä tahansa hilseily, jota ei voida luokitella edes luokitteluasteen 4 mukaisesti	–

6.1.2 Irtivetokoe

Irtivetokoe koekappaleille tehtiin koekappaleille standardin SFS-EN ISO 4624 (Maalit ja lakat. Tarttuvuuden arviointi vetokokeella.) mukaisesti.

Maalikalvon pinta karhennettiin hiomapaperilla ja puhdistettiin kohdista, joihin vetonupit liimattiin. Vetonuppeja liimattiin 3 kpl jokaiseen koepalaan, jolloin saatiin jokaisesta näytetyypistä 3 tulosta. Vetonupit liimattiin kaksikomponenttisella epoksiliimalla, jonka kuivumisaika oli 24h. Kuvassa 8 on vetokokeeseen valmiita koekappaleita. Liiman kuivuttua vetonuppien reunoille painunut ylimääräinen liima sekä maali poistettiin käsiporalla pohjamateriaaliin saakka. Kuvassa 9 on koekappaleita vetonuppikokeessa sekä liiman poistamiseen käytetty käsipora. Vetonupit vedettiin irti koelevyistä pneumaattisella vetokoelaitteella. Vetokoelaitteella on kuvassa 7.



Kuva 7. Pneumaattinen vetokoelaite Elcometer 110 Patti.

Kokeesta saatiin tulokseksi murtolujuus (MPa) sekä silmämääräisesti määritettiin myös murtuman tyyppi. Murtumatyypit ovat seuraavat:

- A on alustan koheesiomurtuma;
- A/B on adheesiomurtuma alustan ja ensimmäisen pinnoitekerroksen välillä;
- B on koheesiomurtuma ensimmäisessä pinnoitekerroksessa;
- B/C on adheesiomurtuma ensimmäisen ja toisen pinnoitekerroksen välillä;
- n on koheesiomurtuma monikerrosyhdistelmän kerroksessa n ;
- n/m on adheesiomurtuma monikerrosyhdistelmän kerrosten n ja m välillä;
- Y on adheesiomurtuma liiman ja pintakerroksen välillä;
- Y on liiman koheesiomurtuma;
- Y/Z on adheesiomurtuma liiman ja vetokappaleen välillä.

Murtumapinta-ala arvioidaan murtumatyypeittäin prosentteina lähimpään 10 %:iin.



Kuva 8. Koekappaleita valmiina vetokokeeseen.



Kuva 9. Ylimääräinen liima poistettiin vetonuppien ympäriltä käsiporalla.

6.2 Suolasumukoe

Suolasumukoe suoritettiin koekappaleille standardin SFS-EN ISO 9227 (Korroosioko-
keet keinotekoisissa kaasuympäristöissä. Suolasumukokeet.) mukaisesti.

Koekappaleisiin tehtiin 1 mm leveä ja noin 60 mm pitkä viilto kyseiseen tarkoitukseen valmistetulla terällä. Viillot tehtiin keskelle koekappaletta samansuuntaisesti koekappa-
leen pidemmän reunan kanssa. Alumiinikoekappaleisiin tehtiin kaksi toisiinsa nähden kohtisuoraa viiltoa, jotka olivat vähintään 25 mm:n päässä toisistaan ja kaikista koele-
vyn reunoista. Koekappaleiden reunat suojattiin varmuuden vuoksi ilmastointiteipillä, sillä maalikalvo oli ohuempi koekappaleiden reunoilla ja nurkissa. Testiajat olivat eri korroosiorasitusluokille seuraavat:

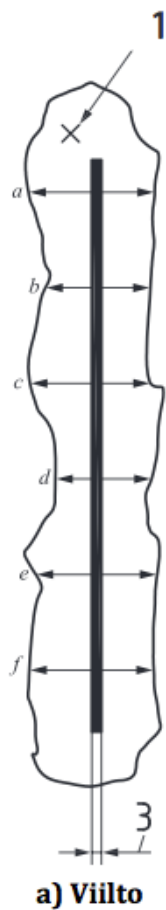
- C3-M: 240h
- C4-M: 480h
- C5-M: 720h.

Koelevyt huuhdeltiin puhtaalla vedellä välittömästi suolasumukokeen päätyttyä ja kui-
vattiin puhtaalla paineilmalla sekä tarkastettiin, esiintyikö näkyviä muutoksia. Tämän
jälkeen poistettiin irtoava pinnoite valmiin viillon ympäriltä veitsen avulla. Kuvassa 10
on huuhdeltuja koekappaleita tarkasteltavana heti korroosiorasituksen jälkeen.



Kuva 10. Suolasumukaapista tulleet koekappaleet huuhdeltiin ja tarkastettiin ensin silmämääräisesti.

Suolasumukokeen tuloksia tarkasteltiin standardin SFS-EN ISO 4628-8 (Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten virhetyyppien esiintymisen voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. Osa 8. Viiltoa tai muuta pinnoitteeseen tehtyä vauriota ympäröivän irtoamisen ja korroosion arviointi.) mukaisesti, sillä koekappaleiden maalikalvossa ei ollut havaittavissa huononemista muualla kuin niihin valmiiksi tehdyn viillon ympärillä. Irtoava maali poistettiin mekaanisesti veitsen avulla viillon ympäriltä. Mitattiin viivoittimen avulla tasavälein 6 kohdasta maalikalvon irtoamisen, sekä edenneen korroosion leveys, kuvan 11 esittämällä tavalla.



Kuva 11. Maalikalvon irtoamisen laskeminen. 1.ruostunut tai irronnut alue. 3. Alkuperäisen viillon leveys.

Irtoamisen keskimääräinen kokonaisleveys d_1 määritetään 0,5 mm tarkkuudella käyttämällä seuraavaa yhtälöä

$$d_1 = \frac{a+b+c+d+e+f}{6}$$

Josta lasketaan irtoaminen d millimetreinä käyttäen seuraavaa yhtälöä

$$d = \frac{d_1 - w}{2}$$

jossa

- d_1 on irronneen alueen kokonaisleveyden keskiarvo millimetreinä
- w on alkuperäisen viillon tai muun keinotekoisien vaurion leveys millimetreinä
- a, b, c, d, e, f ovat yksittäisiä irtoamisen mittauksia, ks. kuva 6.

Korroosion eteneminen määritettiin samalla tavalla kuin maalikalvon irtoaminen.

7 Tutkimustulokset

7.1 Hilaristikkokoe

Taulukoissa 6 - 9 on esitetty hilaristikkokokeen tulokset eri koekappaleityypeille. Hilaristikkokoe tehtiin erillisille koestamattomille koekappaleille kappaleiden maalauksen jälkeen.

Lähes jokainen koekappaleityyppi sai testissä luokituksen 0 (Leikkausurien reunat ovat täysin sileät, yksikään ristikon ruuduista ei ole irronnut). Candobond 551:llä sekä Zirca Sil CA:lla käsitellyillä kuumasinkityillä koekappaleilla esiintyi vähäistä hilseilyä urien leikkauspisteissä, jolloin ne saivat testissä luokituksen 1 (Leikkausristikon alueesta korkeintaan 5% on vaurioitunut).

Taulukko 6. Candobond 551:llä esikäsiteltyjen koemateriaalien hilaristikkotestien tulokset.

Candobond 551

Koe- materiaali	testi 1		testi 2		testi 3	
	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
Z275	1	1	1	1	1	1
CRS	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0	0	0

Taulukko 7. Zirca-Sil CA:lla esikäsiteltyjen koemateriaalien hilaristikkotestien tulokset.

Zirca-Sil CA

	testi 1		testi 2		testi 3	
Koe- materiaali	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jäl- keen	Harjauksen jälkeen	Teipin jäl- keen
Z275	0	1	1	1	1	1
CRS	0	0	0	0	0	0
AI	0	0	0	0	0	0
RST	0	0	0	0	0	0

Taulukko 8. E-CLPS 1700CA:lla esikäsiteltyjen koemateriaalien hilaristikkotestien tulokset.

