



TEKNINEN RAPORTTI

INOX CORRO™ elektrolyttisesti kiillotetun EN 1.4404/316L ruostumattoman teräksen pinnan ominaisuudet ja pistekorroosionkestävyys



Versio	Tila	Pvm	Tekijä	Muutos	Katselmointi Pvm
2.0	Hyväksytty	14.8.2019	Heidi Kalliosalo	Katselmoitu	14.8.2019
1.1	Muutettu	13.8.2019	Raimo Ruoppa	Muutoksia sivun 16 tekstiin ja lähteisiin	
1.0	Hyväksytty	27.6.2019	Rauno Toppila	Katselmoitu	27.6.2019
1.0	Hyväksytty	26.6.2019	Heidi Kalliosalo	Katselmoitu	26.6.2019
0.2	Luonnos	26.6.2019	Raimo Ruoppa	Korjauksia	
0.1	Luonnos	13.6.2019	Raimo Ruoppa		

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin elektrolyytisesti kiillotetun 1.4404 teräksen pinnan ominaisuuksia ja korroosionkestävyyttä. Kiillotusmenetelmänä käytettiin erilaisia INOX CORRO™ elektrolyyttikiillotuskäsittelyitä. Terästen pinnan koostumusprofiilia tutkittiin GD-OES analyysillä. Terästen korroosionkestävyyttä tukittiin olosuhdekaappitesteillä sekä määrittämällä ns. kriittinen pistekorroosionmuodostumislämpötila CPT-kokeilla. Tulosten perusteella kaikissa elektrolyytisesti kiillotetuissa pinnoissa havaittiin kromin rikastumista. INOX CORRO™ 16.0 elektrolyytisesti kiillotetun kappaleen laskennallinen pistekorroosionkestävyys, eli PRE – arvo nousee käsittelyn ansiosta keskimäärin n. 20 %. Samalla menetelmällä tehdyn elektrolyyttikiillotuskäsittelyn havaittiin myös lisäävän kriittistä pistekorroosionmuodostumislämpötilaa eli CPT-arvoa 5-10°C:lla verrattuna perusaineen vastaavaan. INOX CORRO™ 16.0 käsittely alentaa myös kappaleen pinnankarheutta (Ra) keskimäärin puoleen lähtötilanteesta, jolla nähdään myös myönteisiä vaikutuksia ilmastokorroosionkeston kannalta.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
1 JOHDANTO.....	5
2 KOEMATERIAALIT JA MENETELMÄT.....	6
2.1 Koemateriaali.....	6
2.2 Näytteet.....	7
2.3 Koemenetelmät.....	8
3 TULOKSET.....	14
3.1 Pinnankarheudet.....	14
3.2 GD-OES-analyysit.....	14
3.3 Olosuhdetestit.....	18
3.4 CPT-kokeet.....	20
3.5 Mikroskooppitarkastelut.....	23
4 TULOSTEN TARKASTELU.....	27
5 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	29
6 VIITTAUKSET.....	30

1 JOHDANTO

Ruostumattomien terästen korroosionkestävyys perustuu kromiseostuksen ansiosta teräksen pintaan muodostuvaan suojaavaan passiivikalvoon. Tietyissä olosuhteissa, kuten kloridipitoisissa liuoksissa, esiintyy pistekorrosiota, jonka esiintymiseen vaikuttaa mm. lämpötila ja liuoksen väkevyys. Teräksen Cr- ja Mo-pitoisuudet vaikuttavat erityisesti pistekorrosionkestävyyteen. Tätä voidaan kuvata ns. PRE-luvulla (Pitting resistance equivalent), $PRE = \%Cr + 3,3x\%Mo + 16x\%N$. Mitä korkeampi lukema on, sitä parempi pistekorrosionkestävyys teräksellä on.

Terästen pistekorrosiotaipumusta voidaan myös mitata määrittämällä ns. kriittinen pistekorrosionmuodostumislämpötila eli CPT (Critical Pitting Temperature) mm. standardien ASTM G48 menetelmä E [1] sekä ASTM G150 [2] mukaisesti. Näistä edellinen on kemiallinen testi, jossa näyte upotetaan ferrikloridiliuokseen ja lämpötilaa nostetaan, kunnes pistekorrosio muodostuu. Jälkimmäinen on sähkökemiallinen menetelmä, jossa näyte pidetään NaCl-liuoksessa vakio potentiaalissa. Liuoksen lämpötilaa nostetaan, kunnes pistekorrosio muodostuu, mikä havaitaan virrantiheyden nousuna.

Elektrolyttisessä kiillotuksessa poistetaan metallia työkappaleesta sähkövirran avulla kappaleen ollessa upotettuna määrätyn koostumuksen omaavaan elektrolyttiin. Metallien liukenemisen ansiosta kappaleen pinta tasoittuu. Työkappaleen pinnalta liukenevan metallin määrä on riippuvainen käytettävästä virrasta, elektrolyytin tehokkuudesta ja kiillotusajasta. Ruostumattomia teräksiä kiillotettaessa eri alkuaineiden liukenemisnopeudella on vaikutusta lopputulokseen, sillä rauta ja nikkeliatomit irtoavat kromiatomeja tehokkaammin metallihilasta. Siten elektrolyttisessä kiillotuksessa teräksestä poistuu ensisijaisesti rautaa ja nikkeliä, joka puolestaan kasvattaa pinnan kromipitoisuutta ja tehostaa passivoitumista. [3]

Inox Finland Oy käsittelee ruostumattomasta teräksestä valmistettuja tuotteita, joiden käyttökohteissa vaaditaan teräksen pinnalta erittäin korkeaa laatua. Valmistusprosesseihin kuuluu mm. elektrolyttinen kiillotus, jossa sähkökemiallisesti saadaan aikaan erittäin kiiltävä pinta. Tutkimuksessa selvitettiin erilaisilla parametreilla kiillotettuja EN 1.4404 teräksestä

valmistettujen näytteiden ominaisuuksia ja korroosionkestävyyttä. Näytteiden valmistuksessa käytetyt kiillotusmenetelmät olivat tyypiltään INOX CORRO™ 8.0, 16.0 N16.0 sekä 32.0. Näytteistä 8.0 vastaa tavanomaista visuaalista sähkökiillotusta, 16.0 vastaa INOX CORRO™ -optimiparametreja ja 32.0 on ylikäsitelty kappale.

2 KOEMATERIAALIT JA MENETELMÄT

2.1 Koemateriaali

Tutkittavana materiaalina ruostumaton teräs, jonka paksuus oli 3,0 mm. Laaduksi ilmoitettiin AISI 316L, joka standardissa EN 10088-2 [4] vastaa EN 1.4404 -terästä. Taulukossa 1 on esitetty ko. teräksen tyypillinen [5] sekä standardien mukainen koostumus, sekä INOX:n toimittaman koemateriaalien ainestodistuksen mukainen koostumus. Lisäksi näytteistä tehtiin analyysi kannettavalla XRF:llä, jolla varmistettiin, että toimitettu näyte vastasi koostumukseltaan ilmoitettua.

Taulukko 1. Koemateriaalin tyypillinen koostumus, standardin mukainen koostumus sekä XRF:llä mitattu seosainepitoisuus paino-%

	C	Mn	Cr	Ni	Mo	N	Si
Tyypillinen	0.02		17.2	10.1	2.1		
ASTM A240/316L	≤0.03	≤2.0	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	≤0.10	
EN 10088-2/1.4404	≤0.030	≤2.0	16.5-18.5	10.0-13.0	2.00-2.50	≤0.11	
Ainestodistus	0.02	0.94	17.2	10.0	2.03	0.047	0.50
XRF		1.33	16.6	10.1	2.02		0.39

Taulukon 1 perusteella koemateriaalin koostumus näyttäisi sopivan sekä laatuja AISI 316L että EN 1.4404 standardikoostumukseen ja lisäksi XRF:llä saatujen tulosten mukaan näytteiden koostumus vastaa ainestodistuksessa ja standardeissa esitettyä koostumusta.

2.2 Näytteet

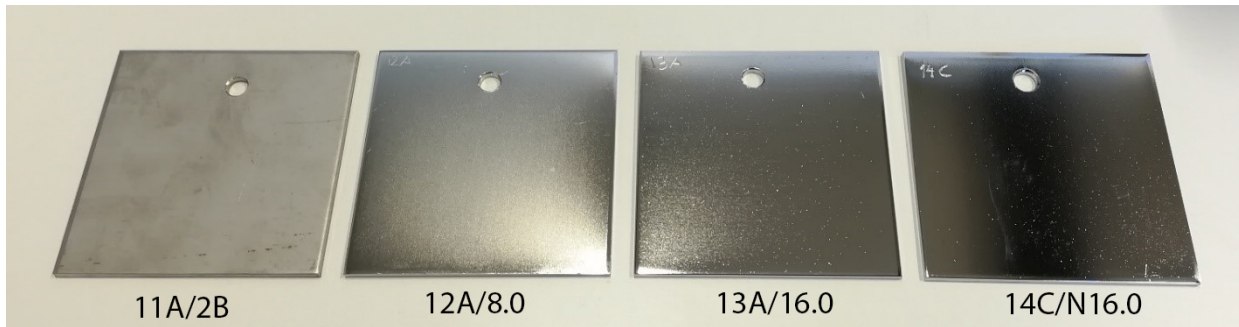
Koemateriaalista toimitettiin näytteet eri kokeita varten sopiviin mittoihin leikattuna ja esikäsiteltynä erilaisilla INOX CORRO™ elektrolyyttikiillotuskäsittelyillä, jotka olivat tyyppinumeroiltaan 8.0, 16.0, N16.0 sekä 32.0. Lisäksi tutkittavana oli näytteet, joita ei ollut kiillotettu, eli ne olivat toimitustilassa 2B ts. hehkutettu, peitattu ja viimeistelyvalssattu. Näytteet oli numeroitu valmiiksi toimittajan puolesta. Eri näytetunnuksia vastaavat pinnat ja vastaavasti näytteille suoritettavat kokeet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kokeissa käytetyt näytteet, niiden pinta ja käytetty koemenetelmä

