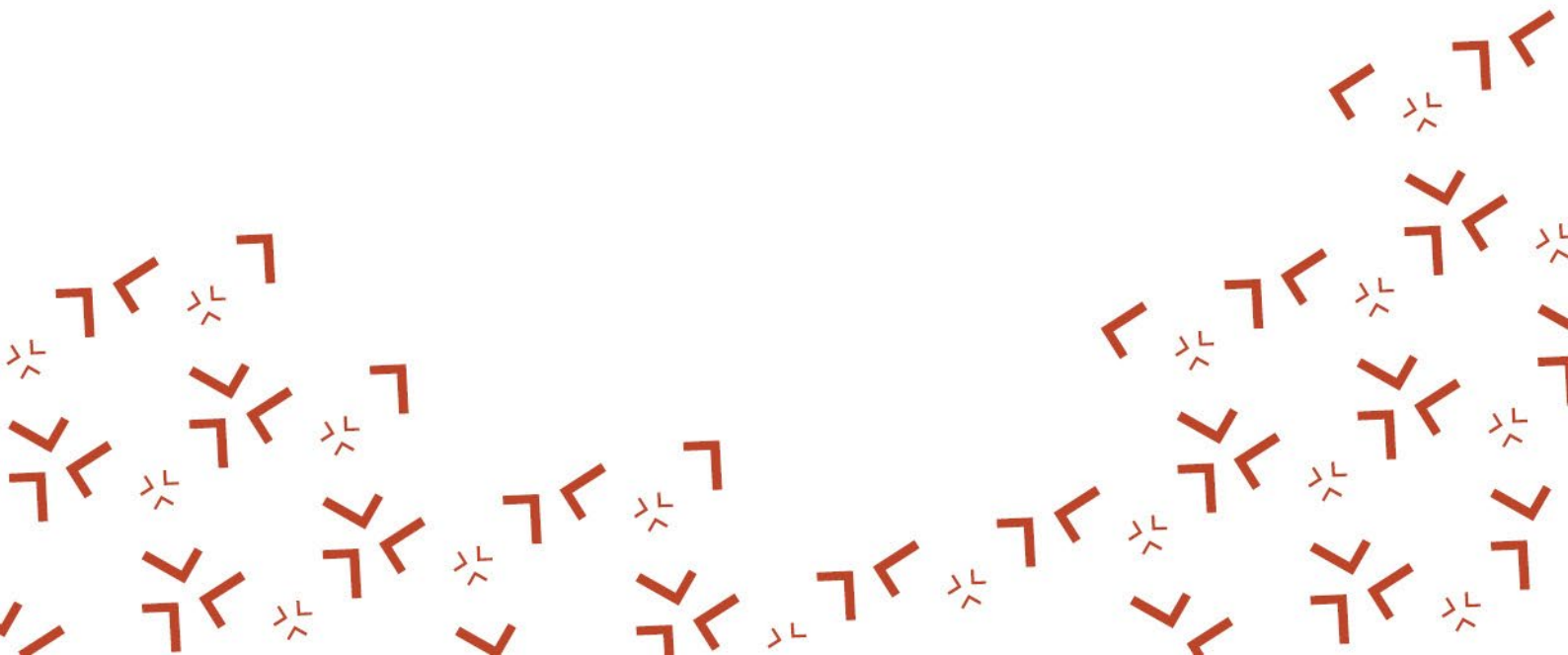


Tämä on alkuperäisen artikkelin rinnakkaistallenne (kustantajan versio).

Rinnakkaistallenteen sivuasettelut ja typografiset yksityiskohdat saattavat poiketa alkuperäisestä julkaisusta.

Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

Kauppi, T. 2022. Käytännön hitsausmetallurgiaa osa 7 : juurensuojaus ruostumattomien terästen hitsauksessa. Hitsaustekniikka. 74 (4), 39-43.



# Käytännön hitsausmetallurgiaa. Osa 7: Juurensuojaus ruostumattomien terästen hitsauksessa.

Timo Kauppi

Tässä ”käytännön hitsausmetallurgiaa” artikkelissa tarkastellaan ruostumattomien teräsputkien hitsauksessa tarvittavaa juurensuojausta ja sen puutteellisuuteen liittyvää korroosiota. Juurensuojauksen epäonnistuminen on ollut jo pitkään yksi kiistellyimmistä hitsausmetallurgisista ilmiöistä, joka vaikuttaa suoraan hitsausliitoksen korroosionkestävyyteen. Pistekorroosion aiheuttamien vaurioiden lukumäärä ei ole myöskään vähäinen, ja niiden juurisynä on usein puutteellinen juurensuojaus. Yksi suuri haaste tähän liittyen on selkeiden vaatimusten puuttuminen standardeista.

Ruostumattoman teräksen hitsauksessa hitsin alueen hapettuminen on väistämätöntä, jos hitsattavaa aluetta ympäröivän atmosfääriin happipitoisuus ylittää 50-60 ppm:n (0,005-0,006 %) pitoisuuden, jonka se tekee helposti. Putkien hitsauksessa juuren suojaus on usein haastavaa varsinkin asennushitseissä, ellei hitsien paikoitusta

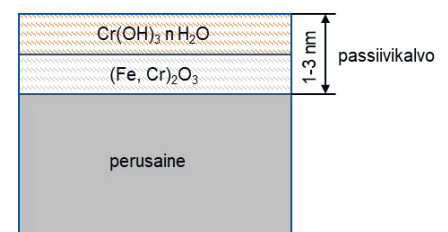
ole mietitty tarkkaan jo ennakolta. Tämä tarkoittaa sitä, että juurensuojauksen pitäisi lähteä liikkeelle suunnittelupöydältä ja sitä pitäisi tarkentaa tehtäessä hitsaus-suunnitelmaa ja suunniteltaessa asennuksia. Asiansa osaava hitsauskoordinaattori on ensiarvoisen tärkeässä roolissa koko prosessin ajan.