E-CLPS 1700CA

	testi 1		testi 2		testi 3	
Koe- materiaali	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jäl- keen	Harjauksen jälkeen	Teipin jäl- keen
Z275	0	0	0	0	0	0
CRS	0	0	0	0	0	0
AI	0	0	0	0	0	0
RST	0	0	0	0	0	0

Taulukko 9. E-CLPS 1980 CA:lla esikäsiteltyjen koemateriaalien hilaristikkotestien tulokset.

E-CLPS 1980CA

	testi 1		testi 2		testi 3	
Koe- materiaali	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jäl- keen	Harjauksen jälkeen	Teipin jäl- keen
Z275	0	0	0	0	0	0
CRS	0	0	0	0	0	0
AI	0	0	0	0	0	0
RST	0	0	0	0	0	0

7.2 Irtivetokoe

Taulukossa 10 on esitetty irtivetokokeen tulokset jokaiselle koekappaletyypille. Irtivetokoe tehtiin erillisille koestamattomille koekappaleille kappaleiden maalauksen jälkeen.

Lähes jokaisen esikäsitellyn ja koemateriaalin yhdistelmä sai murtumatyyppikseen -/Y (= adheesiomurtuma liiman ja pintakerroksen välillä) tai Y/Z (= adheesiomurtuma liiman ja vetokappaleen välillä) tarkoittaen, ettei vetonuppien liimaaminen kiiltävään, tasaiseen jauhemaalipintaan onnistunut pinnan karhentamisesta ja huolellisesta puhdistamisesta huolimatta, ja että liima tarttui melko huonosti myös vetonuppiin. Vain harvassa tapauksessa maalikalvo murtui. Ainoat yhdistelmät joissa maalikalvo murtui ennen liiman tartunnan pettämistä, olivat zirkonumpohjaisella konversiopinnoitteella Candobond 551:llä esikäsitelty sinkitty teräslevy sekä zirkonumpohjaisella konversiopinnoitteella Zirca-Sil CA:lla esikäsitelty sinkitty teräslevy.

Taulukko 10. Irtivetokokeen tulokset eri konversiopinnoitteilla esikäsitellyille erilaisille koemateriaaleille.

Koemateriaali, esikäsitely	Testi nro	Vetokokeen tulos (MPa)	Murtumatyyppi
CRS, Candobond 551	1	4,34	-/Y 100%
	2	3,76	-/Y 100%
	3	3,61	-/Y 100%
	ka=	3,90	
AI, Candobond 551	1	4,63	-/Y 100%
	2	5,67	-/Y 100%
	3	7,02	-/Y 90%, Y/Z 10%
	ka=	5,78	
Z275, Candobond 551	1	2,61	A/B 90%, -/Y 10%
	2	3,76	A/B 100%
	3	2,75	A/B 90%, -/Y 10%
	ka=	3,04	
CRS, Zirca-Sil CA	1	3,18	Y/Z 100%
	2	4,78	-/Y 100%
	3	4,05	Y/Z 100%
	ka=	4,00	

AI, Zirca-Sil CA	1	5,22	-/Y 90%, Y/Z 10%
	2	4,05	-/Y 100%
	3	4,93	-/Y 100%
	ka=	4,73	
Z275, Zirca-Sil CA	1	3,18	A/B 50%, -/Y 40%, Y/Z 10%
	2	-	Liiman tartunta nuppiin ei riittävä.
	3	4,34	-/Y 70%, A/B 30%
	ka=	3,76	
RST, Zirca-Sil CA	1	5,22	-/Y 80%, Y/Z 10%, Y 10%
	2	4,49	-/Y 100%
	3	5,08	-/Y 100%
	ka=	4,93	
CRS, E-CLPS 1700CA	1	4,93	-/Y 90%, Y/Z 10%
	2	3,61	Y/Z 90%, -/Y 10%
	3	4,34	-/Y 90%, Y/Z 10%
	ka=	4,29	
AI, E-CLPS 1700CA	1	4,93	-/Y 60%, Y/Z 40%
	2	3,76	Y/Z 100%
	3	4,63	-/Y 70%, Y/Z 30%
	ka=	4,44	
Z275, E-CLPS 1700CA	1	4,19	-/Y 100%
	2	4,05	-/Y 100%
	3	4,19	-/Y 100%
	ka=	4,14	
RST, E-CLPS 1700CA	1	-	Y/Z 100%
	2	4,05	-/Y 100%
	3	4,63	-/Y 100%
	ka=	4,34	
CRS, E-CLPS 1980CA	1	3,04	Y/Z 80%, -/Y 20%
	2	2,18	Y/Z 90%, -/Y 10%
	3	4,49	-/Y 90%, Y/Z 10%
	ka=	3,24	

AI, E-CLPS 1980CA	1	4,78	-/Y 100%
	2	5,08	-/Y 100%
	3	5,97	-/Y 100%
	ka=	5,27	
Z275, E-CLPS 1980CA	1	3,76	-/Y 100%
	2	3,18	-/Y 100%
	3	4,05	Y/Z 80%, -/Y 20%
	ka=	3,66	
RST, E-CLPS 1980CA	1	4,49	-/Y 90%, Y/Z 10%
	2	4,49	-/Y 90%, Y/Z 10%
	3	3,90	-/Y 100%
	ka=	4,29	

7.3 Suolasumukoe

Koska yhdenkään koekappaleen maalikalvossa ei suolasumukokeen jälkeen ollut vaurioita tai muutoksia muualla kuin valmiiksi tehdyn viillon läheisyydessä, arvioitiin kokeen tulokset standardin SFS-EN ISO 4628-8 (Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten vaurioiden esiintymisen voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. Osa 8: Viiltoa tai muuta pinnoitteeseen tehtyä vauriota ympäröivän irtoamisen ja korroosion arviointi) mukaisesti.

Taulukoissa 11 – 14 on esitettyinä suolasumutestin tuloksista lasketut keskiarvot. Tarkemmat tulokset löytyvät liitteenä (Liite 7).

Maalikalvon irtoaminen

Irtoava maalikalvo poistettiin valmiiksi tehdyn viillon ympäriltä siihen saakka, että jäljellä oli vain alkuperäistä vastaava maalikalvo. Irtoava maalikalvo poistettiin asettamalla veitsen kärki vinottain pohjamateriaalin ja maalikalvon rajakohtaan ja painamalla.

Alumiinista ja ruostumattomasta teräksestä maalikalvo ei irronnut lainkaan tarkoittaen, ettei maalikalvon tartunta heikentynyt testin aikana näillä koemateriaaleilla. Sinkitystä teräksestä sekä kylmävalssatusta teräksestä maalikalvo irtosi jossain määrin valmiiksi tehdyn viillon ympäriltä eli maalikalvon tartunta heikkeni kokeen aikana näillä materiaaleilla. Tämä tapahtui kaikilla testatuilla konversiokäsittelyillä.

Yhdestä koekappaleesta maalikalvo irtosi kokonaan. Koekappale oli kylmävalssattua terästä käsiteltynä konversiopinnoitteella E-CLPS 1700CA ja kappaleen koestusaika oli 480h. Tämä oli kuitenkin vain yksi koekappale kolmesta eli kappaleen käsittelyssä valmistuksessa on voinut tapahtua virhe.

Korroosion eteneminen

Kuumasinkittyjen teräskoekappaleiden tapauksissa korroosion eteneminen tarkoittaa, että sinkistä syntyy valkoruostetta teräksen pinnalla. Kylmävalssatussa teräksessä oli huomattavissa värimuutoksia ja lievää syöpymistä, joten mitattiin näiden etenemistä valmiista viillosta. Alumiinissa ja ruostumattomassa teräksessä korroosio ei edennyt lainkaan. Tämä oli sama kaikilla testatuilla konversiokäsittelyillä.

Alumiinisissa koekappaleissa, jotka oli esikäsitelty konversiopinnoitteella E-CLPS 1700CA ja joiden koestusaika oli 720 h, huomattiin valmiiksi tehdyn viillon tummuneen. Korroosio ei kuitenkaan ollut edennyt.

Taulukko 11. Korroosiorasitusluokka C3-M. Suolasumukokeen tulosten keskiarvot.