Näytetunnus	Koko	Pintakäsittely					Koemenetelmä
		2B	Hiottu 600 grit	INOX CORRO™ käsittely			
			8.0	16.0	N16.0	32.0	
11A	100x100 mm	X					Olosuhdekoe
11B	100x100 mm	X					CPT-koe
11BH*	100x100 mm		X				CPT-koe
12A	100x100 mm			X			Olosuhdekoe
12B	100x100 mm			X			CPT-koe
13A	100x100 mm				X		Olosuhdekoe
13B	100x100 mm				X		CPT-koe
14C	100x100 mm					X	Olosuhdekoe
14D	100x100 mm					X	CPT-koe
21B	100x100 mm	X					CPT-koe
21BH*	100x100 mm		X				CPT-koe
22E	100x100 mm			X			CPT-koe
22G	100x100 mm			X			CPT-koe
23B	100x100 mm				X		CPT-koe
23E	100x100 mm				X		CPT-koe
24D	100x100 mm					X	CPT-koe
25E	100x100 mm					X	CPT-koe
25F	100x100 mm					X	CPT-koe
25G	100x100 mm					X	CPT-koe
25I	100x100 mm					X	CPT-koe
31B	100x100 mm	X					CPT-koe
31BH*	100x100 mm		X				CPT-koe
32A	100x100 mm			X			CPT-koe
32B	100x100 mm			X			CPT-koe
33A	100x100 mm				X		CPT-koe
33B	100x100 mm				X		CPT-koe
34C	100x100 mm					X	CPT-koe
61A	30X30 mm	X					GD-OES-analyysi
62A	30X30 mm			X			GD-OES-analyysi
63A	30X30 mm				X		GD-OES-analyysi
64A	30X30 mm					X	GD-OES-analyysi

* Toimitustilassa 2B oleville näytteille 11B, 21B ja 31B tehtiin ensin CPT-koe, minkä jälkeen ne käytettiin uudelleen hiottuina näytteinä. Toisella kerralla niiden tunnus oli vastaavasti 11BH, 21BH ja 31BH.

Kuvassa 1 nähdään ennen testin aloitusta lähtötilanteessa olevat olosuhdekokeiden näytteet. Näyte 11 A on toimitustilassa (2B) ja näytteet 12A, 13A ja 14A ovat elektrolyyttisesti kiillotettuja taulukon 2 mukaisilla kiillotuskäsittelyllä 8.0, 16.0 ja N16.0.



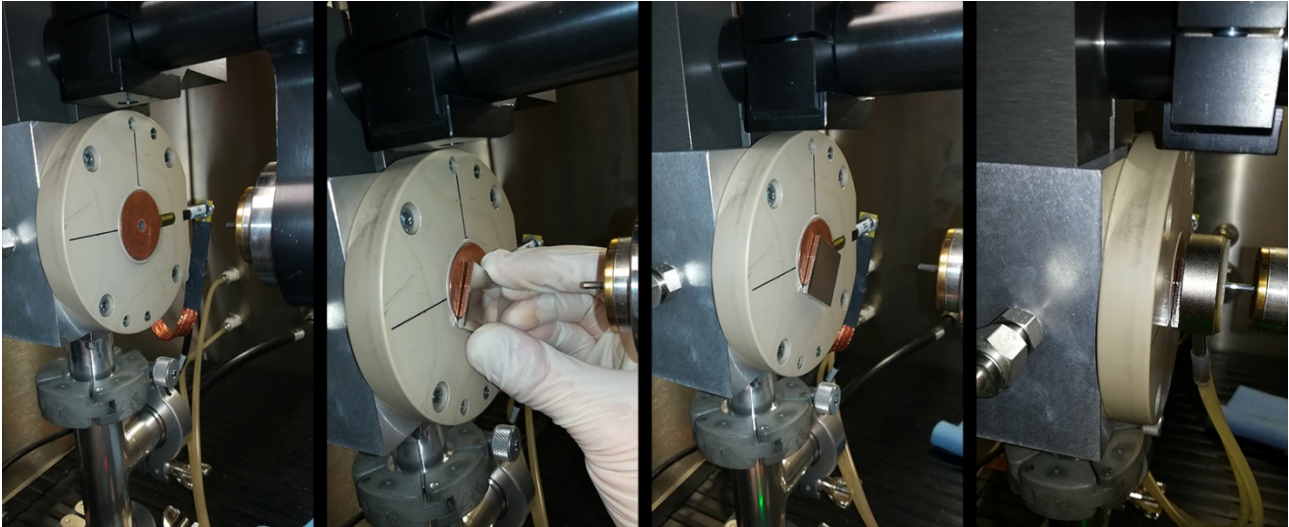
Kuva 1. Olosuhdekokeiden näytteet ennen kokeen alkua. Näytteiden pinnat toimitustilassa 2B sekä elektrolyyttikiillotettu 8.0, 16.0 ja N16.0

2.3 Koemenetelmät

Näytteiden pinnan koostumusta analysoitiin Oulun yliopistolla olevalla GD-OES-analysaattorilla (Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy). Korroosionkestävyyttä tutkittiin Lapin ammattikorkeakoululla standardin SFS-EN ISO 9227:2017 [6] mukaisella olosuhdekokeella sekä Oulun yliopistolla standardin ASTM G150 [2] mukaisella CPT (Critical Pitting Temperature) kokeella. Pinnan mikroskooppitarkastelut suoritettiin Lapin ammattikorkeakoululla Fe-SEM:llä ja pinnankarheudet mitattiin Mitutoyo SurfTest SJ-301 kannettavalla pinnankarheusmittarilla.

Pintojen koostumusta tutkittiin GD-OES-analysaattorilla, joka toimii siten, että katodina toimivan näytteen ja kuparianodin välille synnytetään jännite argonkaasua sisältävässä kammiassa. Ionisoitunut argon sputteroi pinnasta atomeja, jotka törmätessään niihin synnyttävät fotoniemission. Tämä ns. hohtopurkaus analysoidaan optisella emissiospektrometrillä eri alkuaineiden pitoisuuden selvittämiseksi. Näytteen pintaa sputteroidaan kerros kerrokselta, jolloin saadaan alkuaineiden pitoisuus syvyyden funktiona.

Alkuaineiden analysointi tapahtuu ympyrän muotoiselle alueelle, jonka koko riippuu käytetystä kammion aukosta, jonka päälle näyte asetetaan (kuva 2). Kammiossa on alipaine, joka imee näytteen kiinni ja sen jälkeen se lukitaan mekaanisesti paikalleen.



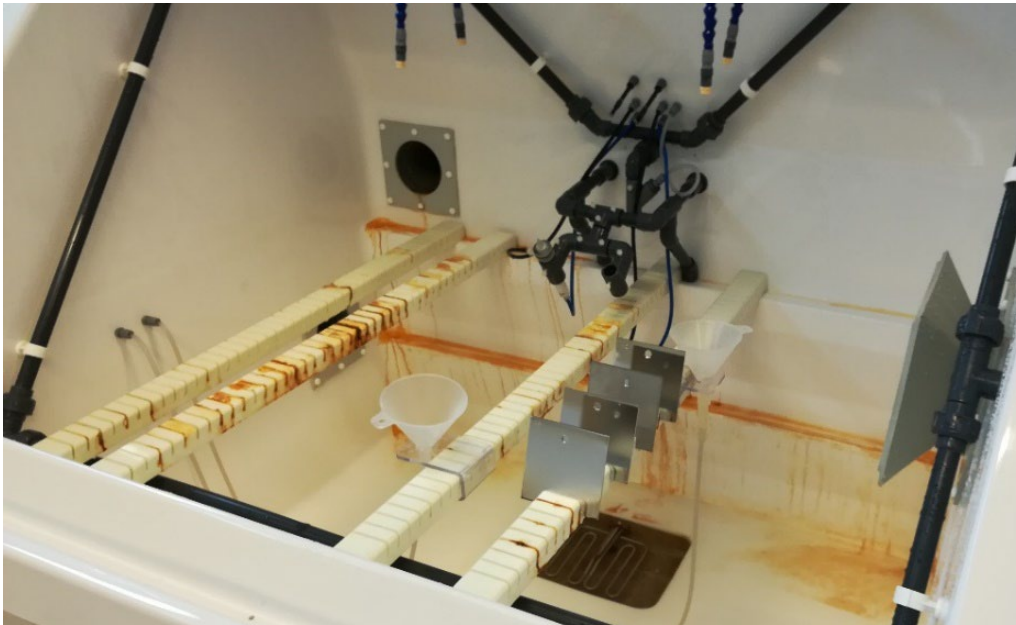
Kuva 2. Näytteen asetus GD-OES laitteeseen

Käytetyssä mittauksessa aukon koko oli halkaisijaltaan 4 mm, joten analysoitava pinta-ala oli siis n. 12,5 mm². Kullakin syvyydellä mitattu alkuaineiden pitoisuus on siis käytännössä keskiarvo em. kokoiselta alueelta. Kuvassa 3 nähdään näyte ja siinä oleva sputterointijälki mittauksen jälkeen.



Kuva 3. Näytteessä oleva sputterointijälki GD-OES mittauksen jälkeen

Näytteiden yleistä korroosionkestävyyttä tutkittiin olosuhdekokeilla, joista kuvassa 4 on esitetty näytteiden sijoittelu ennen kokeen aloitusta. Näytteet olivat n. 80 mm:n etäisyydellä toisistaan kokeita varten rakennetussa telineessä.