## Hieman sähkökemiallisesta korroosiosta

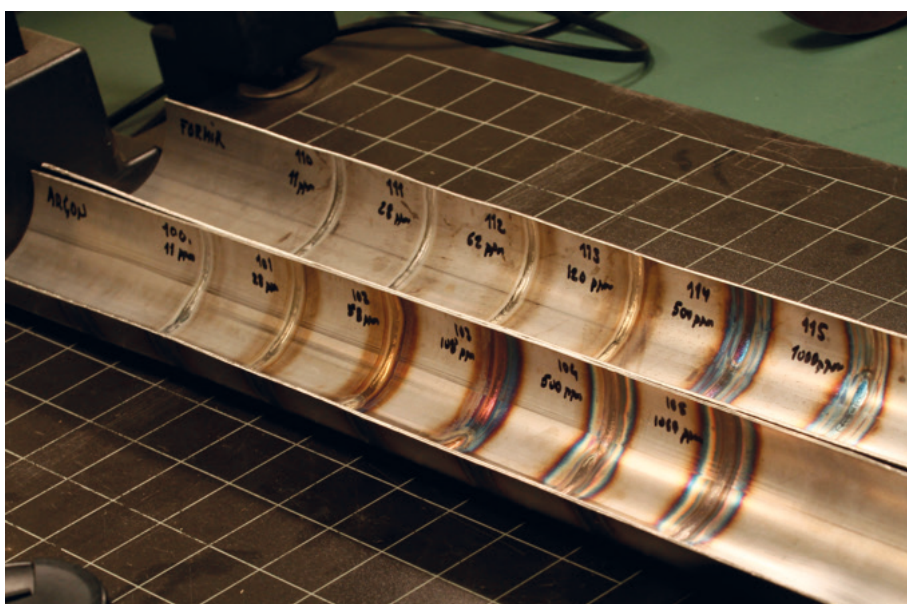
Yllättävän harva hitsausalan ammattilainen on perillä siitä, mistä ruostumattoman teräksen hitsin hapettumisesta ja etenkin sen vaikutuksesta korroosionkestävyyteen on ylipäätään kysymys. Jotta taustalla olevan ilmiön ymmärtää, niin pitää tuntea sähkökemiallisen korroosion perusteet.

Ruostumaton teräs on nk. passivoituvaa metallia, kuten useat käyttömateriaalit ja metalliseokset (mm. kupari, alumiini, titaani ja niiden seokset). Passivoituminen on seurausta metallin pintaan muodostuvasta kerroksesta tai kalvosta, joka vaikeuttaa korroosioreaktioiden nopeutta säätelevää osaprosessia. Käytännössä passivoituminen saattaa pysäyttää korroosioreaktion täysin. Sen paikallinen tuhoutuminen kuitenkin johtaa tilanteeseen, jossa pienen anodisen ja suuren katodisen alueen vuoksi korroosionopeus kasvaa hyvinkin suureksi, mikäli passiivikerros ei enää pääse uusiutumaan (Korroosio-käsikirja 2004, 90).

Passiivikalvo on tyypillisesti erittäin ohut ja tiivis kerros. Sen paksuus on vain n. 1-5 nm (0,000001 – 0,000005 mm) ja rakenne on nykykäsityksen mukaan kuvan 1 mukainen. Passiivikalvo syntyy hapen tai happekaan veden läsnä ollessa ja se koostuu kromi- ja rautaoksidoista ja hydroksidoista (Lukkari ym. 2019a, 18).



Kuva 1. Ruostumattoman teräksen passiivikalvon kaksikerrosmalli.



Juurikaasun käyttö ruostumattoman putken hitsauksessa ja hapettuminen. Ylemmässä putkessa juurikaasuna FORMIER 10 (Ar+10%H<sub>2</sub>) ja alemmassa puhtas argon. Jäännöshappipitoisuus putkessa kasvaa vasemmalta oikealle 10, 30, 50, 100, 500 ja 1000 ppm. ppm = 0,0001 %.

Metallien taipumusta sähkökemialliseen korroosioon voidaan karkeasti arvioida galvaanisen jännitesarjan avulla. Siinä esitetään eri metallien lepo- eli korroosipotentialit ( $E_{corr}$ ) standardivetyelektrodiin (SHE) verrattuna. Potentiaalia kutsutaan myös useasti avoimen piirin potentiaaliksi (OCP = Open Circuit Potential), kun halutaan korostaa sitä, että metallin pinnan läpi ei kulje nettovirtaa kumpaankaan suuntaan. Eli hyvällä lapsella on monta nimeä, mikä on omiaan aiheuttamaan sekaannuksia. Mitä korkeampi metallin lepopotentiaali on, niin sitä jalompi metalli on eli periaatteessa sitä paremmin se kestää korroosiota. Jos kaksi metallia, joiden korroosipotentialit poikkeavat toisistaan, yhdistetään galvaaniseksi kennoksi, niin epäjalompi metalli muodostuu sähkökemiallisen korroosioparin anodiksi ja alkaa syöpymään. Galvaaninen kenno puolestaan on standardin SFS-EN ISO 8044 (Metallien ja metalliseosten korroosio, termit ja määritelmät) mukaan ”erilaisten elektrodien yhdistelmä, joka on kytketty sarjaan elektrolyytin kanssa ja joka tuottaa sähkövirtaa, kun elektrodit kytketään yhteen ulkoisella johteella”.

Taulukossa 1 on annettu eräiden metallien ja metalliseosten lepopotentiaaleja virtaavassa merivedessä mitattuna. Merkillä pantavaa on se, että ruostumattomilla teräksillä lepopotentiaali laskee huomattavasti, jos passiivikalvo rikkoutuu. Tällöin teräksen pinta muuttuu passiivisesta aktiiviseksi.