Konversiopinnoite	Maalin irtoaminen, mm			Korroosion eteneminen, mm		
	Koemateriaali			Koemateriaali		
	CRS	Z275	RST	CRS	Z275	RST
Candobond 551	0,986	2,139	–	0,292	0,778	–
Zirca-Sil CA	1,903	1,306	0	0,341	0,708	0
E-CLPS 1700 CA	11,389	1,917	0	1,653	0,583	0
E-CLPS 1980CA	0,847	1,958	0	0,125	1	0

Taulukko 12. Korroosiorasitusluokka C4-M. Suolasumukokeen tulosten keskiarvot, maalin irtoaminen.

Konversiopinnoite	Maalin irtoaminen, mm			
	Koemateriaali			
	CRS	Z275	AI	RST
Candobond 551	3,056	4,056	0	–
Zirca-Sil CA	3,931	3,319	0	0
E-CLPS 1700 CA	19,542	4,194	0	0
E-CLPS 1980CA	5,403	2,986	0	0

Taulukko 13. Korroosiorasitusluokka C4-M. Suolasumukokeen tulosten keskiarvot, korroosion eteneminen.

Konversiopinnoite	Korroosion eteneminen, mm			
	Koemateriaali			
	CRS	Z275	AI	RST
Candobond 551	0,319	1,319	0	–
Zirca-Sil CA	0,542	1,722	0	0
E-CLPS 1700 CA	1,657	2,458	0	0
E-CLPS 1980CA	0,875	1,611	0	0

Taulukko 14. Korroosiorasitusluokka C5-M. Suolasumukokeen tulosten keskiarvot.

Konversiopinnoite	Maalin irtoaminen, mm		Korroosion eteneminen, mm	
	Koemateriaali		Koemateriaali	
	Z275	AI	Z275	AI
Candobond 551	–	0	–	0
Zirca-Sil CA	–	0	–	0
E-CLPS 1700 CA	–	0	–	0
E-CLPS 1980CA	6,194	0	5,833	0

8 Tulosten tarkastelu

8.1 Hilaristikkokoe

Muut käsittelyt läpäisivät hilaristikkokokeen täysin puhtain tuloksin ilman maalin irtoamista paitsi zirkoniumpohjaisilla konversiopinnoitteilla Candobond 551:llä ja Zirca-Sil CA:lla esikäsitellyt kuumasinkityt teräslevyt. Maalin hilseily näissäkin koekappaleissa oli hyvin vähäistä, alle 5% leikkausristikon alueesta.

Tämäkin maalin hieman heikompi kiinnipysyvyys on selitettävissä varmastikin sillä, että kuumasinkityt teräskoekappaleet olivat kemiallisesti passivoituja, mikä heikentää maalin tarttuvuutta metallin pintaan. Tulos olisi todennäköisesti ollut erilainen jos sinkitty pinta ei olisi ollut passivoitu.

Kaikki testatut konversiokäsittelyt pärjäsivät hyvin hilaristikkotestissä tarkoittaen, että käsittelyt parantavat huomattavasti jauhemaalintartuntaa sileään metallipintaan. Huomioon ottaen, että kuumasinkityt teräskoekappaleet olivat kemiallisesti passivoituja, konversiokäsittelyt pärjäsivät todella hyvin myös tällä metallipinnalla.

Kaikista parhaiten testissä pärjäsivät kuitenkin silaanipohjaiset konversiopinnoitteet E-CLPS 1980CA sekä E-CLPS 1700CA, joiden maalikalvo ei irronnut hilaristikkotestissä lainkaan edes kuumasinkityltä pinnalta.

8.2 Irtivetokoe

Valitettavasti irtivetokokeessa liiman tartunta petti lähes jokaisessa tapauksessa ennen maalikalvon irtoamista alustasta. Tästä päätellen käytetyn epoksiliiman tartunta kiiltävään, tasaiseen jauhemaalipintaan ei ollut riittävä pinnan karhentamisesta ja huolellisesta puhdistuksesta huolimatta. Maalikalvo irtosi ainoastaan kuumasinkityltä pinnalta joka oli esikäsitelty zirkoniumpohjaisella konversiopinnoitteella. Maalin heikompi tartunta kuumasinkittyyn pintaan voi olla selitettävissä sillä, että sinkitty pinta oli kemiallisesti passivoitu, mikä heikentää maalin tartuntaa sinkittyyn pintaan.

Kaksi testatuista konversiopinnoitteista pärjäsivät testissä todella hyvin, eikä maalikalvo irronnut mistään pohjamateriaalista. Näitä maalaus-esikäsitteilyjä olivat silaanipohjaiset konversiopinnoitteet E-CLPS 1700CA sekä E-CLPS 1980CA. Kaksi muuta maalaus-esikäsitteilyä pärjäsivät myös hyvin testissä, mutta maalikalvo irtosi sinkityltä teräspinnalta. Nämä maalaus-esikäsitteilyt olivat zirkonumpohjaiset konversiopinnoitteet Candobond 551 sekä Zirca-Sil CA.

Tulos zirkonumpohjaisille konversiopinnoitteille olisi voinut olla toinen, jos kuumasinkityt koekappaleet eivät olisi olleet kemiallisesti passivoituja. Sinkkipinnan passivointi heikentää maalin tartuntaa sen pintaan.

8.3 Suolasumukoe

Alumiini- ja ruostumattomat teräskoekappaleet pärjäsivät suolasumukokeessa parhaiten. Yhdestäkään testatuilla konversiopinnoitteilla käsitellystä alumiinisesta tai ruostumattomasta teräksisestä koekappaleesta ei irronnut maali eikä korrosio ollut edennyt niihin tehdystä viillosta. Testatuissa konversiokäsittelyissä ei siis näiden tulosten osalta ollut eroja.

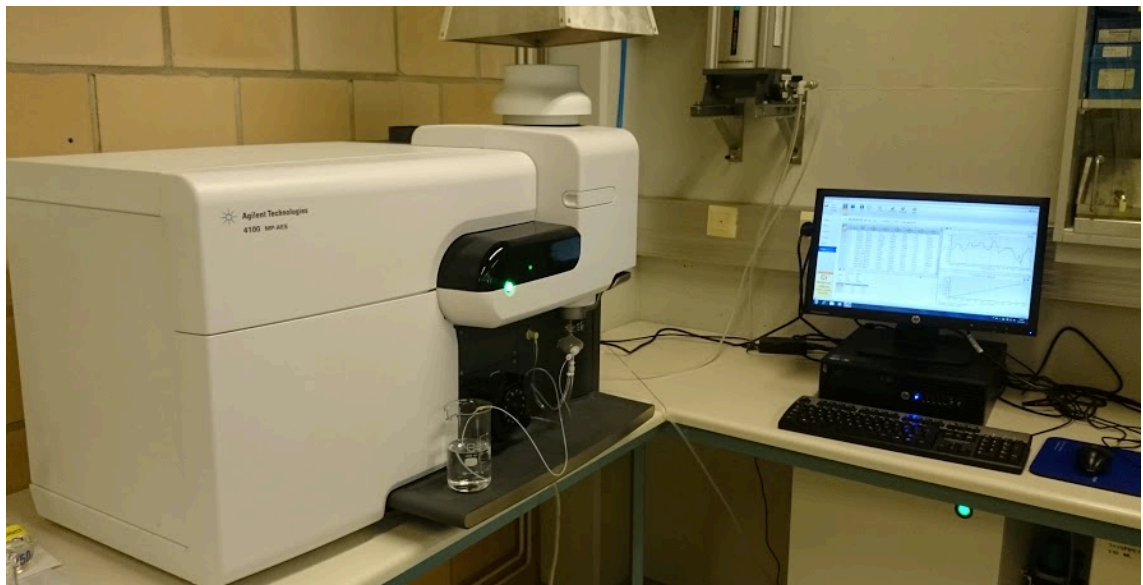
Alumiinilla sekä ruostumattomalla teräksellä oli valmiiksi jo hyvä korroosionkestävyys, jota konversiokäsittelyt mahdollisesti vielä paransivat.

