

Samuli Ståhlstedt

Rst-lämminvesivaraajan kehitystyö

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

26.11.2015

Tekijä Otsikko	Samuli Ståhlstedt RST-lämminvesivaraajan kehitystyö
Sivumäärä Aika	28 sivua + 0 liitettä 26.11.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotesuunnittelu
Ohjaaja	Lehtori Juha Kotamies
<p>Tämä insinöörityö on tehty Metropolia Ammattikorkeakoulun ja lehtori Juha Kotamiehen toimeksiannosta. Aiheena on laivakeittiössä käytettävän ruostumattomasta teräksestä valmistetun lämminvesivaraajan kehitystyö.</p> <p>Korroosion seurauksena lämminvesivaraaja on ajan mittaan alkanut vuotamaan. Tämän työn tavoitteena on selvittää varaajan korroosiolle altistavat suunnittelu- ja valmistusvirheet, tutustua ruostumattomaan teräkseen materiaalina sekä tunnistaa ruostumattoman teräksen korroosionmuodot ja niiden aiheuttajat.</p> <p>Insinöörityön lopputuloksena on laadittu lämminvesivaraajan konstruktion ja valmistukseen kehitysehdotukset, joiden avulla parannetaan sen korroosionkestävyyttä.</p>	
Avainsanat	Ruostumaton teräs, korroosio

Author Title	Samuli Ståhlstedt Development of Stainless Steel Water Heater
Number of Pages Date	28 pages + 0 appendices 26 November 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Machine Design Engineering
Instructor	Juha Kotamies, Lecturer
<p>The Bachelor's thesis was commissioned by Metropolia University of Applied Sciences and Juha Kotamies, Senior Lecturer. The topic of this thesis is a development project of a stainless steel water heater which is used in a kitchen of a cruise liner.</p> <p>As a result of corrosion the water heater has started to leak. The goal of this thesis is to determine the water heater's design and manufacturing flaws that have exposed it to corrosion and to familiarize with stainless steel as a material. In addition, the objective was to identify different corrosion types in stainless steel and what causes them.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, solutions were suggested to improve the design, manufacturing methods and the structure of the heater. The aim of these development solutions was to improve the corrosion resistance of the water heater.</p>	
Keywords	Stainless steel, Corrosion

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ruostumaton teräs	1
2.1	Ominaisuudet	1
2.2	Ruostumattomat teräslajit	2
2.2.1	Austeniittinen ruostumaton teräs	4
2.2.2	Ferriittinen ruostumaton teräs	5
2.2.3	Martensiittinen ruostumaton teräs	6
2.2.4	Duplex eli austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset	7
3	Ruostumattomien teräksien korroosio	8
3.1	Sähkökemiallinen korroosio	9
3.1.1	Yleinen korroosio	9
3.1.2	Pistekorroosio	10
3.1.3	Rakokorroosio	11
3.1.4	Jännityskorroosio SCC	12
3.1.5	Raerajakorroosio	13
3.2	Veden vaikutus ruostumattoman teräksen korroosioon	15
4	Hitsaaminen	16
4.1	Hitsin suojaaminen	16
4.2	Hitsin jälkikäsittely	18
5	RST-lämminvesivaraaja	19
5.1	Lähtökohta ja ongelma	19
5.2	Suunnitteluvirheet	21
5.3	Valmistusvirheet	23

6	Kehitysehdotukset	25
6.1	Konstruktio	25
6.2	Valmistus	26
7	Päätelmät	27
	Lähteet	28

Lyhenteet

Ar	Argon
C	Hiili
Cr	Kromi
HAZ	Lämpövyöhyke (heat affected zone)
Mn	Mangaani
Mo	Molybdeeni
N	Typpi
Ni	Nikkeli
ppm	Suhdeyksikkö, joka ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin. (parts per million)
RST	Ruostumaton teräs
SCC	Stress Corrosion Cracking
Si	Pii