**Taulukko 1. Virtaavassa merivedessä mitattu galvaaninen jännitesarja (Structx 2022, muokattu).**

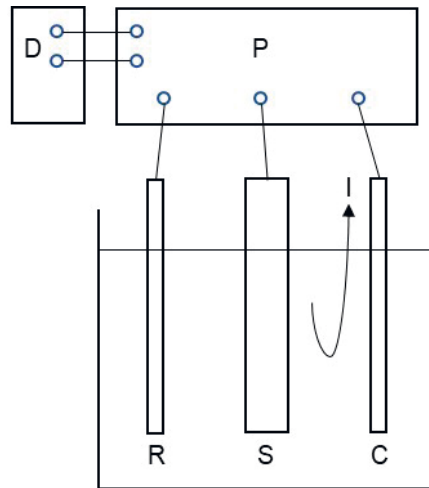
Alkuaine	$E_{corr}$	
	max	min
Grafiitti	0.36	0.19
Au, Pt	0.20	0.07
Ti	0.04	-0.12
Alloy 825	0.02	-0.10
AISI 316 (passiivinen)	0.00	-0.10
AISI 304 (passiivinen)	-0.05	-0.13
Ag	-0.09	-0.15
Pb	-0.17	-0.27
AISI 304 (aktiivinen) AISI 316 (aktiivinen)	-0.35	-0.45
C-Mn-teräs	-0.58	-0.71
Zn	-1.00	-1.07
Mg	-1.60	-1.67

epä-aktiivinen  
↑  
aktiivinen

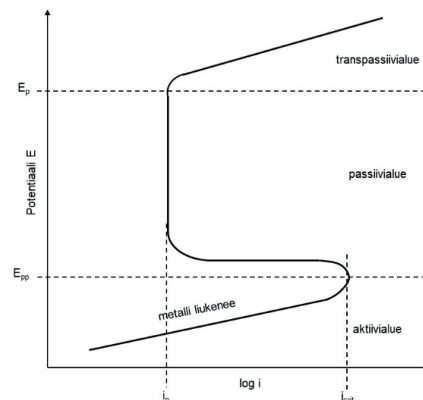
Metallien ja metalliseosten passivoitumista voidaan arvioida mittaamalla kuvassa 2 esitetyn koejärjestelyn avulla anodista liukenemiskäyttäytymistä kuvaava polarisaatiokäyrä. Kuvan potentiostaatilla muutetaan näytteen (S) ja referenssielektrodin (R) välistä potentiaalia hallitusti ja samanaikaisesti mitataan sekundäarielektrodin (C) ja näytteen (S) välillä kulkeva korroosiovirta I.

Passivoituvan metallin anodinen polarisaatiokäyrä ja siihen liittyvät käsitteet on esitetty periaate-tasolla kuvassa 3. Tasapainopotentialin lähistöllä anodisen reaktion

virrantiheyttä säätelee varauksensiirtopolarisaatio. Potentiaalın kasvaessa virrantiheys alkaa tiettyssä pisteessä pienenemään voimakkaasti (piste  $i_{crit}$  kuvassa 3). Potentiaalia, jossa kriittinen passivaatiovirrantiheys saavutetaan, kutsutaan passivaatiopotentiaaliksi ( $E_{pp}$ ) tai Fladen potentiaaliksi, jota positiivisimmilla potentiaaleilla virrantiheys ja näin ollen myös anodisen reaktion nopeus, putoaa hyvin pieneksi jopa miljoonaosaan maksimiarvostaan. Potentiaalialuetta, jossa virrantiheys pysyy pienenä, kutsutaan passiivialueeksi. Potentiaalın noustessa tarpeeksi, alkaa virrantiheys taas kasvaa ja tällöin ollaan nk. transpassiivialueella, jossa metalli alkaa taas syöpymään. Virrantiheyttä passiivialueella nimitetään passivaatiovirrantiheudeksi ( $i_p$ ) ja passivoituvilla metalleilla se on yleensä luokkaa  $10^{-5} \dots 10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup>.



Kuva 2. Potentiostaattilaitteisto, R = referenssielektrodi näytteen (S) ja elektrolyytin potentiaalın määrittämiseksi, C = inertti sekundäarielektrodi (esim. platinaa). P = potentiostaatti, D = potentiaalia halutulla tavalla muuttava ohjausjännitelähde (Korroosiokäsikirja 2004, 74, muokattu).



Kuva 3. Passivoituvan metallin polarisaatiokäyrä kaaviollisesti esitettynä (Korroosiokäsikirja 2004, 93, muokattu).

Ruostumattomien terästen korroosiolle on tyypillistä se, että se on paikallista ja ilmenee useasti piste- tai rakokorroosiona. Ruostumattomilla teräksillä pistekorroosiota esiintyy vain tietyllä pH- ja potentiaalialueella. Rajapotentiaalia, jota positiivisemmilla potentiaaleilla pistesyöpymiä alkaa muodostua rakenteeseen, kutsutaan pistekorroosipotentialiksi (pitting potential)  $E_p$ , kuva 3. Tämä potentiaali voidaan määrittää esim. standardin ASTM G61 (Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt-Based Alloys) vaatimusten mukaisella potentiodynaamisella polarisaatiomittauksella.

## Hitsin hapettuminen

Korkeissa lämpötiloissa teräksen pinta alkaa hapettumaan, kun ilmassa oleva happi reagoi korkean happiaffiniteetin omaavien alkuaineiden, kuten kromin, piin, alumiinin, nikkelin, mangaanin ja raudan kanssa. Ruostumattomassa teräksessä oleva rauta ja kromi muodostavat teräksen pintaan lämpötilasta riippuen tietynpaksuisen oksidikalvon, joka näkyy silmälle eri värisävyinä eli päästöväreinä, taulukko 2. Syntyvä oksidikerros on huomattavasti paksumpi kuin passiivikalvo eikä se suojaa ruostumattoman teräksen pintaa korroosiolta. Lisäksi sen alle muodostuu kromiköyhä vyöhyke, jossa korroosionkestävyys heikkenee vielä enemmän.