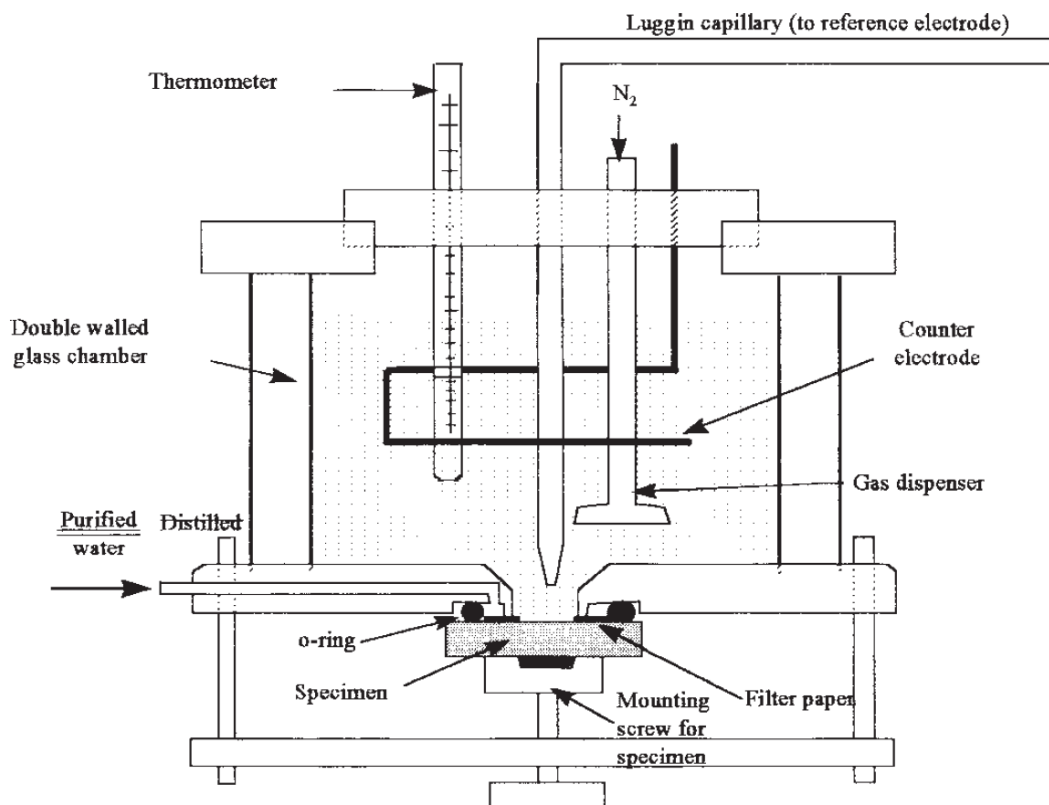


Kuva 4. Olosuhdekammio Lapin ammattikorkeakoululla ja näytteiden sijoittelu

Kuvassa nähdään suutin, josta paineilman avulla syötettiin suolasumua (5% NaCl-liuos) laitteen ulkopuolella olevasta säiliöstä. Kammion pohjalla nähdään vastukset, jotka pitivät lämpötilan vakiona (+35°C). Näytteiden takana ja vasemmalla puolella on keräyssuppilot, joiden avulla mitattiin, että näytteet saavat saman suuruisen määrän sumua kokeen aikana. Laitte pysäytettiin 24, 48 ja 72 tunnin visuaalista tarkastelua varten ja koe lopetettiin 140 tunnin kuluttua, jolloin näytteet puhdistettiin ja kuivattiin sekä tarkasteltiin visuaalisesti.

Pistekorroosionkestävyyttä tutkittiin CPT-kokeilla, jotka suoritettiin standardin ASTM G150 [2] mukaista koejärjestelyä käyttäen. Koejärjestelyssä määritetään potentiostaatin avulla ns. kriittinen pistekorroosionmuodostumislämpötila eli CPT (Critical Pitting Temperature. Kuvassa 5 esitetty standardin ASTM G150 mukaisen koejärjestelyn periaatekuva, jossa rako-korroosio on pyritty estämään huuhtelemalla näytettä kokeen aikana puhdistetulla vedellä (flushed port cell). Kokeessa näyte on astian pohjalla, joka täytetään 1M NaCl-liuoksella.

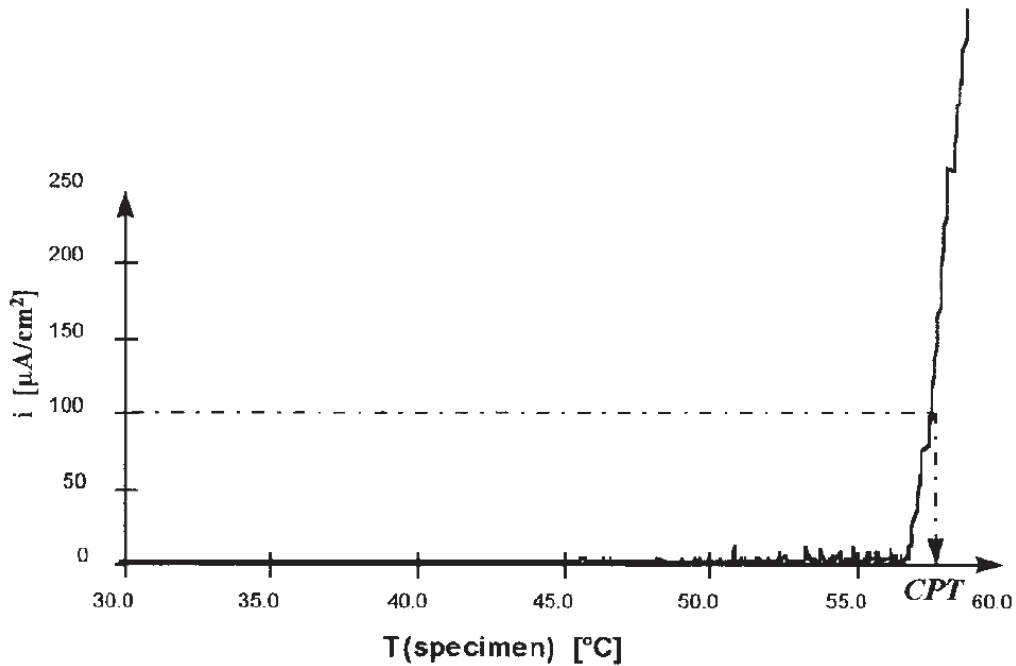
Liuksen lämpötilaa säädetään kennon kaksoisvaipan avulla, johon syötetään halutun lämpöistä kuumennus/jäähdytys-liuosta. Näytteen potentiaali referenssielektrodin (SCE) suhteen säädetään haluttuun arvoon potentiostaatin avulla. Kokeissa referenssielektrodi on astian ulkopuolella vakiolämpötilassa (25°C) ja yhteydessä liuokseen ns. suolasillan eli Luggin kapillaarin välityksellä. Astiassa on lisäksi vastaelektrodi (counter electrode). Niiden ja näytteen välillä kulkee virta, jonka suuruus mitataan potentiostaatilla. Lisäksi kennossa on tyypikuplitus ja lämpötilan mittaus.



Kuva 5. ASTM G150 mukainen CPT mittausjärjestely (flushed port cell) [2]

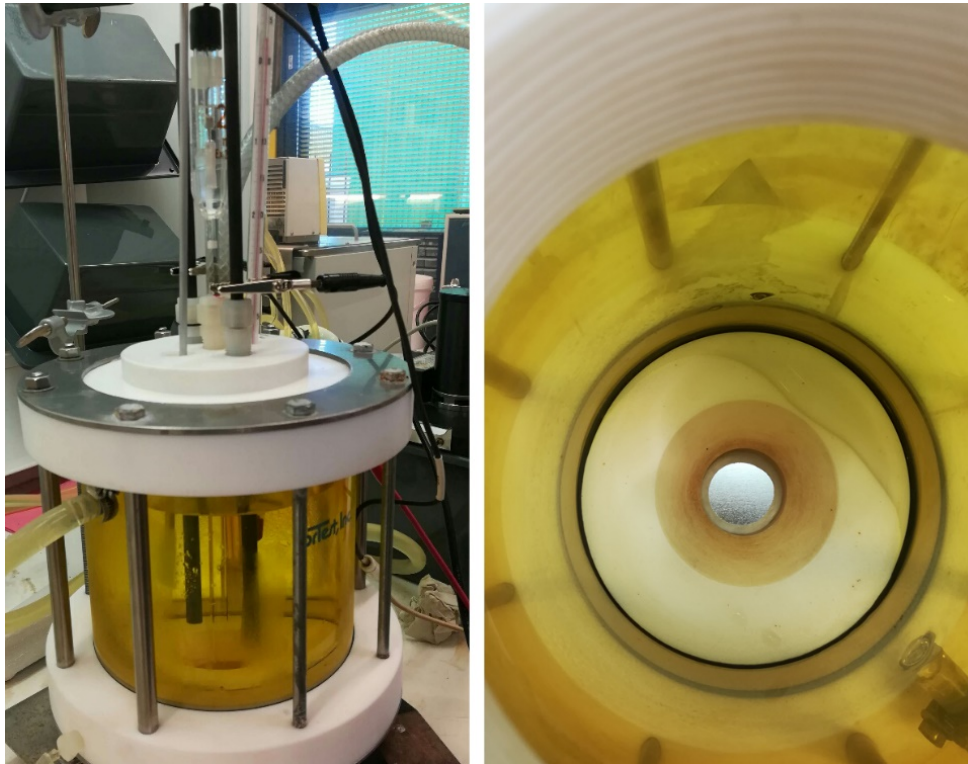
Standardin mukainen koe aloitetaan liuksen lämpötilasta 0°C nostamalla näytteen potentiaali 700 mV_{SCE}:iin. Tällöin näytteen ja vastaelektrodin välillä kulkevan virran pitäisi vakiintua lähelle nollaa. Tämän jälkeen NaCl-liuoksen lämpötilaa aletaan nostaa nopeudella 1°C/min ja samalla rekisteröidään virran suuruutta. Lämpötilan nostamista jatketaan, kunnes virta

alkaa äkillisesti nousta pistekorroosion muodostumisen johdosta. Kriittiseksi pistekorroosiolämpötilaksi katsotaan lämpötila, joka liuoksessa on virrantiheyden ylittäessä arvon $100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Kuvassa 6 on esitetty standardin mukainen CPT:n määrittämisen periaate.



Kuva 6. ASTM G150 mukainen CPT:n määrittämisen periaate [2]

Oulun yliopiston materiaalitekniikan laboratorioon rakennettu standardin mukainen koejärjestely nähdään kuvassa 7.



Kuva 7. Kokeissa käytetty CPT kenno Oulun yliopistolla

Kokeissa käytetty potentiostaatti oli tyyppiä EG&G Princeton applied research potentios-tat/galvanostat. Vasemmalla nähdään astia, jonka kannen läpi vietiin suolasilta referens-sielektrodille (SCE), 2 kpl vastaelektrodeja (grafiitti), sekoitin lämpötilan tasaamiseksi sekä typpikuplitus. Lämpötilan mittaukseen käytettiin K-typin termoparilankaa ja LabView-ohjel-mistoa. Liuoksen lämpötilaa säädettiin kennon kaksoisvaippaan pumpatulla lämpimällä/kyl-mällä liuoksella käyttäen lämpötilan nostonopeutena $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Oikealla nähdään näyte ja tiivistet kennon pohjalla. Näyte tiivistettiin astian pohjaan ja nestettä läpäisevään paperitiivis-teeseen syötettiin tislattua vettä. Sähköinen kontakti johdettiin näytteeseen alapuolelta ole-van kuparilevyn välityksellä.