Kuumasinkittyjen ja kylmävalssattujen teräskoekappaleiden suolasumukokeen tulosten perusteella ei erottunut selvästi parasta konversiopinnoitetta näille metallipinnoille. Huomattiin kuitenkin, ettei silaanipohjainen konversiokäsittely E-CLPS 1700 CA soveltunut yhtä hyvin kylmävalssatulle teräspinnalle kuin muut testatut käsittelyt. Maalikalvon tarttuvuuden todettiin heikentyneen korroosiorasituksen aikana E-CLPS 1700 CA:lla käsitellyissä kylmävalssatuissa teräskoekappaleissa huomattavasti enemmän kuin muilla konversiopinnoitteilla käsitellyissä kylmävalssatuilla teräskoekappaleissa. Todettiin myös zirkonumpohjaisen Zirca-Sil CA konversiokäsittelyn sekä silaanipohjaisen E-CLPS 1980CA konversiokäsittelyn pärjänneen testissä hieman muita käsittelyjä paremmin kuumasinkityllä teräspinnalla. Ero ei kuitenkaan ollut huomattava.

9 Kylpyanalyysit ja niiden tulokset

9.1 Analyysimenetelmä

Käsittelykylvyt analysoitiin niiden asianmukaista hävittämistä varten Agilent MP-AES 4100 -laitteella. Analyysi suoritettiin plasmaemissiomenetelmällä. Menetelmässä näyte-liuos sumutetaan korkealämpötilaplasmaan (6000 – 9000 K), jolloin yhdisteet hajoavat ja atomit virittyvät. Viritystilan purkautuessa atomit lähettävät alkuaineelle tunnusomais- ta säteilyä. Menetelmä soveltuu lähes kaikkien alkuaineiden määrittämiseen. Havaitsemisrajat ovat 2 – 10 kertaa pienempiä kuin AAS:llä. Analysoinnissa käytetty laite on kuvassa 12.

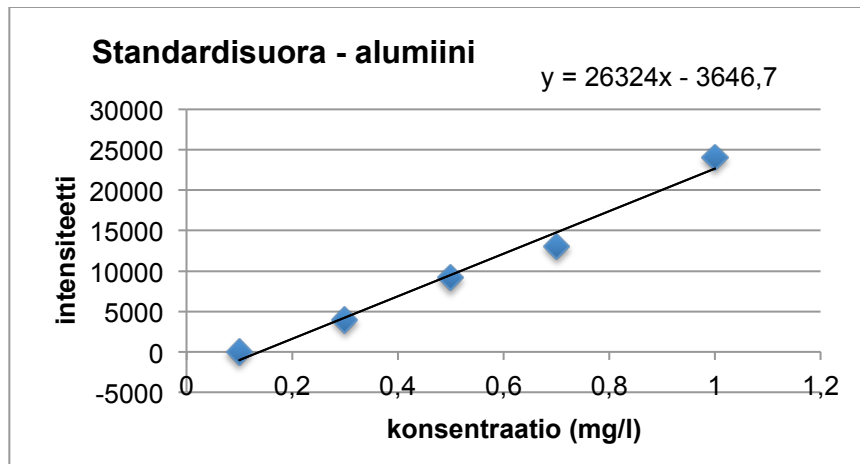


Kuva 12. Agilent MP-AES 4100.

9.2 Standardisuorat

Kylpyihin liuenneiden metallien määrät määritettiin seuraavien suorien kuvaajien avulla. Kuvissa 13 – 15 on esitettyinä standardisuorat alumiinille, sinkille ja raudalle. Standardisuorat saatiin valmistamalla 5 standardiliuosta, joiden konsentraatio tiedetään ja analysoimalla liuokset plasmaemissiomenetelmällä sekä syöttämällä tulokset Excelliin.

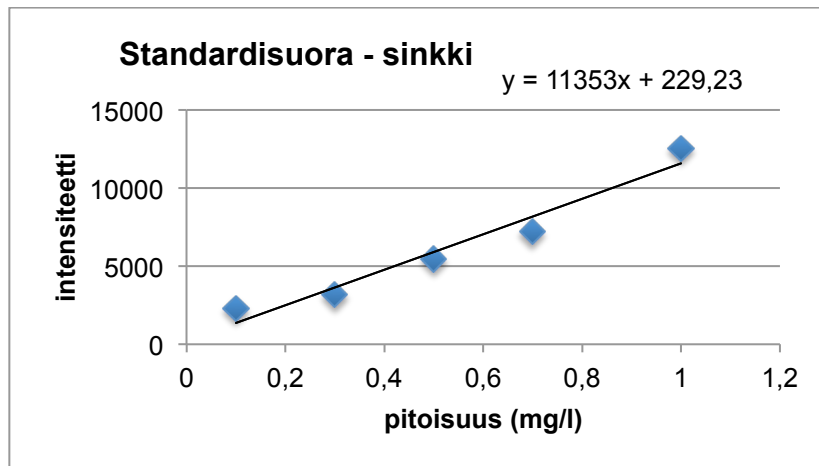
Alumiini



Kuva 13. Alumiinin standardisuora.

Alumiinia löytyi liuenneena Candobond 551 –kylpyyn 0,67 mg/l. Alumiini oli liennut kylpyyn alumiinikoekappaleista. Muissa kylvyissä pitoisuudet olivat niin pieniä, ettei niitä huomioitu.

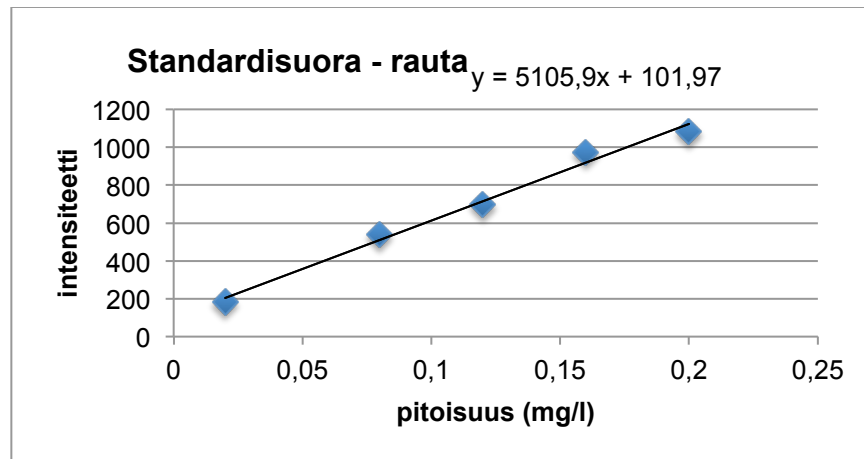
Sinkki



Kuva 14. Sinkin standardisuora.

Sinkkiä löytyi Zirca-Sil CA –kylvystä 0,43 mg/l ja Candobond 551 –kylvystä 1,227 mg/l. Sinkki oli liennut kylpyihin kuumasinkityistä koekappaleista. Muissa kylvyissä sinkkipitoisuudet olivat niin pieniä, ettei niitä huomioitu.

Rauta



Kuva 15. Raudan standardisuora.

Rautaa löytyi liuenneena E-CLPS 1980 CA –kylpyyn, E-CLPS 1700 CA –kylpyyn ja Zirca-Sil CA –kylpyyn. Taulukossa 15 on esitettyinä kylpyihin liuenneet rautapitoisuudet.

Taulukko 15. Kylpyihin liunneen raudan määrät

käsittelykylpy	liunneen raudan määrä (mg/l)
E-CLPS 1980 CA	0,039
E-CLPS 1700 CA	0,117
Zirca-Sil CA	0,327

Rautaa oli liunnut kylpyihin mm. koekappaleista.

9.3 Jätteiden käsittely

Käsittelykylpyihin liunneiden metallien pitoisuus ei ylittänyt HSY :n antamia pitoisuusrajoja. Kylvyt saa siis hävittää johtamalla ne viemäriin, kunhan viemäriin johdettavan liuoksen pH –arvo pysyy välillä 6 – 11.