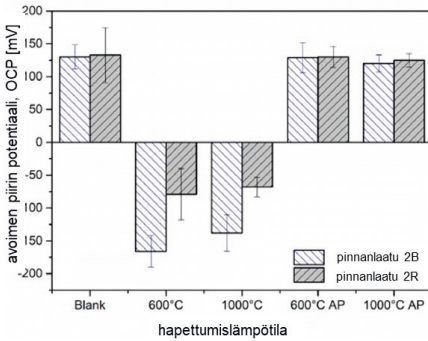
**Taulukko 2. Eri lämpötiloissa AISI304 tyyppiseen austeniittisen ruostumattoman teräksen pintaan syntyvät päästövärit (engl. heat tint) (Weldknowledge 2015).**

Väri	Muodostumis- lämpötila (noin)
Haalean keltainen	290 °C
Oljenkeltainen	340 °C
Ruskea	390 °C
Tummanvioletti	450 °C
Sininen	540 °C
Tummansininen	600 °C

Kirjallisuudesta löytyy aika hyvin tietoa hitsauksen yhteydessä tapahtuvan pinnan hapettumisen vaikutuksesta korroosionkestävyyteen. Kuvassa 4 on esitetty, miten eri lämpötiloissa tapahtunut pinnan hapettuminen ja teräksen pinnanlaatu vaikuttavat avoimen piirin potentiaaliin (OCP) AISI 304 -tyyppisellä austeniittisellä ruostumattomalla teräksellä. Kuva on tutkimuksesta, jossa hitsauksessa tapahtuvaa hapettumista

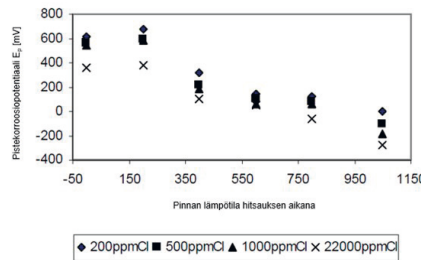
jäljiteltiin tekemällä näytteille 10 minuutin hehkutus 600 °C ja 1000 °C lämpötiloissa. Oksidikerroksen paksuus oli alemmassa lämpötilassa välillä 75-100 nm (0,000075-0,0001 mm) ja korkeammassa välillä 125-175 nm (0,000125-0,000175 mm) eli se oli kasvanut huomattavasti.

Kokeita tehtiin kahdelle pinnanlaadulle: 2B (kylmävalssattu, hehkutettu, peitattu ja viimeistelyvalssattu) ja 2R (kylmävalssattu ja kiiltohehkutettu). Nämä poikkesivat toisistaan pinnankarheuden suhteen, kiiltohehkutetun nauhan pinnankarheus ollessa erittäin pieni, Ra ≈ 0,01-0,03 µm (0,001-0,003 mm). Korroosionkestävyyden kannalta sileä pinta on edullinen. Kuvan perusteella OCP-potentiaali putosi huomattavasti hapettuneilla näytteillä ja pinnanlaadun vaikutus oli myös merkittävä. Toisaalta kuva osoittaa myös sen, että asianmukainen hitsin jälkikäsitteily (peittäus ja passivointi) nostaa potentiaalin alkuperäiselle tasolle.



Kuva 4. Ilmassa 10 min lämpökäsitelyjen 2B ja 2R pintojen avoimen piirin OCP potentiaalit 5% NaCl – elektrolyytissä mitattuna, AP = peitattu ja passivoitu (Pradeep 2017, 67, muokattu).

Kuvassa 5 nähdään Elshaweshin & Elhoudin austeniittiselle ruostumattomalle teräkselle AISI 304 tehdyn tutkimuksen tuloksia. Kuvan perusteella teräksen pinnan lämpötilan nouseminen ja sen johdosta tapahtuva epäedullisen oksidikerroksen muodostuminen heikentää selvästi pistekorrosionkestävyyttä. Taulukossa 3 puolestaan on annettu Masi ym. tekemässä tutkimuksessa AISI 316 -tyyppisille molybdeeniseosteisille austeniittisille ruostumattomille 1D (kuuma-valssattu, hehkutettu ja peitattu), 2B ja 2R pinnanlaaduille tehtyjen korroosio- (OCP) ja pistekorrosiopotentiaalimittausten (Ep) tuloksia. Taulukossa käsittelytilat ovat seuraavat: PA = perusaine, HAZ = hitsin hapettunut muutosvyöhyke ja PP = peittaamalla ja passivoinnilla jälkikäsitelty hitsi. Taulukon perusteella hapettuneen hitsin OCP- ja Ep -arvot ovat pudonneet huomattavasti ja näin ollen hitsin korroosionkestävyys heikentynyt. Huomattavaa on se, että jälleen oikeanlaisella hitsin jälkikäsitelyllä potentiaalit saadaan nousemaan takaisin vahingoittumattoman perusaineen tasolle ja korroosionkestävyys palautumaan.

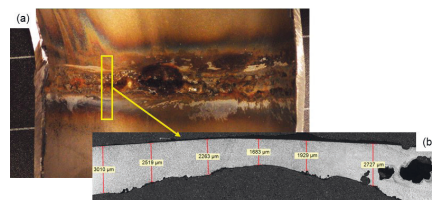


Kuva 5. Hitsin hapettumisen vaikutus AISI 304 -tyyppisen austeniittisen ruostumattoman teräksen pistekorrosiopotentiaaliin eri kloridipitoisuuksilla (Elshawesh & Elhoud 2017, 3, muokattu).