3 TULOKSET

3.1 Pinnankarheudet

Näytteistä 11B, 12B, 13B, 14D ja 25E mitattiin pinnankarheudet. Mittauksia tehtiin kumpaankin suuntaan näytettä 3 kpl ja laskettiin niiden keskiarvo. Näytteistä mitatut pinnankarheudet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Näytteistä mitatut pinnankarheudet Ra ja Rz

Näyte	Parametri	1	2	3	4	5	6	ka.
11B	Ra (µm)	0,41	0,40	0,34	0,48	0,37	0,42	0,40
2B	Rz (µm)	3,49	3,48	3,11	3,56	3,07	3,50	3,37
12B	Ra (µm)	0,22	0,27	0,28	0,35	0,28	0,29	0,28
8.0	Rz (µm)	1,70	2,12	2,18	2,46	2,26	2,29	2,17
13B	Ra (µm)	0,27	0,21	0,23	0,28	0,28	0,31	0,26
16.0	Rz (µm)	2,19	1,44	1,52	1,97	2,02	2,55	1,95
14D	Ra (µm)	0,20	0,24	0,22	0,26	0,20	0,18	0,22
N16.0	Rz (µm)	1,35	1,96	1,49	1,65	1,32	1,18	1,49
25E	Ra (µm)	0,23	0,25	0,24	0,22	0,17	0,18	0,22
32.0	Rz (µm)	1,59	1,78	1,84	1,87	1,46	1,45	1,67

Pinnankarheuksista nähdään, että toimitustilaisen 2B-näytteen pinnankarheus vastaa normaalia ko. toimitustilan pinnankarheutta. Elektrolyyttisesti kiillotettujen näytteiden pinnankarheudet ovat pienempiä. Pienin pinnankarheus on N16.0 ja 32.0 näytteellä, jolla se on n. luokkaa puolet verrattuna 2B-näytteeseen. Seuraavaksi eniten on laskenut 16.0 näytteen pinnankarheus ja vähiten 8.0 näytteen pinnankarheus.

3.2 GD-OES-analyysit

Näytteille 61A, 62A, 63A ja 64A suoritettiin GD-OES-analyysit. Kutakin näytettä kohden tehtiin kolme ajoa. Näytteet ja niitä vastaavat ajojen numerot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. GDOES-näytteet ja ajojen järjestysnumero

	Näyte			
	61A 2B	62A 8.0	63A 16.0	64A 32.0
Ajo n:o	2	3	6	9
	12	4	7	10
	13	5	8	11

Ajojen tuloksena saatiin datataulukko, jossa on alkuaineiden pitoisuus (p-%) syvyyden funktiona. Tuloksista piirrettiin eri alkuaineille käyrät lähtien näytteen pinnasta. Tarkastelu tehtiin kahdella eri skaalauksella, toisessa on esitetty pitoisuudet 0...50 nm:iin (0,05 μm), jossa nähdään lähinnä pinnassa olevan passiivikalvon koostumus. Ensimmäisiin 5 nm:iin on kuitenkin syytä suhtautua varauksella, koska ko. alueella hohtopurkauksen syttymisvaihe saattaa vaikuttaa analyysiin vääristäen pitoisuuksia. Toisessa tarkastelussa, 0...5 μm (5000 nm) analyysi ulottuu ns. bulkkiin. Koska tuloksista havaittiin, että C- ja N-pitoisuudet olivat joissakin ajoissa kohonneet kohtuuttoman paljon, mikä saattaa johtua ilman vuotamisesta kamioon mittauksen aikana (N) sekä kontaminaatiosta (C). Em. alkuaineet poistettiin datasta normalisoimalla muiden alkuaineiden koostumukset siten, että niiden suhteellisten osuuksien summaksi tuli 100%. Käyrät eri alkuaineiden syvyysprofileista on esitetty liitteissä 1-7. Käyristä voidaan tehdä mm. seuraavia havaintoja:

0-50 nm: 2B:llä (näyte 61A) passiivikalvo on hieman paksumpi kuin kiillotetuilla (näytteet 62A, 63A ja 64A). Kaikissa näytteissä Cr, Mn, Si ovat rikastuneena passiivikalvossa (kiillotetuissa Si hieman vähemmän kuin 2B:ssä). Em. alkuaineet ovat herkkiä hapettumaan ja niiden on todettu yleensä olevan läsnä ruostumattomien terästen oksidikalvoissa. Kaikissa näytteissä Fe, Ni, Mo ovat pintakerroksessa hieman köyhtyneenä, mutta kiillotetuissa (näytteet 62A, 63A ja 64A) Mo on köyhtynyt hieman vähemmän kuin 2B:ssä.

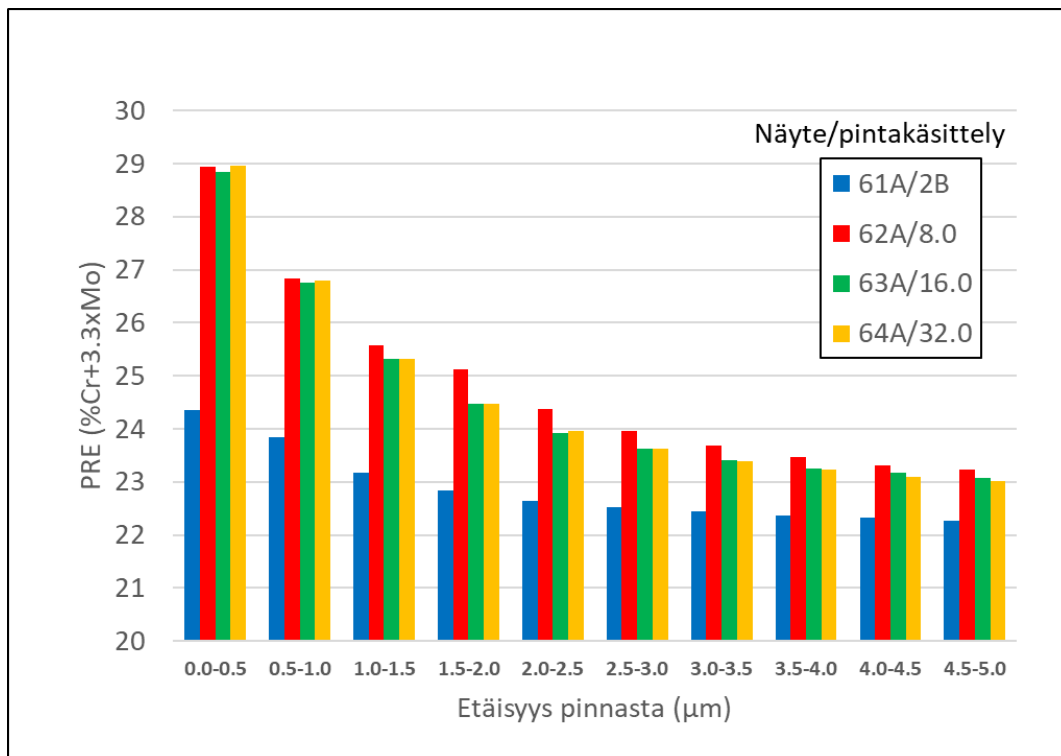
0,1...5 μm : Cr pitoisuus nousee 2B-pinnassa n. 23...24%:iin, kiillotetuissa pinnoissa maksimissaan n. 28...29%:iin ja laskee sitten vähitellen saavuttaen bulkin tason, mikä hieman näytteestä riippuen tapahtuu n. 2-3 μm paikkeilla. Ni, Mo ja Mn pitoisuudet on vastaavasti matalampia ja nousevat saavuttaen bulkin tason suunnilleen samalla syvyydellä kuin Cr. Bulkissa Ni ja Mo pitoisuus ovat matalia, n. 8% ja 1,3%, alle teräksen koostumuksen mukaisen pitoisuuden, Cr taas on suunnilleen koostumuksen rajoissa. Absoluuttisten pitoisuuksien tarkastelu ei liene kuitenkaan kovin oleellista, koska käytetty laajan koostumusvälin metodi ei saa yhtä tarkkaa lopputulosta kuin pienelle koostumusvälille kalibroitu bulkkianalyysi. Helposti hapettuvien alkuaineiden pitoisuus nousee tyypillisesti analyysin alussa. Yleisesti ottaen saadut O, Fe, Ni, Cr, jne. profiilit ovat pääpiirteissään kirjallisuuden mukaisia [7].

Koostumusta tarkasteltiin siten, että kullekin seosaineelle laskettiin 0,5 µm välein keskiarvo ja lisäksi saman näytteen erillisistä ajoista laskettiin keskiarvo. Näin saatiin kaikille näytteille seosainepitoisuus 10 pisteessä alkaen pinnasta ja päättyen 5 µm:n syvyyteen. Tulokset on esitetty taulukossa 5. Taulukosta nähdään, että kiillotetuissa näytteissä on Cr selvästi enemmän rikastuneena pintaan verrattuna 2B-näytteeseen. Myös Mo on kiillotetuissa hieman enemmän pinnassa, kun taas Fe ja Ni ovat kiillotetuissa pinnoissa köyhtyneet enemmän kuin 2B-pinnassa. Tulos on linjassa johdantokappaleessa esitetyn viittauksen [3] kanssa, jonka mukaan elektrolyyttikiillotuksessa Fe ja Ni irtoavat helpommin Cr:n rikastuessa.