1 Johdanto

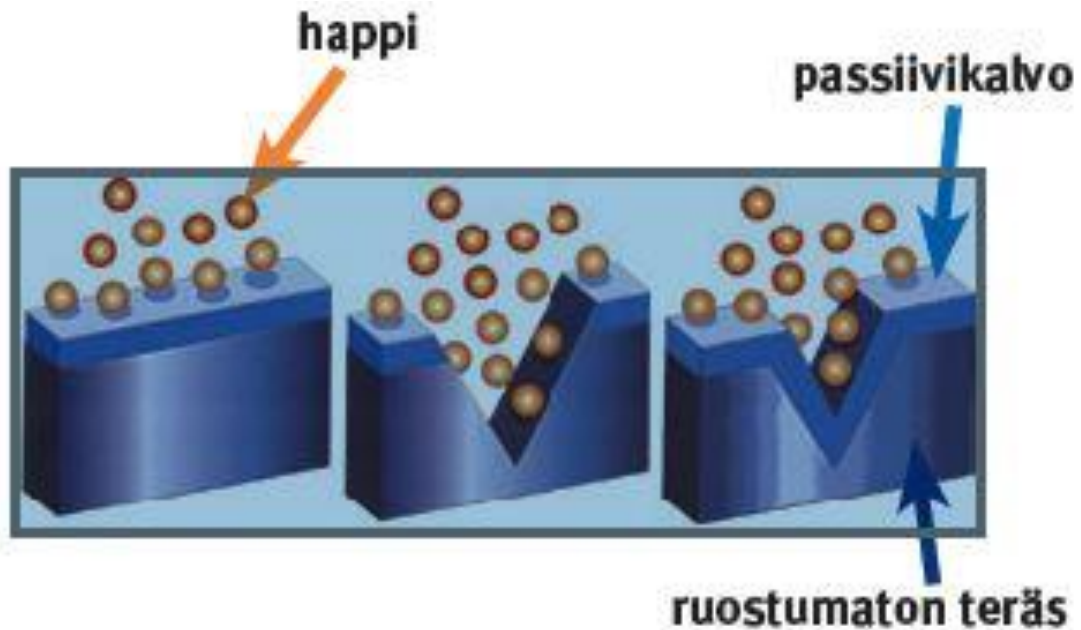
Tässä insinööriyössä kehitystyön kohteena on laivakeittiössä käytettävä ruostumattomasta teräksestä valmistettu lämminvesivaraaja. Lämminvesivaraajassa on suunnittelu- ja valmistusvirheitä, jotka ovat johtaneet siihen, että se on altistunut korroosiolle ja alkanut vuotamaan. Lämminvesivaraajan tarkoituksena on lämmittää käyttövettä laivakeittiön tarpeisiin, joten siihen ei saisi päätyä korroosion aiheuttamaa ruostetta.

Insinööriyön tarkoituksena on selvittää, mistä lämminvesivaraajassa esiintyvä korroosio johtuu ja miten se voidaan eliminoida. Insinööriyössä tutustutaan ruostumattomiin teräksiin ja niiden korroosioon, jotta saadaan ymmärrys siitä mistä korroosio lämminvesivaraajassa johtuu ja mitkä tekijät niihin johtavat. Lopuksi on laadittu kehitysehdotukset lämminvesivaraajan korroosion kestävyuden parantamiseksi.

2 Ruostumaton teräs

2.1 Ominaisuudet

Ruostumaton teräs (rst) on yleisnimi rautaseoksille, joidenka pitoisuus sisältää vähintään 10,5 % kromia (Cr) ja enintään 1,2 % hiiltä (C) massaansa nähden. Ruostumattomat teräkset tunnetaan niiden hyvästä korroosionkestävyydestä, joka perustuu niiden pinnassa olevaan passiivikalvoon (kuva 1). Passiivikalvo on erittäin ohut ja se muodostuu kun ruostumattomassa teräksessä oleva kromi reagoi ilmassa olevan hapen kanssa. Tämän ominaisuuden ansiosta kalvo korjaa itse itsensä, mikä se vaurioituu. Korroosionkestävyys kuitenkin kärsii, mikäli ruostumatonta terästä käytetään hapettomissa tiloissa. [1; 2; 3; 4.]