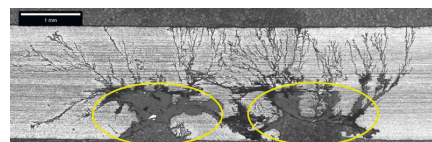
### Taulukko 3. Pinnanlaadun ja käsittelytilan vaikutus OCP ja Ep-arvoihin (Masi ym. 2020, 13-14).

Pinnanlaatu	Käsittelytila	OCP [V]	Ep [V]
1D	PA	-0.143	0.143
1D	HAZ	-0.355	-0.215
1D	PP	-0.243	0.539
2B	PA	-0.155	0.530
2B	HAZ	-0.344	0.019
2B	PP	-0.119	0.552
BA	PA	-0.216	0.519
BA	HAZ	-0.295	-0.052
BA	PP	-0.147	0.556

Miltä tämä kaikki sitten näyttää todellisessa hitsissä? Pahimmillaan puhutaan kuvien 6 ja 7 mukaisista tilanteista. Kuvassa 6a nähdään uimahallin käyttövesilinjan asennushitsi. Kuvan tapauksessa juurensuojaus oli ollut täysin puutteellinen ja hitsin alue oli päässyt hapettumaan pahasti, kuten pinnassa olevista päästöväreistä nähdään. Kuvasta 6b nähdään, kuinka hitsin poikkipinnan paksuus on ohentunut jo alle 2 mm:iin. Kuvassa 7 on puolestaan kyse hitsauksen yhteydessä hapettuneessa pinnassa olevan pistekorrosion ydintämästä jännityskorroosiosta.



Kuva 6. Pistekorrosion vaurioittama uimahallin käyttövesilinjan asennushitsi.



Kuva 7. Pistekorrosion (keltaisella rajatut alueet) ydintämiä jännityskorroosiosäröjä.

## Kuinka juurensuojaus sitten onnistuu?

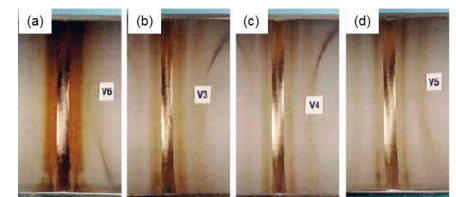
Tähän on periaatteessa hyvin yksinkertainen vastaus: ”huuhtelemalla happi pois inertillä kaasulla ja pitämällä kaasusuojaus yllä hitsauksen aikana ja jonkin aikaa sen jälkeen”. Helppo ohjeistaa, mutta haastava toteuttaa useassa tapauksessa.

Thomas Ammanin Hitsaustekniikka-lehden 1/2012 artikkelissa (Thomas Amman, Juurensuojaus) on tehty erittäin kattava katsaus juurensuojaukseen, jota on referoitu seuraavassa.

Hitsauksessa käytettävät juurensuojakaasut sisältyvät standardiin SFS-EN ISO 14175 (Hitsausaineet. Kaasut ja kaasuseokset sulahitsaukseen ja sen lähiprosesseille). Juurensuojaukseen käytettävät kaasut kuuluvat tavallisesti ryhmiin I (inertit kaasut), R (pelkistävät kaasut) ja N (heikosti reaktiiviset kaasut tai pelkistävät kaasut sisältäen typpiä). Useimmiten käytössä ovat puhdas argon tai typen ja vedyn seoskaasu (esim. Formier 10).

Kaupallinen argon on puhtaudeltaan 99,99%. Argonin toiminta perustuu tietysti siihen, että se on inertti kaasu ja syrjäytettyään hapen kaasutettavasta tilasta hapettumista ei enää tapahdu. On vain huolehdittava, että virtausnopeus ja huuhdelaika ennen hitsauksen aloittamista ovat riittävät. Suojattava alue on suljettava kaasutiiviiksi ja sen jälkeen se huuhdellaan happivapaaksi. Kaasun virtausnopeus esihuuhdelussa on esim. 5-10 l/min ja hitsauksen aikana 2-3 l/min.

Formier kaasut ovat typen ja vedyn seoksia (5 tai 10 % vetyä). Vety on pelkistävä kaasu ja sitä käytettäessä juuritilassa voi olla jonkin verran happea sen kuitenkin hapettamatta hitsin ja teräksen pintaa. Formier 10 (Ar+10 % H<sub>2</sub>) on käytännössä palava kaasu, joka tuo tietysti omat haasteensa sen käyttöön. Vedyn pelkistävä vaikutus nähdään kuvassa 8. Kuvan perusteella 10-20 % vetyä suojakaasussa pystyy ehkäisemään hapettumisen lähes täysin jäännöshappipitoisuuden ollessa 100 ppm (0,01 %). Vety vaikuttaa myös sulan metallin pintajännitykseen hitsin juuressa, mikä edistää juuren muotoutu-



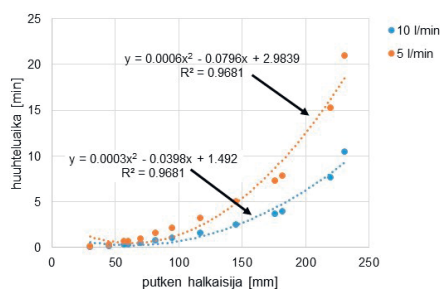
Kuva 8. Titaanistabiloidun ruostumattoman teräksen EN 1.4571 putken (Ø 60,2 mm ja t = 3 mm) juurenpuolen hapettuminen, kun juurikaasuna on käytetty a) Ar, b) N<sub>2</sub> + 5 % H<sub>2</sub>, c) N<sub>2</sub> + 10 % H<sub>2</sub> ja d) N<sub>2</sub> + 20 % H<sub>2</sub>. Kaikissa tapauksissa jäännöshappipitoisuus on ollut 100 ppm (Amman 2012, 15).

mista ja liittymistä perusaineeseen (Amman 2012, 15).