10 Johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin erilaisten zirkonium- ja silaanipohjaisten konversiopinnoitteiden paremmuutta maalauskesittelyinä erilaisilla metallipinnoilla. Erilaisia metallipintoja olivat kylmävalssattu teräs, kuumasinkitty teräs, alumiini sekä ruostumaton teräs. Testattavia konversiopinnoitteita oli neljä: kaksi zirkoniumpohjaista konversiopinnoitetta Candobond 551 ja Zirca-Sil CA sekä kaksi silaanipohjaista konversiopinnoitetta E-CLPS 1700CA ja E-CLPS 1980CA. Kaikki koekappaleet maalattiin samalla jauhemaalilla.

Maalin tartunta oli erinomaista pohjamateriaalista riippumatta jokaisella konversiokäsittelyllä. Poikkeavia tuloksia saatiin hilaristikkotestissä vain zirkoniumpohjaisilla konversiokäsittelyillä, jossa niilläkin maalin irtoaminen testissä oli hyvin vähäistä. Maalin irtoaminen tapahtui pelkästään kuumasinkityllä teräspinnalla. Vastaava tulos saatiin myös irtivetokokeessa.

Suolasumutestissä testatut konversiopinnoitteet pärjäsivät parhaiten alumiini- ja ruostumattomalla teräspinnalla. Näillä konversiokäsittelyillä pinnoilla ei ollut huomattavissa vähäistäkään maalikalvon heikkenemistä tai korroosiota muualla kuin valmiiksi tehdystä viillossa. Kaikki testatut konversiokäsittelyt soveltuvat siis erinomaisesti maalauskesittelyiksi alumiini- ja ruostumattomille teräspinnoille.

Suolasumutestin tulosten perusteella pystyttiin päättelemään, ettei silaanipohjainen konversiopinnoite E-CLPS 1700CA antanut yhtä hyvää korroosiosuojaa kylmävalssatulle teräkselle kuin muut testatut konversiokäsittelyt. Huomattiin myös zirkoniumpohjaisen Zirca-Sil CA sekä silaanipohjaisen E-CLPS 1980CA konversiopinnoitteiden soveltuvan parhaiten kuumasinkitylle teräspinnalle maalauskesittelyiksi, mutta kaksi muutakin konversiopinnoitetta Candobond 551 sekä E-CLPS 1700CA soveltuvat sinkitylle pinnalle kuitenkin myös hyvin.

Tulokset olivat hyvin tasaisia, eikä testattuja konversiokäsittelyjä pysty selkeästi asettamaan paremmuusjärjestykseen. Jauhemaalikalvolle saadaan erinomainen tartunta alumiinipintaan sekä kylmävalssattuun- ja ruostumattomaan teräspintaan kaikilla testatuilla konversiopinnoitteilla. Paras tartunta maalille passivoituun kuumasinkityyn teräs-

pintaan saadaan silaanipohjaisilla konversiopinnoilla E-CLPS 1700CA:lla sekä E-CLPS 1980CA:lla.

Kaikki konversiokäsittelyt säilyttävät korroosiorasituksessa maalille antamansa erinomaisen tartuntakyvyn sekä pohjamateriaalille antamansa korroosiosuojan parhaiten alumiini- ja ruostumattomilla teräspinnoilla. Kylmävalssatulle teräspinnalle soveltuvat maalausesikäsittelyksi korroosiorasituksessa paremmin muut kolme konversiopinnoitetta kuin silaanipohjainen E-CLPS 1700CA. Kaikki testatut konversiokäsittelyt soveltuvat hyvin maalausesikäsittelyksi passivoidulle sinkitylle teräspinnalle korroosiorasitukseen.

Lähteet

- 1 Tunturi, Pirjo, Tunturi, Pekka. 1999. Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt. Metalliteollisuuden keskusliitto, MET - julkaisusarja nro 3/1999. 3. painos. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- 2 Aluminum. Los Alamos National Laboratory. Verkkodokumentti.

<<http://periodic.lanl.gov/13.shtml>> Luettu 20.2.2015.
- 3 Jokinen, Isto, Kuusela, Asko, Nikkari, Tapani. 2012. Pinnalla 2 – Metallituotteiden maalaus. Opetushallitus – 2., uudistettu painos. Tekijät ja Opetushallitus.
- 4 Tampereen Teknillinen Yliopisto. Verkkodokumentti.

<http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_1.php> Luettu 21.2.2015.
- 5 Dr J. F. Hughes, 1984. Electrostatic Powder Coating. Research Studies Press Ltd. John Wiley & Sons Inc. - Research Studies Press Ltd.
- 6 Kunnossapitoyhdistys ry. 2006. Korroosiokäsikirja. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 12. 3. painos, tammikuu 2006. – KP-Media Oy.
- 7 Leino, Tapio, Häkkä-Rönholm, Eva, Nieminen, Jyri, Koukkari, Heli, Hieta, Jouni, Vesikari, Erkki, Törnqvist, Jouko, VTT. Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu. 1998. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT). Verkkodokumentti.

<<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1937.pdf>> Luettu 26.3.2015.
- 8 Finnblast. Verkkodokumentti.

<http://www.finnblast.fi/wp-content/uploads/Finnblast_Pintojen_puhtaus_5_2014.pdf> Luettu 27.3.2015
- 9 Teräsrakenneyhdistys, TRY. Maalaus korroosionestomenetelmänä. Verkkodokumentti. Luettu 27.3.2015
- 10 Tikkurila. Verkkodokumentti.

<http://www.tikkurila.fi/files/5017/Metallipintojen_teollinen_maalaus_2009.pdf> Luettu 2.4.2015

- 11 Jokinen, Isto – Opetushallitus. 2012. Jauhemaalaus. Verkkodokumentti.

<<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalaus/osa5.pdf>> Luettu
2.4.2015
- 12 Standardi SFS-EN ISO 2409 (Maalit ja lakat. Hilaristikkokoe.)

Esikäsitteilykylpyjen tuotetiedot

Rasvanpoistokylpy Candoclene 915

Candoclene 915 on erittäin tehokas alkalinen rasvanpoistokylpy kaikille metallituotteille. Kylpy on hieman syövyttävä alumiinille, erityisesti korkeissa lämpötiloissa. Candoclene 915 rasvanpoistokylpyä käytetään ensisijaisesti esirasvanpoistossa. Sitä voidaan käyttää myös sähköpesuna, kun siihen lisätään natriumhydroksidia. Tällöin prosessia voidaan ajaa joko anodisesti tai katodisesti. Candoclene 915 rasvanpoistokylpyä voidaan käyttää myös yhdessä ultraäänien kanssa. Candoclene 915 ei sisällä nonyyliifenolietoksilaaattia eikä mitään muitakaan vaikeasti hajoavia tensidejä. Tuotteessa ei ole myöskään kompleksinmuodostajia, jotka voisivat olla haitallisia jätevesien puhdistusprosesseille. Candoclene 915 sopii esirasvanpoistoon ennen metallipinnoitusta, fosfointia, maalausta, sekä tuotteiden rasvanpoistoon eri työvaiheiden välillä. Candoclene 915 sietää suuria epäpuhtauspitoisuuksia ja sillä on voimakas emulgointikyky. Candoclene 915 kylpyä ylläpidetään säännöllisin lisäyksin, jotka perustuvat kylvyille suoritettuihin analyyseihin ja käyttäjän kokemukseen.

Candoclene 915 pitoisuus kylvyssä tarkistetaan titraamalla. Mitataan 20 ml kylpynäyte ja laimennetaan 100 ml ionivaihdetulla vedellä. Lisätään muutama tippa metyylioranssi-indikaattoria ja titrataan 1 N suolahapolla keltaisesta oranssiin värisävyyn. Candoclene 915 pitoisuus saadaan laskemalla se suolahapon kulutuksesta.

Candoclene 915 pitoisuuden tulisi olla välillä 20...70 g/l ja käyttölämpötilan 40...75°C. Käsittelyaika on välillä 1 - 10 min.