Seosaineiden pitoisuuksista laskettiin myös PRE-käyrät jättäen yhtälöstä pois kuitenkin N, joka ”siivottiin” pois datasta, kuten edellä mainittiin. Nämä nähdään liitteellä 8. Kuvista voidaan havaita, että 2B-näytteen pintakerroksen alla PRE-arvo laskee selvästi alemmaksi kuin kiillotetuissa näytteissä ja vielä alle 1 µm:n syvyydellä PRE on kiillotetuissa pinnoissa korkeammat (max. n. 30), kuin 2B-pinnassa (max n. 25). Taulukossa 5 on laskettu PRE-arvot eri syvyyksillä. Nähdään, että 2B-näytteessä PRE vaihtelee tutkitulla syvyydellä n. 22 ja 24 välillä, kun taas kiillotetuissa näytteissä PRE vaihtelee n. 23 ja 29 välillä. PRE-arvoja on tarkasteltu graafisesti kuvassa 8. Kuvasta nähdään selvästi, että kaikilla kiillotetuilla näytteillä pinnan PRE on tulosten mukaan selvästi korkeampi kuin 2B-näytteellä. INOX CORRO™ 16.0 – käsitellyn kappaleen pistekorroosionkestävyyttä kuvaava PRE-arvo on siten pinnassa ts. 0...0,5 µm syvyydellä keskimäärin n. 20 % käsittelemättömän pinnan vastaavaa arvoa korkeampi.

Taulukko 5. GD-OES analyysien perusteella lasketut keskimääräiset seosainepitoisuudet sekä PRE-arvot eri syvyyssalueilla näytteen pinnasta mitattuna

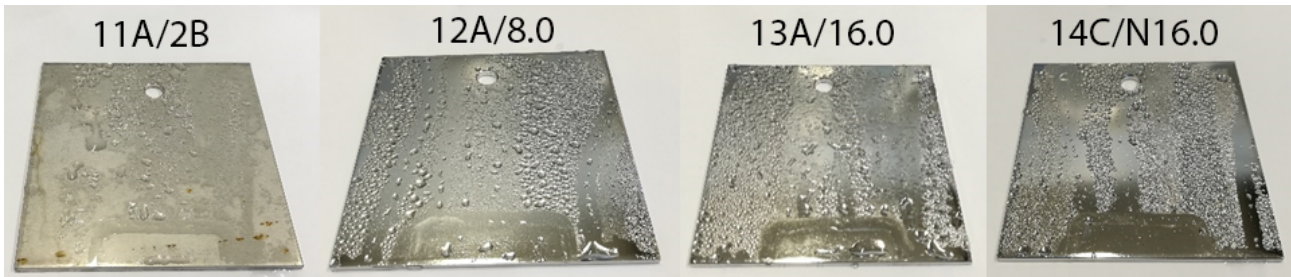
61A-2B							
Syvyys µm	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	PRE
0.0-0.5	64,1	21,6	7,4	0,8	0,7	0,5	24,4
0.5-1.0	68,7	20,0	8,2	1,2	0,9	0,4	23,8
1.0-1.5	69,4	19,0	8,4	1,3	1,0	0,4	23,2
1.5-2.0	69,7	18,6	8,4	1,3	1,1	0,4	22,8
2.0-2.5	69,9	18,4	8,4	1,3	1,2	0,4	22,6
2.5-3.0	70,1	18,2	8,3	1,3	1,2	0,4	22,5
3.0-3.5	70,2	18,2	8,2	1,3	1,2	0,4	22,4
3.5-4.0	70,3	18,1	8,2	1,3	1,2	0,4	22,4
4.0-4.5	70,3	18,1	8,2	1,3	1,2	0,4	22,3
4.5-5.0	70,4	18,0	8,2	1,3	1,2	0,4	22,3
62A/8.0							
Syvyys µm	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	PRE
0.0-0.5	62,1	25,7	6,7	1,0	0,9	0,6	28,9
0.5-1.0	66,4	22,7	7,4	1,3	1,2	0,5	26,8
1.0-1.5	67,5	21,1	7,7	1,3	1,3	0,5	25,6
1.5-2.0	67,8	20,7	7,9	1,3	1,3	0,5	25,1
2.0-2.5	68,4	19,8	8,1	1,4	1,3	0,5	24,4
2.5-3.0	68,7	19,4	8,2	1,4	1,3	0,5	24,0
3.0-3.5	68,9	19,2	8,3	1,4	1,3	0,4	23,7
3.5-4.0	69,0	19,0	8,4	1,4	1,3	0,5	23,5
4.0-4.5	69,1	18,8	8,4	1,4	1,3	0,5	23,3
4.5-5.0	69,2	18,8	8,4	1,4	1,3	0,5	23,2
63A/16.0							
Syvyys µm	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	PRE
0.0-0.5	62,1	25,6	6,6	1,0	0,9	0,7	28,8
0.5-1.0	66,6	22,6	7,3	1,3	1,2	0,5	26,8
1.0-1.5	67,9	20,9	7,6	1,3	1,3	0,5	25,3
1.5-2.0	68,5	19,9	7,9	1,4	1,3	0,5	24,5
2.0-2.5	68,9	19,4	8,1	1,4	1,3	0,5	23,9
2.5-3.0	69,1	19,1	8,2	1,4	1,3	0,5	23,6
3.0-3.5	69,2	18,9	8,2	1,4	1,3	0,5	23,4
3.5-4.0	69,3	18,8	8,3	1,4	1,3	0,5	23,3
4.0-4.5	69,4	18,7	8,3	1,4	1,3	0,5	23,2
4.5-5.0	69,4	18,6	8,3	1,4	1,2	0,5	23,1
64A/32.0							
Syvyys µm	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	PRE
0.0-0.5	62,2	25,9	6,6	0,9	0,9	0,7	29,0
0.5-1.0	66,6	22,7	7,2	1,2	1,2	0,5	26,8
1.0-1.5	67,9	21,0	7,6	1,3	1,2	0,5	25,3
1.5-2.0	68,5	20,0	7,9	1,4	1,3	0,5	24,5
2.0-2.5	68,9	19,5	8,0	1,4	1,3	0,5	24,0
2.5-3.0	69,1	19,1	8,2	1,4	1,3	0,4	23,6
3.0-3.5	69,3	18,9	8,2	1,4	1,3	0,4	23,4
3.5-4.0	69,4	18,8	8,3	1,3	1,3	0,4	23,2
4.0-4.5	69,4	18,7	8,3	1,3	1,2	0,4	23,1
4.5-5.0	69,5	18,6	8,3	1,3	1,2	0,5	23,0



Kuva 8. GD-OES analyysien perusteella lasketut keskimääräiset PRE-arvot eri syvyysalueilla näytteiden pinnasta mitattuna

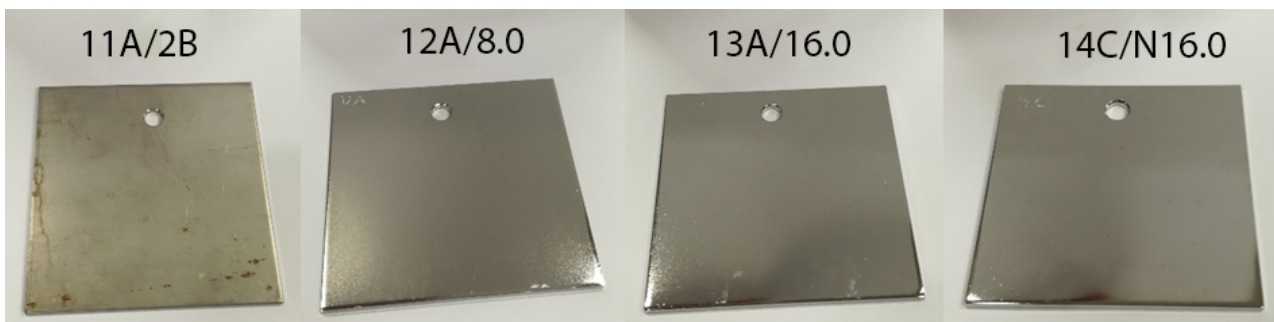
3.3 Olosuhdetestit

Näytteitä tarkasteltiin ensimmäisten 24, 48 ja 72 tunnin jälkeen ottamalla ne pois kammiosta ja kuvaamalla pinnat. Näytteitä ei huuhdeltu eikä kuivattu välitarkasteluissa, vaan pyrittiin kuvaamaan ne mahdollisimman nopeasti ja jatkamaan koetta. Kuvassa 9 nähdään näytteet 72 tunnin kokeen jälkeen. Kuvasta nähdään, että 2B-näytteessä 11A on havaittavissa pientä värjäytymistä. Muissa näytteissä ei ole tapahtunut mitään. Verrattaessa näytettä 11A kuvan 1 lähtötilanteeseen, voidaan havaita, että näytteessä on jo ennen koetta jonkinlaista värjäymää, joka on olosuhteiden vaikutuksesta pahentunut. Näytteille ei tehty ennen koetta minkäänlaista puhdistusta, vaan ne laitettiin kokeeseen sellaisena kuin ne toimittajalta tulivat.



Kuva 9. Olosuhdetestissä olleet näytteet 72 tunnin jälkeen

72 tunnin jälkeen jatkettiin koetta keskeytyksettä vielä 68 tuntia, minkä jälkeen koe lopetettiin ja näytteet huuhdeltiin ja kuivattiin sekä tarkastettiin. Kuvassa 10 nähdään tilanne 140 tunnin kokeen jälkeen.



Kuva 10. Olosuhdetestissä olleet näytteet kokeen lopussa 140 tunnin jälkeen

Kuvista nähdään, että kiillotetuissa näytteissä ei ole havaittavissa merkkejä korroosiosta. Näytteessä 11A eli perusmateriaalissa on hieman värjäytymistä, mutta kuten edellä todettiin, on näytteessä havaittavissa värjäymää jo ennen koetta. Kokeen perusteella voidaan todeta, että kaikissa tapauksissa, joissa elektrolyyttinen kiillotus on tehty, on näytteen puhtaus ja pinnanlaatu parempi, kuin ennen kiillotusta.

3.4 CPT-kokeet

CPT-kokeita suoritettiin yhteensä 24 kpl. Kokeet aloitettiin jäähdyttämällä astiassa oleva liuos 0°C:een tienoille, minkä jälkeen potentiostaatti ja datan kerääminen kytkettiin päälle. Tämän jälkeen yleensä havaittiin pieni virta, joka kuitenkin laski vakiintuen melko nopeasti hyvin lähelle nollaa. Joissain tapauksissa virta ei kuitenkaan vakiintunut vaan alkoi heti kokeen alussa vähitellen nousta. Tällöin koe katsottiin epäonnistuneen ja keskeytettiin. Onnistuneita kokeita saatiin kaikkiaan 14 kpl.