Kuvassa 9 on esitetty esihuuhteluajan las- kennallinen riippuvuus putken halkaisijasta ja suojakaasun virtausnopeudesta. Kuvaa- jissa on käytetty todellisia kaasutilavuuksia, jotka on saatu määritettyä käyttämällä kau- pallisten juurikaasusuojauslaitteiden (Walter Schnorrer®) mittoja (taulukko 4). Mielenkiin- toista kuvaajissa on se, että virtausnopeu- den tuplaamisella on merkitystä vasta yli 100 mm halkaisijoilla.

#### Taulukko 4. Esihuuhteluajan laskennassa käytetyt kaasutettavan tilan mitat.

Putken sis. ø [mm]	Kaasutilan pituus [mm]	Kaasutilan tilavuus [l]
30 - 45	80	0,6 – 1,3
57 - 70	120	3,1 – 4,6
82 - 182	150	7,9 – 39
220	200	76
231	250	104,8



Kuva 9. Putken halkaisijan vaikutus lasken- nalliseen esihuuhtelu-aikaan kahdella suoja- kaasun virtausnopeudella.

Kaasuhuuhtelua pitää jatkaa niin kauan, että teräksen pinnan lämpötila laskee riittä- vän matalaksi, jotta hapettumista ei pääse tapahtumaan hitsauksen jälkeenkään. Ruos- tumattomille teräksille tämä lämpötila on n. 250 °C.

Pieni, mutta tärkeä yksityiskohta on suo- jakaasun tiheys (ominaispaino). Argon on ilmaa raskaampi ja typpi-vetyseokset taas ilmaa keveämpiä. Ilmaa keveämmät kaasut tulee johtaa huuhdeltavaan tilan yläkautta. Juurikaasu kerääntyy tällöin kaasutettavan tilan yläosaan, josta se kulkee alaspäin ja samalla syjäyttää ilman alakautta. Ilmaa ras- kaammat kaasut tuodaan huuhdeltavaan tila- laan alakautta, josta ne työntävät ilmaa ylös ja sieltä ulos huuhdeltavasta tilasta (Amman 2012, 16).

Kaupallisia juurensuojauslaitteistoja löy- tyy monipuolinen valikoima eri valmistajilta. Näitä ovat mm. Walter Schnorrerin kumilaip- paiset ja Huntington Fusionin täytettävät juu- rensuojauslaitteet (kuva 10), joiden maahan- tuoja on Oululainen Ladek Ky.

Kun käytetään vetyä sisältäviä juurikaasu- ja, on huolehdittava siitä, ettei ilman kanssa



Kuva 10. Kaupallisia juurensuojauslaitteita.

muodostu palavia seoksia. Palavan kaasu- seoksen muodostuminen edellyttää tiettyä ilman ja vedyn vähimmäispitoisuuksia. Vety- pitoisuuden raja-arvo N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> -seoksissa on 5,5 % ja 4,2 % Ar/H<sub>2</sub> -seoksissa. Niin kauan kuin vetypitoisuus pysyy pullossa tämän ra- jan alapuolella, palavan kaasuseoksen syn- tyminen ilman kanssa ei ole mahdollista. Käytännössä juurensuojauslaitteita käytetään nimenomaan Formier 10 kaasua (Amman 2012, 20).

Tukehtumista ajatellen pätevät samat säännöt kuin muidenkin suojakaasujen koh- dalla. Juurikaasu on hajuton, väritön ja mau- ton. Inertin kaasun aiheuttama tukehtuminen voi ilmetä ilman mitään ennakkovaroituksia. Siellä missä se on tarpeen, on syytä käyttää asianmukaisia mittareita, jotka ilmaisevat hen- gitysilman muutoksista (Amman 2012, 20).

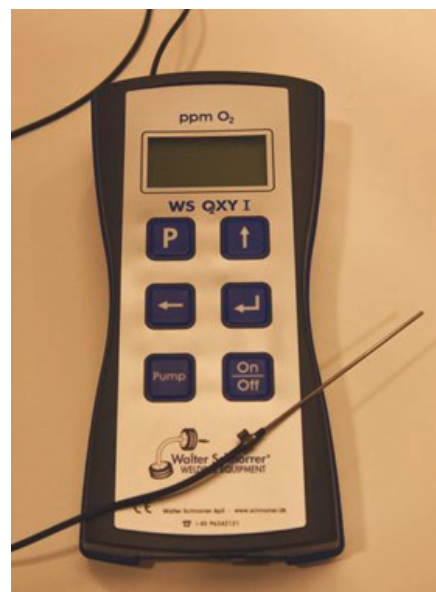
Jäännöshapen määrän mittaukseen on saatavana erilaisia mittareita. Mittaria hankit- taessa on tiedettävä muutama perusasia eli:

- mittarilla pitää olla riittävä mittausalue, erityisesti pienille happipitoisuuksille (10 ppm ja siitä ylöspäin)
- mittari pitäisi olla vaihdettavissa vetyä sisältävän kaasun ja ei vetyä sisältävän kaasun mittaukseen.

Yksi tällainen mittari on Walter Schnorrerin WS OXY I jäännöshappimittari (kuva 11). Jäännöshapen mittausalue on 10-1000 ppm (0,01-1 %) ja mittarilla voidaan mitata vetyä sisältäviä tai vetyä ei sisältäviä kaasuja.

## Standardimaailma

Kuten alussa jo todettiin, niin selviä vaati- muksia tai hyväksymisrajoja ei ruostumat- tomien terästen hitsien puhtaudella ole juurikaan löydettävissä. Teollisuusputkisto- standardissa SFS-EN 13480 todetaan koh- dassa 9.11.3 "Ulkopuoliset hitsit" seuraav- vasti: "Austeniittisilla korroosionkestävillä teräksillä olisi vältettävä oksidin muodostuminen vastapuolelle". Hitsiluokkastandar- dissa SFS-EN ISO 5817 puolestaan pääs- töväreistä todetaan: "Hyväksyminen riippuu sovellutuksesta, esim. materiaalista, kor- roosionsuojasta". Ei kovinkaan täsmällistä, vai mitä?