Reaktiotuotepinnoite Zirca-Sil CA

Zirca-Sil CA on kromi- ja fosfaattivapaa maalausesikäsitteily kasto- tai suihkulinjoille. Käsitteily vaatii vähintään yhden jälkihuhtelun. Zirca-Sil CA reaktiotuotepinnoite on tarkoitettu alumiinille, teräkselle ja sinkkiseoksille. Tuote ei sisällä raskasmetalleja eikä myrkyllisiä orgaanisia yhdisteitä. Zirca-Sil CA reaktiotuotepinnoitetta voidaan käyttää ED-lakan, märkä- ja pulverimaalin esikäsitteilynä lisäämään korroosiosuojaa maalikerroksen alla.

Zirca-Sil CA esikäsitteily suoritetaan seuraavasti: 1 rasvanpoisto, 3 huuhtelua, reaktiotuote Zirca-Sil CA ja 1 jälkihuhtelu. Tämän jälkeen kuivaus puhtaalla ilmalla. Esikäsitteilyn jälkeen kappaleet maalataan.

Rasvanpoistokylpynä toimii Candoclene 915. Kaksi ensimmäistä huuhtelua ovat vesijohtovettä, kolmas ja jälkihuhtelu ionivaihdettua vettä. Huuhteluita seurataan päivittäin ja vaihdetaan tarvittaessa. Zirca-Sil CA prosessin ylläpito pohjautuu tehtyihin kylpyanalyysiin, sekä pH ja johtokyky mittauksiin. Näitä seurataan päivittäin.

Zirca-Sil CA -pitoisuus käsitteilykylvyssä määritetään seuraavalla analyysillä: Lisätään 100 ml kylpyliuosta 6-8 tippaa fenolftaleiini-indikaattoria ja titrataan 0,1 N natriumhydroksidiliuoksella, kunnes liuoksen väri muuttuu läpinäkyvästä punertavaan. Pitoisuuden tulisi olla välillä 20 - 40 ml/l ja käsitteilylämpötilan 16 – 40 °C. Käsitteilyaika on 16 – 60 s suihkukäsittelyssä ja kastokäsittelyssä 1 – 5 min.

Kylvyn sähkönjohtavuus on suoraan verrannollinen Zirca-Sil CA pitoisuuteen. Kylvyn pH-arvoa seurataan päivittäin ja sen mittaaminen tapahtuu pH-mittauslaitteella. pH-arvon tulisi olla välillä 4,4 - 5,0. Kylvyn pH-arvoa voidaan säätää Neutralizer 10:llä.

Reaktiotuotepinnoite E-CLPS 1700CA

E-CLPS 1700CA on silaanipohjainen kromi- ja fosfaattivapaa reaktiotuotepinnoite. Se on tarkoitettu alumiinille, teräkselle, kuparille ja sinkkiseoksille. E-CLPS 1700CA muodostaa lähes läpinäkyvän, kirkkaan filmin pinnoitettavalle pinnalle, joka soveltuu erinomaisesti maalausalustaksi. Sitä voidaan käyttää sekä ruisku- että kastoprosessissa. E-CLPS 1700CA voidaan käyttää myös sinkki- ja rautafosfatoinnin jälkitiivistyksenä, kun halutaan korkeampaa korroosiosuojaa.

E-CLPS 1700CA prosessin kulku: 1 rasvanpoisto, 3 huuhtelua, reaktiopinnoite E-CLPS 1700CA ja kuivaus. Esikäsitteilyn jälkeen kappaleet maalataan.

Rasvanpoistokylpynä toimii Candoclene 915. Kaksi ensimmäistä huuhtelua ovat vesi-johtovettä ja kolmas ionivaihdettua vettä. Huuhteluita seurataan päivittäin ja ne vaihdetaan tarvittaessa. E-CLPS 1700CA prosessin ylläpito pohjautuu tehtyihin kylpyanalyysihin, sekä pH ja johtokykymittauksiin. Näitä seurataan päivittäin.

E-CLPS 1700CA -pitoisuus määritetään seuraavalla analyysillä: Lisätään 100 ml kylpyliuosta 10 - 12 tippaa bromikresolivihreää indikaattoria ja titrataan 0,1 N suolahapolla, kunnes väri muuttuu sinisestä keltaiseksi. Lasketaan pitoisuus saadun suolahapon kulutuksen avulla. Pitoisuuden tulisi olla välillä 20 - 40 ml/l.

Käsittelylämpötila on oltava välillä 16 - 40 °C. Käsittelyaika ruiskukäsittelyssä on 1 – 40 s ja kastokäsittelyssä 30 s – 5 min. Kylvyn pH tulisi olla välillä 7,5 - 8,5. pH-arvoa seurataan päivittäin ja sen mittaaminen tapahtuu pH-mittauslaitteella. Kylvyn johtokyky on suoraan verrannollinen E-CLPS 1700CA -pitoisuuteen.

Reaktiotuotepinnoite E-CLPS 1980CA

E-CLPS 1980CA on silaanipohjainen fosfaatti- ja kromivapaa reaktiotuotepinnoite, joka soveltuu maalaus-esikäsitteilyksi alumiinille, magnesiumille, teräkselle, kuparille ja sinkkiseoksille. Tuotetta voidaan käyttää yksivaiheisena prosessina, tai rauta- ja sinkkifosfattoinnin tiivistyksessä, tapauksissa joissa on erittäin kova vaatimustaso. E-CLPS 1980CA muodostaa lähes läpinäkyvän kirkkaan filmin kappaleen pinnalle. Käsitteilyä voidaan käyttää sekä ruisku- että kastoprosessina.

E-CLPS 1980CA prosessin kulku: 1 rasvanpoisto, 3 huuhtelua, reaktiopinnoite E-CLPS 1980CA, jonka jälkeen kuivaus puhtaalla ilmalla. Esikäsitteilyn jälkeen kappaleet maalaetaan.

Rasvanpoistokylpynä toimii Candoclene 915. Kaksi ensimmäistä huuhtelua ovat vesijohdotesiä ja kolmas ionivaihdettua vettä. Huuhteluita seurataan päivittäin ja ne vaihdetaan tarvittaessa. E-CLPS 1980CA prosessin ylläpito pohjautuu tehtyihin analyyseihin, sekä pH ja johtokyky mittauksiin. Näitä seurataan päivittäin.

Käsitteilykylvyn E-CLPS 1980CA -pitoisuus määritetään seuraavalla analyysillä: Lisätään 100 ml kylpyliuosta 10 - 12 tippaa bromikresolivihreää indikaattoria ja titrataan 0,1 N suolahapolla, kunnes väri muuttuu sinisestä keltaiseksi. Suolahapon kulutuksen avulla saadaan laskettua kylvyn E-CLPS 1980CA pitoisuus. Pitoisuuden tulisi olla välillä 20 - 40 ml/l.

Käsitteilyaika ruiskukäsitteilyssä on 20 – 40 s ja kastokäsitteilyssä 2 – 5 min. Käsitteilylämpötilan tulisi olla välillä 16 - 40 °C. Kylvyn pH tulisi olla välillä 5,2 – 6,7. pH-arvoa seurataan päivittäin ja sen mittaaminen tapahtuu pH-mittauslaitteella. Kylvyn johtokyky on suoraan verrannollinen sen E-CLPS 1980 CA -pitoisuuteen.

Reaktiotuotepinnoite Candobond 551

Candobond 551 on zirkoniumpohjainen reaktiotuotepinnoite, joka on tarkoitettu maalausesikäsitteeksi alumiini-, teräs- ja sinkkipinnoille. Yhdistettynä Canfos Wetter 840 kanssa Candobond 551 soveltuu pesulinjaan ainoaksi käsitteeksi. Sitä voidaan käyttää myös suihkukäsitteilynä.

Candobond 551 esikäsitteily tapahtuu seuraavasti: Candobond 551 reaktiopinnoite, 3 huuhtelua ja kuivaus puhtaalla ilmalla. Candobond 551 ei tarvitse erillistä rasvanpoistoa, kun sitä käytetään yhdessä Canfos Wetter 840 kanssa. Käsitteilyn jälkeen kappaleet maalataan. Kaksi ensimmäistä huuhtelua ovat vesijohtovettä ja viimeinen huuhtelu ionivaihdettua vettä. Huuhteluita seurataan päivittäin ja ne vaihdetaan tarvittaessa. Candobond 551 prosessin ylläpito pohjautuu tehtyihin kylpyanalyysihin, joita seurataan myös päivittäin.