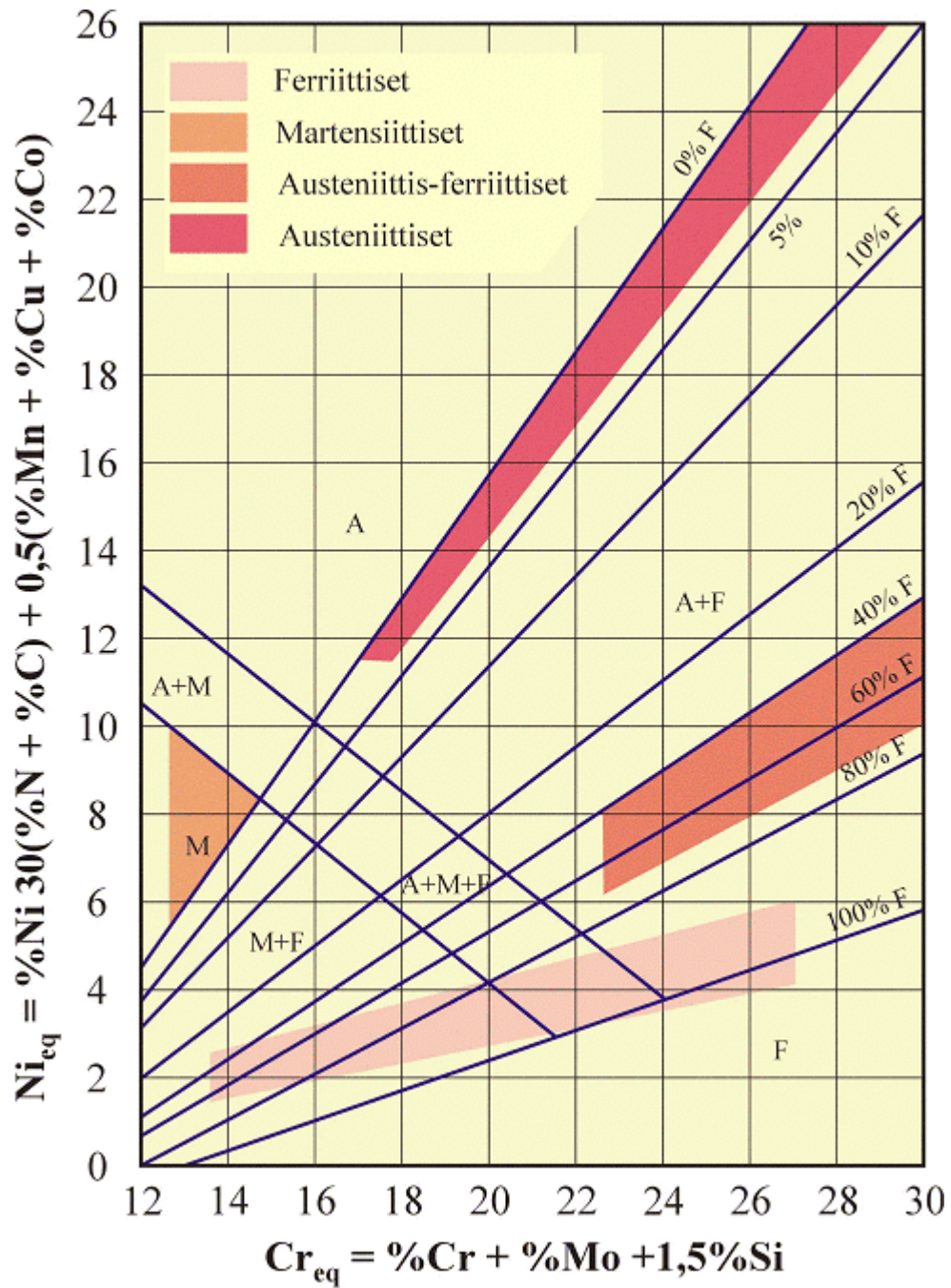


Kuva 1. Passiivikalvo [2]

Ruostumattoman teräs se on erittäin käyttökelpoinen materiaali moniin kohteisiin sen 100 % kierrätettävyyden, syöpymiskestävyyden, pinnan helpon puhdistettavuuden ja esteettisyyden vuoksi. Näiden ominaisuuksien vuoksi sitä käytetään mm. rakennuksien julkisivuissa, kaiteissa ja hisseissä, julkisten tilojen vessoissa, koruissa, junissa ja lentokoneissa. Ruostumattomien terästen käyttökohteet riippuvat myös niiden ominaisuuksista ja niiden ominaisuuden määräytyvät eri ruostumattomien teräslajien mukaan. Esimerkiksi kaikista yleisintä ruostumatonta terästä käytetään rakennus-, elintarvike-, sellu, paperi- ja kemianteollisuuden laitteisiin, veden käsittelylaitteiden, aterimien ja keittiökalusteiden valmistuksessa. [1; 2; 3; 4.]