Liitteessä 9 ja 10 on esitetty kaikkien onnistuneiden kokeiden lämpötila-virrantiheys-käyrät ja niistä lasketut kriittiset pistekorroosionmuodostumislämpötilat eli CPT-arvot. Lämpötilaa kasvatettiin ja tietyssä vaiheessa virta alkoi äkillisesti nousta, kuten kuvista nähdään, mikä johtui pistekorroosion muodostumisesta. CPT-arvon määrittämisessä käytettiin kriteerinä standardin määrittelemää tapaa, jossa CPT luetaan käyrältä kohdassa, missä virrantiheys ylittää arvon 100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, ks. kuva 6.

Taulukkoon 6 on koottu yhteenveto kaikista kokeista niiden suoritusjärjestyksessä huomautuksineen sekä onnistuneiden kokeiden CPT-arvot.

Taulukko 6. Kaikki suoritettut CPT-kokeet ja CPT-arvot

Koe n:o	Näytetunnus	Pintakäsittely	CPT (°C)	Huom.
1	23B	16.0	30,2	OK
2	21B	2B	n/a	Keskeytetty
3	11B	2B	n/a	Keskeytetty
4	24D	N16.0	22,5	OK
5	14D	N16.0	28,4	OK
6	13B	16.0	n/a	Keskeytetty
7	12B	8.0	23,0	OK
8	33A	16.0	45,4	OK
9	32A	8.0	n/a	Keskeytetty
10	32A	8.0	n/a	Keskeytetty
11	32B	8.0	15,1	OK
12	31B	2B	n/a	Keskeytetty
13	31BH	Hiottu 600 grit	18,9	OK
14	21BH	Hiottu 600 grit	n/a	Keskeytetty
15	11BH	Hiottu 600 grit	n/a	Keskeytetty
16	34C	N16.0	24,0	OK
17	33B	16.0	22,4	OK
18	22E	8.0	n/a	Keskeytetty
19	22G	8.0	13,3	OK
20	25F	32.0	n/a	Keskeytetty
21	25G	32.0	12,3	OK
22	25E	32.0	9,9	OK
23	25I	32.0	8,8	OK
24	23E	16.0	19,9	OK

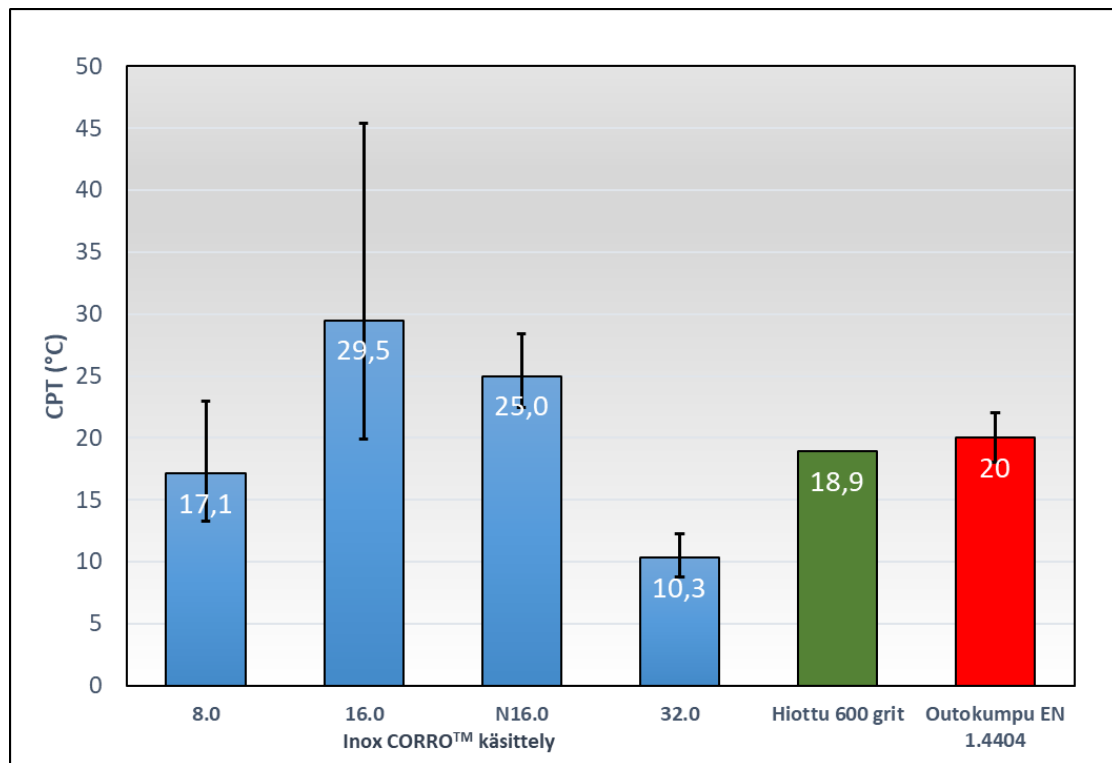
Kaikista kiillotetusta näytteistä saatiin vähintään 3 onnistunutta koetta. Toimitustilaisen 2B-näytteen kohdalla yritettiin 3 kertaa (näytteet 21B, 11B 31B), mutta koetta ei saatu onnistumaan, mutta kaikissa tapauksissa virta nousi välittömästi kokeen alussa erittäin korkealle. Koska kuitenkin haluttiin saada perusaineelle CPT-arvo, johon kiillotettuja verrataan, hiottiin 2B-näytteet 600 grit hiomapaperilla ja toistettiin kokeet niille. Tällöin saatiin yksi koe kolmesta onnistumaan kahden muun tässäkin tapauksessa epäonnistuessa.

Kaikista samanlaisen elektrolyyttikiillotuskäsittelyn (8.0, 16.0, N16.0 tai 32.0) omaaville näytteille tehdyistä kokeista laskettiin keskiarvo ja verrattiin niitä hiotulle näytteelle saatuun CPT-arvoon. Taulukossa 7 on esitetty tulokset.

Taulukko 7. Onnistuneiden CPT-kokeiden tulokset ja niiden keskiarvot ja eri pinnoille

CPT (°C)	Inox CORRO™ käsittely				Hiottu 600 grit
	8.0	16.0	N16.0	32.0	
	23,0	30,2	22,5	12,3	18,9
	15,1	45,4	28,4	9,9	
	13,3	22,4	24,0	8,8	
		19,9			
Keskiarvo	17,1	29,5	25,0	10,3	18,9

Taulukon 7 tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 11. Kuvassa on mukana myös Outokummun näytemateriaalia vastaavalle teräslaadulle ilmoittama CPT arvo, 20±2 C [5].



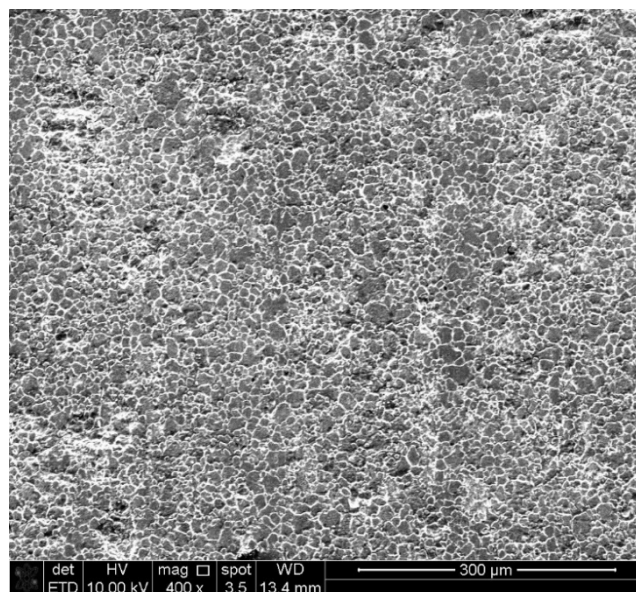
Kuva 11. Pintakäsittelyjen vaikutus CPT arvoon

Kuvassa oleva tolppa edustaa keskiarvoa ja virherajoina on esitetty mittaustulosten minimi- ja maksimiarvot (koetulosten vaihteluväli). Kuvasta nähdään, että kokeissa saadun hiotun pinnan CPT arvo 18,9 °C vastaa hyvin Outokummun ko. teräkselle ilmoitettua CPT-arvoa, $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Koska ainoastaan yksi onnistunut koe saatiin aikaan, ei kokeella ole tilastollista luotettavuutta, mutta koska myös Outokumpu ilmoittaa saman luvun, voitaneen sitä pitää kyseisen näyttemateriaalin vertailuarvona, johon elektrolyyttisesti kiillotettuja näytteitä verrataan. Elektrolyyttikiillotetuista näytteistä 8.0 käsitellyn CPT arvo näyttäisi olevan keskimäärin hieman matalampi kuin perusaineen CPT. Kun siirrytään 16.0 käsittelyyn, näyttäisi CPT-arvo kasvavan huomattavasti, mutta toisaalta myös hajonta kasvaa melko suureksi. Kokeissa korkein CPT-arvo, $45,4^\circ\text{C}$, mittatiin juuri kyseisen kiillotuskäsittelyn omaavalle näytteelle ja alin CPT-arvo oli $19,9^\circ\text{C}$, joka sekin on sama kuin perusaineella. N16.0 käsitellyillä näytteillä CPT näyttäisi keskiarvoltaan olevan hieman matalampi, $25,0^\circ\text{C}$, kuin 16.0 käsitellyillä, mutta edelleen siis korkeampi kuin perusaineella. Kun kiillotuskäsittelynä on ollut 32.0,

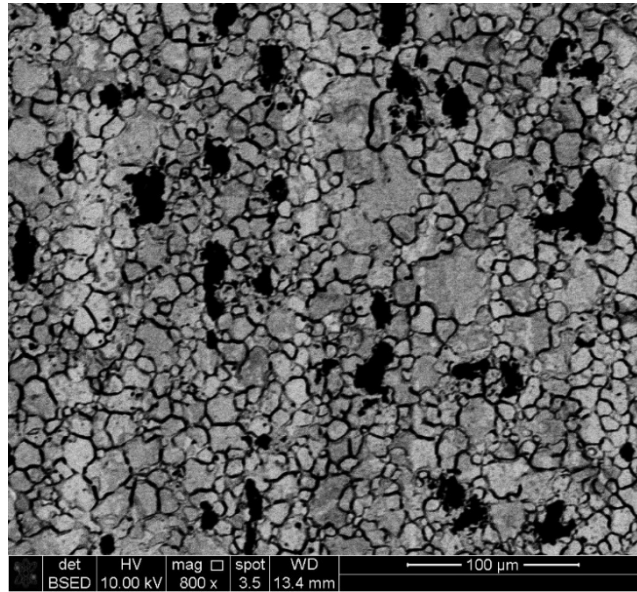
näyttäisi CPT laskevan selvästi perusainetta alemmaksi, 10,3°C:een. 32.0 kiillotetuilla näytteillä käyrät olivat hieman erilaisia kuin muilla näytteillä. Liitteestä 15 nähdään näytteiden 25G, 25E, 25I lämpötila-virrantiheys-käyristä, että niissä virran nousu tapahtui selvästi loivemmin kuin muissa näytteissä. Aluksi otaksuttiin kokeen epäonnistuneen, kuten joillakin näytteillä, joilla alussa koe näytti lähtevän hyvin käyntiin, mutta jossain vaiheessa virta kuitenkin alkoi nousta. Sama toistui kuitenkin kaikissa kolmessa kyseisellä pintakäsittelyllä tehdyssä kokeessa, joten ilmiön otaksuttiin johtuvan matalammasta lämpötilasta, jossa piste-korroosio syntyi.