Kuva 11. Lapin AMKin Walter Schnorrerin WS OXY I jäännöshappimittari.

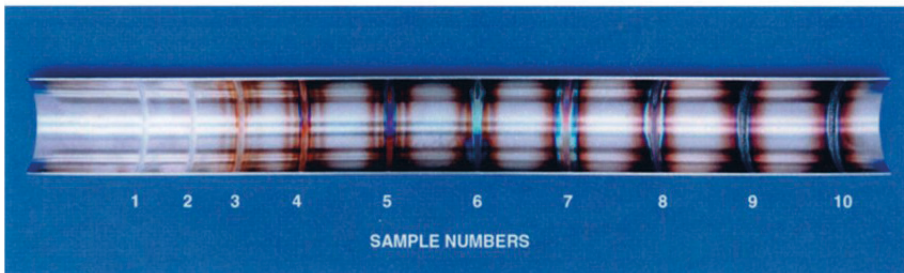
Ilmeisesti ainoat standardit, joissa asiaan otetaan selvää kantaa, ovat AWS-standar- dit D18.1 (Specification for Welding of Aus- tenitic Stainless Steel Tube and Pipe Sys- tems in Sanitary (Hygienic) Applications) ja D18.2 (Guide to Weld Discoloration Levels on Inside of Austenitic Steel Tube). Standar- din AWS D18.1 kohdassa 6.2.2.3 todetaan seuraavasti:

"The weld surface shall not contain exces- sive discoloration. Oxidation indicated by dis- coloration shown in Examples 4 through 10 of Figure 2 is unacceptable in the as-welded condition, unless otherwise agreed upon by the Owner and the fabricator".

Kuva, johon standardin AWS 18.1 tekstin- sä viitataan (Figure 2) on kuvassa 12 nähtävä värikartta. Tämä värikartta on julkaistu ai- nakin Hitsaustekniikka-lehden-lehden nume- roissa 4/2011 (Boulton & Avery, Päästövärit ruostumattomien terästen hitsiseissä – ohjeita hyväksymiselle) ja 1/2013 (Anttila, Lauhikari & Heikkinen, Ferriittisten ruostumattomien terästen hitsien jälkikäsitteilyt) eli viimeksi melkein kymmenen vuotta sitten. Standardin AWS D18.1 kohdan 6.2.2.3 vaatimusten mu- kaan asteiden 1-3 värjäytymät ovat sallittuja ja 4-10 eivät ole sallittuja. Kuvassa olevat happipitoisuudet: 10 ppm = 0,001 % ja 50 ppm = 0,005 % sekä 1000 ppm = 0,1 % ja 25000 ppm = 2,5 %.

Tanskalainen tutkimuslaitos Force Insti- tute on julkaissut v. 1994 raportin, jossa on esitetty viisi (5) värikarttaa ruostumat- tomien terästen hitsien juurenpuolen värin arviointia ja hyväksymistä varten. TIG-vertai- luhitsit on tehty austeniittisiin ja austeniittis- ferriittisiin teräsputkiin erilaisia juurikaasuja käyttäen, joissa jäännöshappipitoisuuksia on vaihdeltu. Force-instituutin suositus on se, että austeniittisissä ruostumattomissa teräksissä voidaan sallia harmaa / vaalean- keltainen väri hitsatussa pinnassa.

No. 1—10 ppm	No. 3—50 ppm	No. 5—200 ppm	No. 7—1000 ppm	No. 9—12 500 ppm
No. 2—25 ppm	No. 4—100 ppm	No. 6—500 ppm	No. 8—5000 ppm	No. 10—25 000 ppm



Kuva 12. AISI 316L -putkeen syntyneitä päästövärejä (AWS D18.2 2009).

## Juurensuojauksen syvin olemus

Kuten ingressissä todettiin: ”Ei ole myöskään vähäinen se pistekorroosion aiheuttamien vaurioiden lukumäärä, joiden juurisyytä on ollut puutteellinen juurensuojaus”. Vaikuttaa selvästi siltä, että hitsaavissa yrityksissä on tämän asian suhteen kahta koulukuntaa eli niitä, jotka tiedostavat asian merkityksen ja niitä, jotka eivät välttämättä ymmärrä, minkä riskin puutteellinen juurensuojaus voi aiheuttaa.

Mäntsäläläisen Balanus Oy:n tuotantopäällikön **Jussi Tokolan** kanta asiaan on selkeä: ”Juurensuojaus lähtee jo suunnittelu-pöydältä. Siellä tehdään ruostumattomien putkistojen korroosionkestävyyden, toimivuuden ja laadunhallinnan kannalta keskeiset ratkaisut”. Balanuksella jokainen putkistoprojekti suunnitellaan alusta asti itse ja yrityksen kehittämällä MES-järjestelmällä tuotannon ohjaus ja seuranta voidaan tehdä reaaliajassa ja se on läpinäkyvää myös tilaajalle. Yksi tärkeä asia laadunhallinnan kannalta on pyrkiminen mahdollisimman suureen esivalmisteen osuuteen, koska juurenpuolen suojauskin on tietysti aina helpompaa toteuttaa konepajaolosuhteissa. Yksittäisissä hankkeissa esivalmisteen osuus on tyypillisesti jopa 80-90 %.

Turula Engineering Oy:n Welding Managerin IWE, IWI-C **Antti Nykäsen** mukaan ”Putken juurenpuolen pitää olla kirkas ja sen suhteen ei voi tinkiä – monesti vaaditaan kylläkin erikoisjärjestelyjä, jotta juurensuojaus saadaan kohteeseen”. Turula Engineeringillä on vankka kokemus erittäin vaativien erikoisteräksistä tehtyjen ratkaisujen toteuttamisesta. Runsasseosteisten austeniittisten ruostumattomien terästen (mm. 904L ja 254SMO) ja titaanin käsittely ja hitsaus ovat rutiinia Turula Engineeringin konepajalla. Yksi olennainen osa laadunhallintaa on henkilöstön koulutus, jota Nykäsen mukaan konepajalla tehdään jatkuvasti.