Candobond 551 pitoisuuden määrittäminen kylvyssä tapahtuu seuraavasti: 20 ml kylpyliuosta lisätään 4 – 6 tippaa fenoliftaleiini indikaattoria ja titrataan 0,1 N natriumhydroksidilla, kunnes väri muuttuu pysyvän vaaleanpunaiseksi. Pitoisuuden tulisi olla noin 50 ml/l. Canfos Wetter 840 pitoisuus kylvyssä tulisi olla noin 10 ml/l.

Käsitteilyaika on noin 5 min ja liuoksen pH tulisi olla välillä 3,8 - 5,0. pH säädetään Neutralizer 10:llä.

Jauhemaalain tuotetiedot

Infralit PE 8339 on polyesterihartsin perustuva jauhemaal, joka erikoiskovetteensa ansiosta on TGIC-vapaa. Korotetussa lämpötilassa jauhe sulaa ja verkkoutuu muodostaen lopullisen maalikalvon. Tuote soveltuu käytettäväksi kohteissa, joissa vaaditaan hyvää säänkestävyyttä. Infralit PE 8339 soveltuu erityisesti alumiinirakenteisiin.

Jauhemaalattut kappaleet poltetaan 10 min ajan 180 °C :n lämpötilassa. Suositeltava kalvonpaksuus on 60 – 100 µm.

Suolasumukokeen tulokset

Maalikalvon irtoaminen

Taulukoissa 1 – 15 on esitettyinä testattujen maalauskeskittelyiden suolasumukokeen tulokset maalikalvon irtoamisen osalta.

Taulukko 1. Candobond 551:llä käsiteltyjen kylmävalssattujen teräskoekappaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen viillosta.

Korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	CRS - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	3,58	3,5	1,83
	d (mm)	1,29	1,25	0,42
ka=		0,986		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	7,58	8,17	5,58
	d (mm)	3,29	3,58	2,29
ka=		3,056		

Taulukko 2. Candobond 551:llä käsiteltyjen kuumasinkittyjen teräskoekappaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

Korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	Z275 - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	3,03	6,53	6,27
	d (mm)	1,02	2,77	2,63
ka=		2,139		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	8,08	9,67	9,58
	d (mm)	3,54	4,33	4,29
ka=		4,056		

Taulukko 3. Candobond 551:llä käsiteltujen alumiinikoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

Korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	Al - koelevyn nro		
		1	2	3
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C5-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 4. Zirca-Sil CA:lla esikäsiteltujen kylmävalssattujen teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

Korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	CRS - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	5,75	3,17	5,5
	d (mm)	2,38	1,08	2,25
ka=		1,903		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	9	11,42	6,17
	d (mm)	4	5,21	2,58
ka=		3,931		

Taulukko 5. Zirca-Sil CA:lla esikäsiteltyjen kuumasinkittyjen teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

Korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	Z275 - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	5,00	1,83	4,00
	d (mm)	2,00	0,42	1,50
ka=		1,306		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	6,83	7,83	8,25
	d (mm)	2,92	3,42	3,63
ka=		3,319		

Taulukko 6. Zirca-Sil CA:lla esikäsiteltyjen alumiinikoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

Korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	Al - koelevyn nro		
		1	2	3
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C5-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 7. Zirca-Sil CA:lla esikäsiteltyjen ruostumattomien teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

Korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	RST - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 8. E-CLPS 1700CA:lla esikäsiteltyjen kylmävalssattujen teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

Korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	CRS - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	22,42	21,50	27,42
	d (mm)	10,71	10,25	13,21
ka=		11,389		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	Maali irtosi kokonaan	41,17	39,00
	d (mm)		20,08	19,00
ka=		19,542		

Taulukko 9. E-CLPS 1700CA:lla esikäsiteltyjen kuumasinkittyjen teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	Z275 - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	4,58	5,58	4,33
	d (mm)	1,79	2,29	1,67
ka=		1,917		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	10,25	9,33	8,58
	d (mm)	4,63	4,17	3,79
ka=		4,194		

Taulukko 10. E-CLPS 1700CA:lla esikäsiteltyjen alumiinikoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	Al - koelevyn nro		
		1	2	3
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C5-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 11. E-CLPS 1700CA:lla esikäsiteltyjen ruostumattomien teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	RST - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 12. E-CLPS 1980CA:lla esikäsiteltyjen kylmävalssattujen teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	CRS - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	1,25	2,25	4,58
	d (mm)	0,13	0,63	1,79
ka=		0,847		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	8,50	15,33	11,58
	d (mm)	3,75	7,17	5,29
ka=		5,403		

Taulukko 13. E-CLPS 1980CA:lla esikäsiteltyjen kuumasinkittyjen teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	Z275 - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	4,83	5,00	4,92
	d (mm)	1,92	2,00	1,96
ka=		1,958		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	5,25	9,25	6,42
	d (mm)	2,13	4,13	2,71
ka=		2,986		
C5-M	d ₁ , ka (mm)	12,00	15,58	12,58
	d (mm)	5,50	7,29	5,79
ka=		6,194		

Taulukko 14. E-CLPS 1980CA:lla esikäsiteltyjen alumiinikoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	Al - koelevyn nro		
		1	2	3
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C5-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 15. E-CLPS 1980CA:lla esikäsiteltyjen ruostumattomien teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Maalikalvon irtoaminen.

korroosio- rasitusluokka	Maalikalvon irtoaminen	RST - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Korroosion eteneminen

Taulukoissa 16 – 30 on esitelty testattujen maalaus-esikäsitteilyiden suolasumukokeen tulokset korroosion etenemisen osalta.

Taulukko 16. Candobond 551:llä käsiteltyjen kylmävalssattujen teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

Korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	CRS - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	1,67	1,58	1,50
	d (mm)	0,33	0,29	0,25
ka=		0,292		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	1,25	1,75	1,92
	d (mm)	0,13	0,38	0,46
ka=		0,319		

Taulukko 17. Candobond 551:llä käsiteltujen kuumasinkittyjen teräskoekappaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

Korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	Z275 - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	2,25	2,83	2,58
	d (mm)	0,63	0,92	0,79
ka=		0,778		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	2,92	4,75	3,25
	d (mm)	0,96	1,88	1,13
ka=		1,319		

Taulukko 18. Candobond 551:llä käsiteltujen alumiinikoekappaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

Korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	Al - koelevyn nro		
		1	2	3
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C5-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 19. Zirca Sil CA:lla esikäsiteltyjen kylmävalssattujen teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

Korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	CRS - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	1,75	1,83	2,00
	d (mm)	0,38	0,42	0,50
ka=		0,431		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	2,08	2,58	1,58
	d (mm)	0,54	0,79	0,29
ka=		0,542		

Taulukko 20. Zirca-Sil CA:lla esikäsiteltyjen kuumasinkittyjen teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

Korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	Z275 - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	3,00	1,83	2,42
	d (mm)	1,00	0,42	0,71
ka=		0,708		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	4,00	4,75	4,58
	d (mm)	1,50	1,88	1,79
ka=		1,722		

Taulukko 21. Zirca-Sil CA:lla esikäsiteltyjen alumiinikoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

Korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	Al - koelevyn nro		
		1	2	3
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C5-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 22. Zirca-Sil CA:lla esikäsiteltyjen ruostumattomien teräskoelempaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

Korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	RST - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 23. E-CLPS 1700CA:lla esikäsiteltyjen kylmävalssattujen teräskoekappaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

Korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	CRS - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	4,75	2,75	5,42
	d (mm)	1,88	0,88	2,21
ka=		1,657		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	2,75	3,67	6,50
	d (mm)	0,88	1,33	2,75
ka=		1,653		

Taulukko 24. E-CLPS 1700CA:lla esikäsiteltyjen kuumasinkittyjen teräskoekappaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	Z275 - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	2,00	2,67	1,83
	d (mm)	0,50	0,83	0,42
ka=		0,583		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	6,92	5,42	5,42
	d (mm)	2,96	2,21	2,21
ka=		2,458		