3.5 Mikroskooppitarkastelut

Joidenkin näytteiden pinnoista tehtiin mikroskooppitarkastelu Lapin ammattikorkeakoulun pyyhkäisy-elektromikroskoopilla, Fe-SEM:llä. Mikroskoopilla voidaan kuvata SE-kuvia, jossa on käytetty sekundääri-elektroneille herkkää detektoria. Kyseinen kuvatyyppe näyttää pinnan topografian. Toinen kuvatyyppe on ns. BE-kuva, jossa käytetään takaisinsironneille (backscattered) elektroneille herkkää detektoria. Kyseisessä kuvassa nähdään pinnan koostumuserot. Kuvissa 12 ja 13 nähdään toimitustilaisen 2B-pinnan pyyhkäisy-elektronimikroskoopi eli SEM-kuvat. Kuva 12 on SE-kuva ja kuva 13 on BE-kuva.



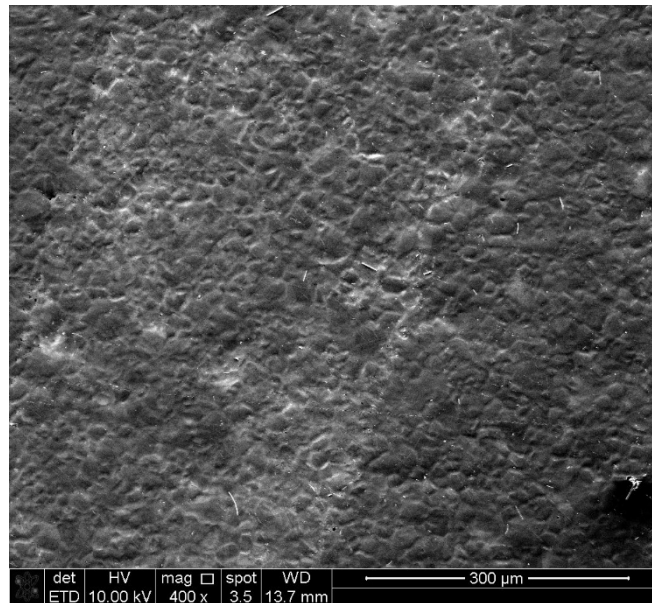
Kuva 12. 2B-pinnan SEM/SE-kuva, jossa nähdään topografia



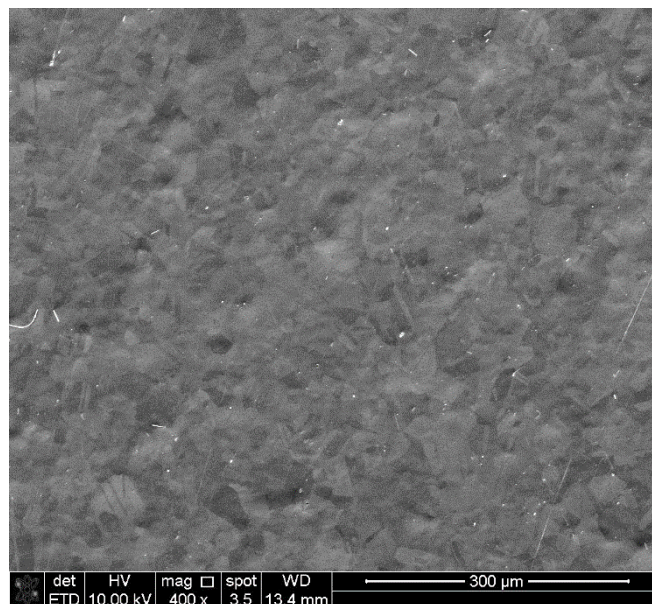
Kuva 13. 2B-pinnan SEM/BE-kuva, jossa nähdään koostumuserot

Kuvassa 12 nähdään, että teräksen raerajat ovat selvästi näkyvissä pinnassa. 2B-toimitus-tila tarkoittaa peitattua ja viimeistelyvalssattua, jolloin peittauksessa syöpyneet raerajat näkyvät vielä lopputuotteessa, kun sitä tarkastellaan elektronimikroskoopilla. 2B-näytteissä kiinnitettiin huomiota niiden hieman tummaan sävyyn. Kuvassa 13 nähdään, että pinnassa on tummia alueita, joiden koostumus siis poikkeaa selvästi ympäröivästä pinnasta. Alueista tehtiin ns. EDS-analyysi, joka kertoo niiden koostumuksen. Analyysin mukaan alueissa oli selvästi ympäristöä suurempi Cr- ja O-pitoisuus, joten ne ovat todennäköisesti peittauksessa pintaan jäänyttä hilsettä, josta pinnan tumma sävy johtuu.

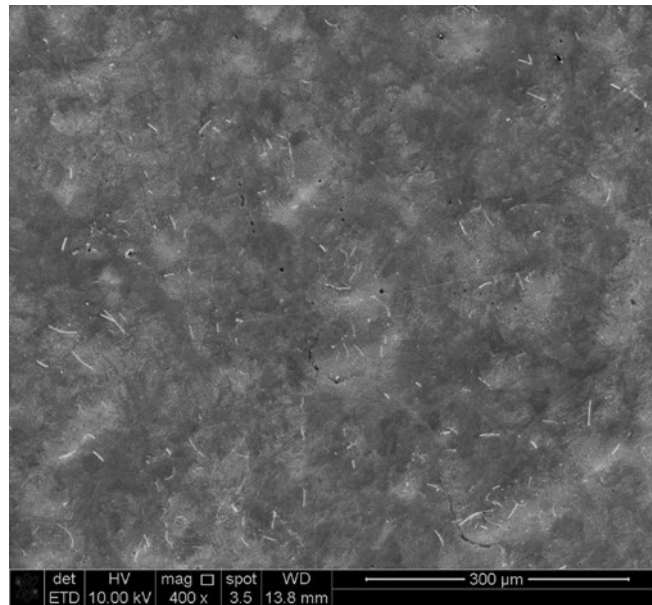
Elektrolyyttikiillotettuja näytteitä on tarkasteltu kuvissa 14, 15 ja 16. Niissä nähdään 8.0, N16.0 ja 32.0 käsiteltyjen näytteiden SEM/SE-kuvat.



Kuva 14. Elektrolyyttikiillotettu 8.0 käsitelty pinta (näyte 12B)



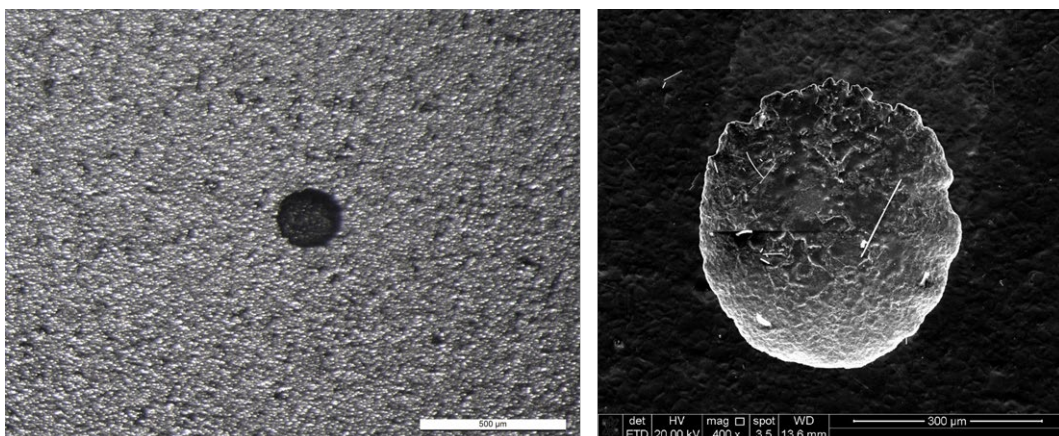
kuva 15. Elektrolyyttikiillotettu 16.0 käsitelty pinta (näyte 33B)



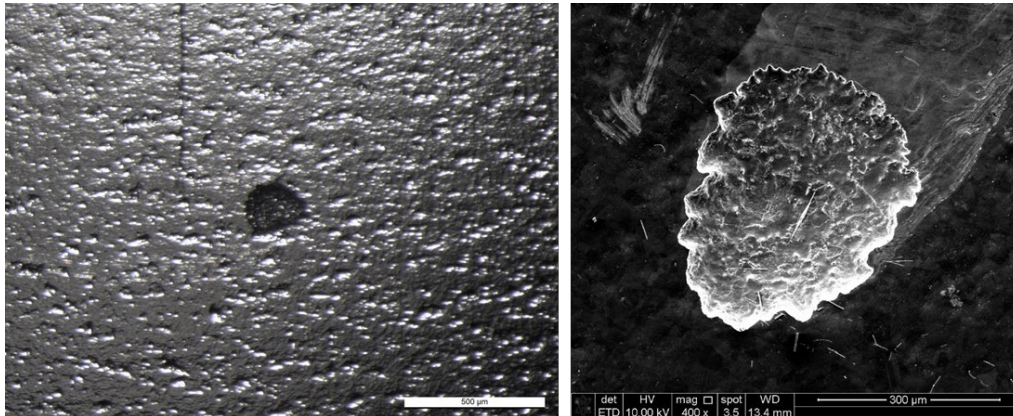
Kuva 16. Elektrolyyttikiillotettu 32.0 käsitelty pinta (näyte 25G)

Kuvasta 14 nähdään, että 8.0 käsittelyssä pinnassa on vielä jonkin verran nähtävissä raerajoja, joten kiillotuskäsittely ei ole kokonaan silittänyt pintaa. Sen sijaan kuvissa 15 ja 16 nähtävissä 16.0 ja 32.0 käsitellyissä pinnoissa ei juurikaan enää ole raerajoja näkyvissä, joten niissä kiillotus on selvästi voimakkaammin silittänyt pintaa. Myös pinnankarheusmittauksissa havaittiin, että 8.0 käsittelyn pinnan karheus on kiillotuskäsitellyistä suurin, joskin selvästi kuitenkin pienempi kuin 2B-pinnassa.