”Juurensuojaus on yleensä toteutettavissa, kyse on useasti vain viitseliäisyydestä ja ammattitaidosta”. Tätä mieltä on yrittäjä **Jyri Nukari** JN Titan Welding Oy:stä. ”On kuitenkin kohteita, joissa kaasutus vaatii paljon työtä ja aikaa, jolloin syntyvät kustan-

nukset voivat olla yllätys kaikille projektin osapuolille. Tällaisia ovat esimerkiksi vanhoihin suurihalkaisijaisiin putkilinjoihin jälkeinpäin hitsattavat yhteen”, hän jatkaa. JN Titan Welding Oy toimii Oulun eteläpuolella Kempeleessä, jossa se tekee erikoismetallien (runsasseosteiset austeniittiset ruostumattomat teräkset, titaani, nikkeliseokset, zirkoni) hitsausta, konepajavalmistusta ja asennuksia. Titaanin ja zirkonin hitsaus on omalta osaltaan tuonut kokemusta hitsattavan metallin hapettumisen ehkäisemiseen liittyvistä haasteista, joissa opitut tekniikat ovat sovellettavissa ruostumattomien terästen hitsauksessa.

Eli toteamus ”Ei tuossa paikassa mitenkään pystynyt tekemään kaasutusta...” ei usein pidä paikkaansa, vaan se on selkeästi laiminlyödyn työn selittelyä ja kuvastaa sitä, että kyseessä oleva yritys kuuluu valitettavasti siihen ei toivottuun koulukuntaan.

## Korroosiotutkimusta

Syksyn 2022 aikana Oulun yliopistossa on tarkoitus tehdä tutkimus juurenpuolen hapettumisen vaikutuksesta EN 1.4307 (X2CrNi18-9) ja EN 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2) teräsputkien korroosionkestävyyteen.

Tutkimusprojektissa tehdään tilastollista koesuunnittelua hyödyntäen koehitsausmatriisia, jolla tutkitaan teräslajin, suojakaasun ja jäännöshappipitoisuuden vaikutusta standardin ASTM G61 (Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt- Based Alloys) vaatimusten mukaisella potentiodynaamisella polarisaatiomittauksella määritettyyn pistekorrosiopotentiaaliin ja korroosionkestävyyteen standardin SFS-EN ISO 9227 (Korroosiokokeet keinotekoisissa kaasuympäristöissä. Suolasumukokeet) vaatimusten mukaisessa suolasumutestissä.

Koehitsaukset tehdään kempeleläisessä erikoismetallien hitsaukseen, konepajavalmistukseen ja asennukseen erikoistuneessa JN Titan Welding Oy:ssä. Koemateriaalin

toimittaa Stala Tube Oy ja tarvittavat suoja-kaasut Woikoski Oy.

Tutkimukseen liittyvä korroosiotestaus tehdään oppimisprojekteina Oulun yliopiston materiaali- ja konetekniikan opetukseen liittyvässä kurssissa ”465114S Fysikaalisen metallurgian harjoitustyöt” ja Lapin AMKin konetekniikan opetukseen liittyvässä opintojaksossa ”K502K2010J Työelämälähtöinen projekti”.

Tutkimustuloksia tullaan julkaisemaan aikanaan myös Hitsaustekniikka -lehdessä.

## Lähteet

AGA. 2016. Suojakaasukäsikirja.

Amman T. 2012. Juurensuojaus. Hitsaustekniikka lehti 1/2012.

Boulton ja Avery. 2011. Päästövärit ruostumattomien terästen hitseissä – ohjeita hyväksymiselle. Hitsaustekniikka-lehti 4/2011.

Elshawesh F. & Elhoud A. 2004. [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:36105043](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:36105043).

Masi G., Chiavari C., Martini C., Pasini F., Sessa S., Gandolfi F. & Bignozzi M.C. 2020. Assessment of the effect of surface finishing processes on the pitting resistance in saline environments of welded AISI 316L stainless steel. La Metallurgia Italiana. September. 2020. Pdf asiakirja. Haettu 23.5.2022. Ladattavissa. [http://www.aimnet.it/la\\_metallurgia\\_italiana/2020/settembre/masi.pdf](http://www.aimnet.it/la_metallurgia_italiana/2020/settembre/masi.pdf).

Lukkari J. 2003. Ruostumattomien putkien TIG-hitsien juurensuojaus – Kaasu, kaasua! hitsaaja Palmu. Hitsaustekniikka-lehti 3/2003.

Lukkari J., Kyröläinen A. & Kauppi T. 2019. Hitsauksen materiaalioppi. Osa 2 a. Metallit ja niiden hitsattavuus. Suomen Hitsaustekniillinen Yhdistys ry. ISBN 978-951-98212-8-3.

Pradeep K. 2017. Influence of artificially produced tinting colors on the corrosion resistance of AISI 304 stainless steel. Master's Thesis. Graz University of Technology. 104 p.

Structx. 2022. Internet sivusto. Haettu 22.5.2022. Luettavissa [https://structx.com/Material\\_Properties\\_001.html](https://structx.com/Material_Properties_001.html).

Weldknowledge. 2015. Internet sivusto. Haettu 22.5.2022. Luettavissa <https://weldknowledge.com/2015/08/21/welding-heat-tint-on-stainless-steel/>.

**Timo Kauppi, IWE, IWI-C, TkL**  
Oulun yliopisto /  
Lapin ammattikorkeakoulu  
[timo.kauppi@lapinamk.fi](mailto:timo.kauppi@lapinamk.fi)