Taulukko 25. E-CLPS 1700CA:lla esikäsiteltyjen alumiinikoelempien suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	AI - koelempin nro		
		1	2	3
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C5-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 26. E-CLPS 1700CA:lla esikäsiteltyjen ruostumattomien teräskoelempien suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	RST - koelempin nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

Taulukko 27. E-CLPS 1980CA:lla esikäsiteltyjen kylmävalssattujen teräskoekappaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	CRS - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	1,17	1,33	1,25
	d (mm)	0,08	0,17	0,13
ka=		0,125		
C4-M	d ₁ , ka (mm)	2,33	2,75	3,17
	d (mm)	0,67	0,88	1,08
ka=		0,875		

Taulukko 28. E-CLPS 1980CA:lla esikäsiteltyjen kuumasinkittyjen teräskoekappaleiden suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	Z275 - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	3,08	3,00	2,92
	d (mm)	1,04	1,00	0,96
ka=		1,0		
C4-M	d ₁ , ka (Mpa)	3,33	5,42	3,92
	d (mm)	1,17	2,21	1,46
ka=		1,611		
C5-M	d ₁ , ka (Mpa)	12,00	14,33	11,67
	d (mm)	5,50	6,67	5,33
ka=		5,833		

Taulukko 29. E-CLPS 1980CA:lla esikäsiteltyjen alumiinikoelempien suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	Al - koelevyn nro		
		1	2	3
C4-M	d ₁ , ka (Mpa)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C5-M	d ₁ , ka (Mpa)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

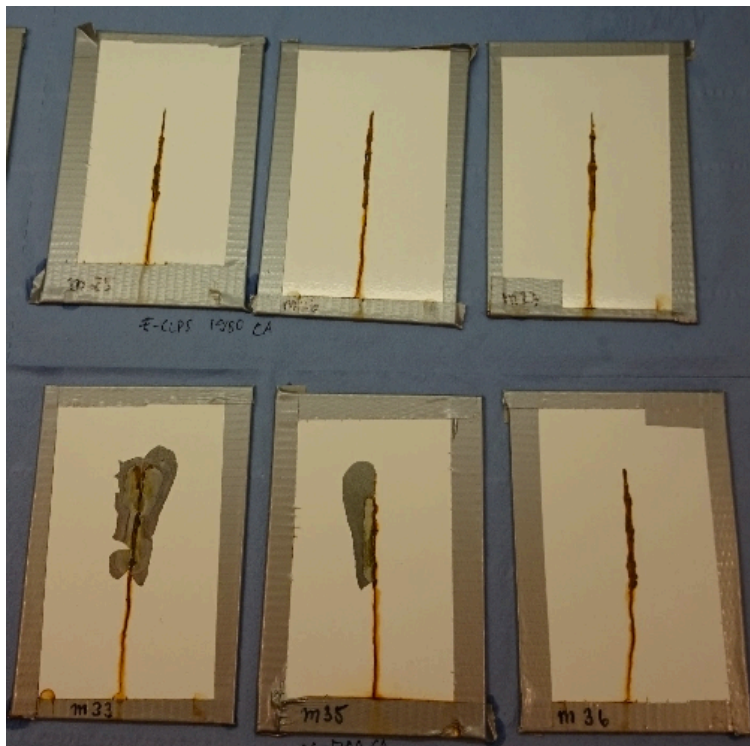
Taulukko 30. E-CLPS 1980CA:lla esikäsiteltyjen ruostumattomien teräskoelempien suolasumukokeen tulokset. Korroosion eteneminen.

korroosio- rasitusluokka	Korroosion eteneminen	RST - koelevyn nro		
		1	2	3
C3-M	d ₁ , ka (mm)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		
C4-M	d ₁ , ka (Mpa)	0	0	0
	d (mm)	0	0	0
ka=		0		

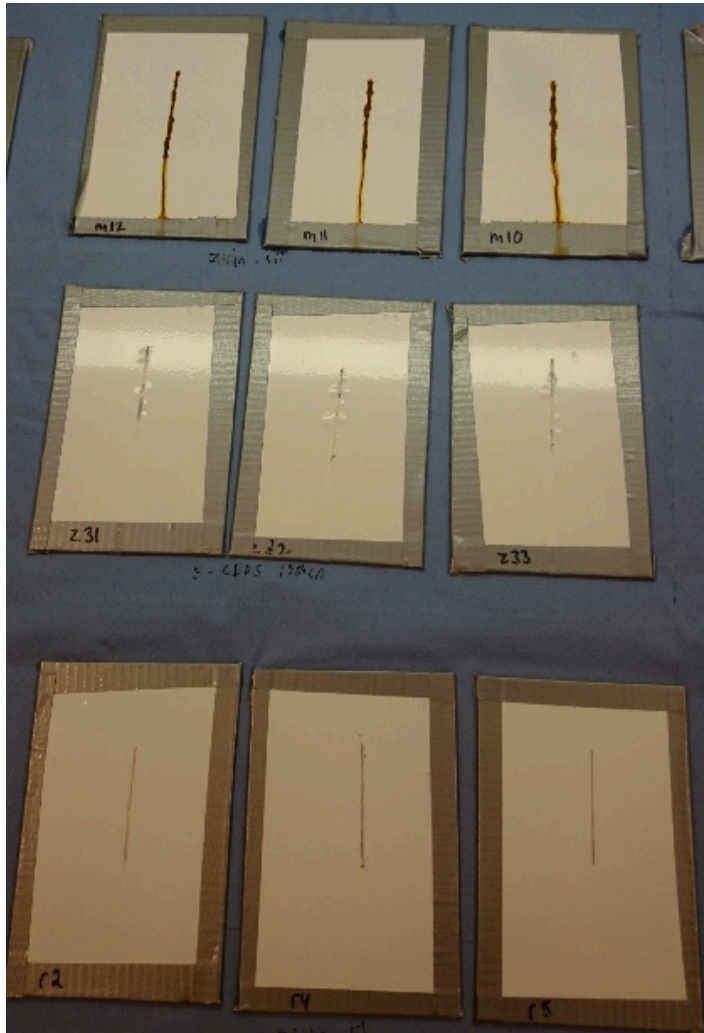
Kuvia koepaloista



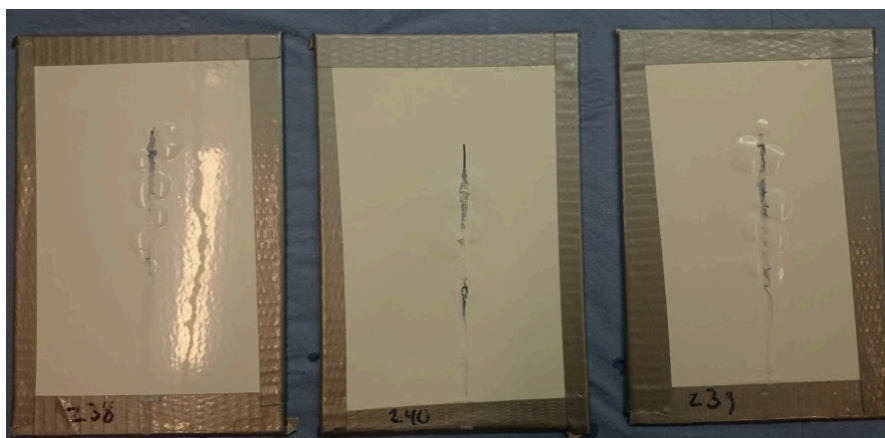
Kuva 1. Koekappaleissa oli havaittavissa eroja korroosiorasituksen jälkeen.



Kuva 2. Kylmävalssattuja teräskoekappaleita korroosiorasituksen jälkeen.



Kuva 3. Koekappaleita korroosiorasituksen jälkeen. Ylimpänä kylmävalssattua terästä, keskimäiset kuumasinkittyä terästä ja alimmat ruostumatonta terästä.



Kuva 4. Kuumasinkittyä teräskoekappaleita korroosiorasituksen jälkeen.



Kuva 5. Koekappaleet suolasumukokeessa. Välitarkastus.