Kahdesta näytteestä kuvattiin myös CPT-kokeissa syntyneitä pistekorroosion ydintymiä makroskoopilla sekä SEM:llä, kuvat 17 ja 18.



Kuva 17. Makroskoopi- ja SEM-kuva pistekorroosion ydintymästä (Näyte 12B)



Kuva 18. Makroskooppi- ja SEM-kuva pistekorrosion ydintymästä (Näyte 23B)

Molemmissa kuvissa nähdään n. 0,3 mm:n kokoinen pistekorrosion ydin, josta pistekorrosio alkaa muodostua, mikäli altistuminen pistekorrosiolle jatkuu.

4 TULOSTEN TARKASTELU

Tulosten perusteella voidaan todeta, että INOX CORRO™ – elektrolyyttikiillotus vaikuttaa pistekorrosionkestävyyteen sitä parantavasti, kun tarkastellaan kriittistä pistekorrosionmuodostumislämpötilaa eli CPT-arvoa. Elektrolyyttikiillotuksilla INOX CORRO™ 16.0 ja N16.0 käsiteltyjen pintojen 16.0 ja N16.0 käsiteltyjen pintojen CPT arvot olivat keskimäärin n. 30 °C ja 25 °C, kun perusaineen CPT arvo tällä teräksellä on n. 20 °C. Koetulosten hajonta oli kuitenkin melko suuri, alimmillaan 16.0 käsitellyllä pinnalla CPT oli n. 20 °C, korkeimmillaan n. 45 °C. Se mistä hajonta johtuu, ei voida varmuudella sanoa, mutta esim. naarmut ym. jäljet näytteiden pinnassa saattavat vaikuttaa niin, että eri näytteissä pinnan ominaisuudet eivät ole vakioita, teräksessä voi olla epäpuhtauksia, tai itse koemenetelmästä voi aiheutua hajontaa. Voidaan kuitenkin todeta, että INOX CORRO™ 16.0 ja N16.0 käsittely keskimäärin parantaa pistekorrosionkestävyyttä merkittävästi. Parhaimmillaan INOX CORRO™ – käsittely nostaa CPT arvoa yli 20 °C:lla perusaineeseen verrattuna.

Kun kiillotuskäsittelynä oli perinteistä sähkökiillotusta mukaileva visuaalinen 8.0, oli CPT arvo keskimäärin hieman matalampi kuin perusaineella. Tässäkin hajontaa oli melko paljon

eli alin arvo oli selvästi perusainetta matalampi, mutta suurin arvo taas oli perusainetta korkeampi, joten mahdollisesti myös tämä kiillotuskäsittely voi hieman parantaa pistekorroosionkestävyyttä riippuen näytteestä, toisaalta voi myös hieman huonontaa sitä.

Liian pitkään jatkunutta kiillotuskäsittelyä demonstroiva 32.0 näyttäisi tulosten mukaan selvästi huonontavan pistekorroosion kestävyyttä. Keskimääräinen CPT oli n. 10°C matalampi kuin perusaineella eikä tuloksissa ollut kovin suurta hajontaa. CPT kokeissa pantiin merkille hieman muista poikkeava käyttäytyminen, jossa virta ei noussut äkillisesti vaan hitaasti, minkä aluksi otaksuttiin johtuvan kokeen epäonnistumisesta. Koska ilmiö toistui kolmesti, on ilmeisesti tulos oikea. Mahdollisesti matalammassa lämpötilassa tapahtuva pistekorroosion ydintyminen tapahtuu hitaammin aiheuttaen vastaavasti hitaamman virran nousun.

Kiillotuskäsittelyn vaikutus parantavasti pistekorroosionkestävyyteen voi johtua muutoksista pinnan koostumuksessa tai muissa ominaisuuksissa, esim. pinnankarheudessa tai puhtauudessa. GD-OES mittausten mukaan pinnassa oli 2B pintaa jopa n. 20% korkeampi PRE-arvo, eli niissä oli Cr ja Mo korkeammat kuin perusaineessa. Tämä saattaa osaltaan selittää korkeammat CPT arvot, mutta toisaalta näytti, että kaikissa kiillotetuissa, myös 32.0 käsitellyissä, PRE-arvot olivat korkeammat. 32.0 kiillotuskäsitellyllä näytteellä kuitenkin CPT näytti matalammalta kuin perusaineella, joten tämä ei tue sitä, että pistekorroosionkestävyys riippuisi pelkästään seosainepitoisuudesta vaan myös pinnan muut ominaisuudet vaikuttanevat korroosionkestävyyteen.

Elektrolyyttisesti kiillotetuissa näytteissä pinnankarheuksissa ei ollut suurta eroa keskenään vertailtuna, mutta SEM-kuvassa havaittiin, että 8.0 näytteessä oli raerajat vielä näkyvissä. Elektrolyyttinen kiillotus ei siis ollut vielä silittänyt niitä kokonaan, kun taas 16.0, N16.0 ja N32.0 käsitellyissä pinnoissa raerajat olivat kiillottuneet pois. Perinteistä sähkökiillotusta mukailevan 8.0 pinnan CPT oli lähimpänä perusainetta, mikä näyttää järkeenkäyvältä, koska siinä pinta ei ole niin paljon vielä muuttunut 2B-pinnasta, toisin kuin muissa kiilloteituissa pinnoissa. Elektrolyyttinen INOX CORRO™ 16.0 Kiillotus parantaa pistekorroosionkestävyyttä poistamalla raerajat ja muuten puhdistamalla pinnalta pistekorroosion ydintymistä helpottavia alueita. Raerajojen lisäksi sellaisina voivat toimia myös teräksessä olevat epäpuhtaudet, esim. sulkeumat, jotka poistuvat kiillotuksen vaikutuksesta. 32.0 kiillotetun

pinnan korroosionkestävyys kuitenkin näyttää olevan alentunut, mikä johtuu pinnan liian pitkälle jatkettu kiillotuksesta ts. ”ylikiillotumisesta”. Liikaa käsitellyn kappaleen pintaan syntyy pistekorroosion ydintymistä helpottavia, jopa visuaalisesti nähtäviä ”pittejä”, jolloin ilmiö tapahtuu matalammassa lämpötilassa huolimatta siitä, että pinnan seosainepitoisuudet ovat korkeat.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tutkittiin eri asteisten INOX CORRO™ elektrolyyttikiillotuskäsittelyjen vaikutusta EN 1.4404 tyyppisen ruostumattoman teräksen pinnan koostumukseen ja muihin ominaisuuksiin sekä korroosionkestävyyteen. Pinnan ominaisuuksia tutkittiin pinnankarheusmittauksilla ja mikroskooppitarkasteluilla sekä syvyysuuntaista koostumusprofiilia GD-OES-analysaattorilla. Korroosionkestävyyttä tutkittiin olosuhdekokeilla ja CPT-kokeilla. Tärkeimmät johtopäätökset ovat:

INOX CORRO™ elektrolyyttikiillotus vaikuttaa pinnan koostumukseen siten, että Cr-pitoisuus nousee lähellä pintaa 2B levyn pintaan verrattuna ja vastaavasti Fe- ja Ni-pitoisuudet jonkin verran laskevat. Mahdollisesti myös Mo rikastuu jonkin verran pinnassa nostaen yhdessä Cr:n kanssa teräksen pinnan PRE-arvoa keskimäärin n. 20 % 2B levyn pintaan verrattuna.

Optimiparametreilla suoritettu INOX CORRO™ elektrolyyttikiillotus parantaa pinnan pistekorroosionkestävyyttä suhteessa perusaineeseen. Kriittinen pistekorroosionmuodostumislämpötila (CPT) on 16.0 ja N16.0 kiillotuskäsittelyillä keskimäärin 5-10°C korkeampi, kuin materiaalin vertailuarvona käytetty hiotun pinnan CPT-arvo. Parempi korroosionkestävyys johtuu enimmäkseen käsitellyn pinnan korkeammasta Cr-pitoisuudesta sekä pinnan metallurgisesta puhtaudesta ja mahdollisten pistekorroosion ydintymispaikkojen vähyydestä käsittelemättömään kappaleeseen verrattuna.

6 VIITTAUKSET

1. ASTM G48-11(2015): Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution
2. ASTM G150-18: Standard Test Method for Electrochemical Critical Pitting Temperature Testing of Stainless Steels
3. Ruostumattomien terästen elektrolyyttinen kiillotus. Materiaalit ja niiden käyttösovellukset julkaisusarja, osa 11. Euroinox, ISBN 978-2-87997-312-8
4. SFS-EN 10088-1, TERÄKSET. OSA 1: RUOSTUMATTOMIEN TERÄSTEN LUETTELO Stainless steels. Part 1: List of stainless steels
5. <http://steelfinder.outokumpu.com>
6. SFS-EN ISO 9227:2017, Korroosiokokeet keinotekoisissa kaasuympäristöissä. Suolasumukokeet
7. M. Uemura, T. Yamamoto, K. Fushimi, Y. Aoki, K. Shimizu, H. Habazaki, Depth profile analysis of thin passive films on stainless steel by glow discharge optical emission spectroscopy, Corrosion Science 51 (2009) 1554–1559