2.2 Ruostumattomat teräslajit

Ruostumattomia teräslaatuja on erittäin monia ja niiden laadut ja nimet vaihtelevat valmistajien mukaan. Perinteisesti ruostumattomat teräkset luokitellaan neljään ryhmään niiden mikrorakenteen perusteella. Nämä neljä ryhmä ovat: austeniittiset, ferriittiset, martensiittiset ja duplex eli austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset. Nämä neljä ryhmää jakautuvat vielä alaryhmiin niiden seosaineiden ja ominaisuuksien perusteella. Ruostumattomien teräksien pääseosaineet ovat kromi (Cr) ja nikkeli (Ni), niiden vaikutus mikrorakenteeseen on esitetty kuvan 2 diagrammissa. [1; 2; 3.]



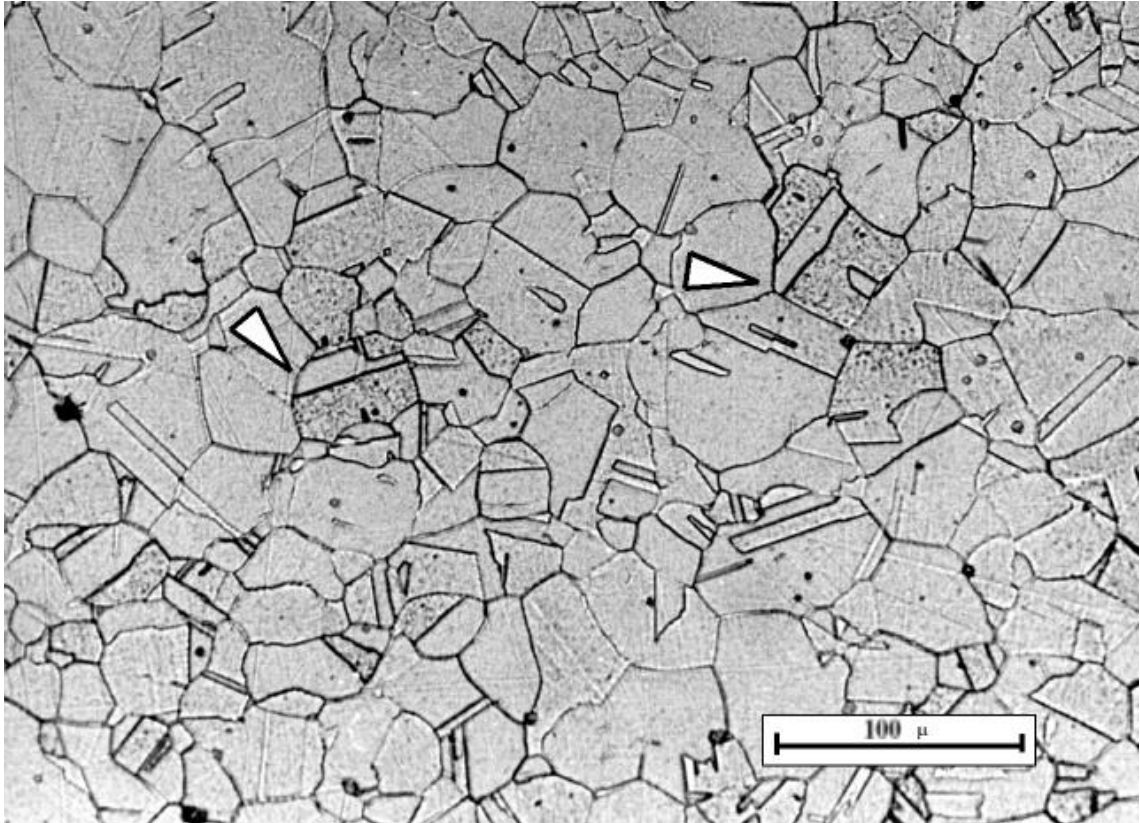
Kuva 2. Schaefflerin diagrammi, kromin ja nikkelin vaikutus mikrorakenteeseen [11]

Ruostumattomien teräksien mikrorakenteeseen voidaan myös vaikuttaa lämpökäsittelyllä ja kylmämuovauksella. [1; 2; 3; 4.]

2.2.1 Austeniittinen ruostumaton teräs

Austeniittinen ruostumaton teräs on suurin neljästä ryhmästä ja se kattaa yli 65 % maailman rust-tuotannosta. Austeniittisen ruostumattoman teräksen koostumus sisältää maksimissaan 0,15 % hiiltä (C), min 16 % kromia (Cr) ja 6 % nikkeliä (Ni). Austeniittiset ruostumattomat teräkset voidaan jakaa viiteen kategoriaan Cr-Ni-, Cr-Mn-, Cr-Ni-Mo-, super austeniittisiin- sekä korkean lämpötilan ruostumattomiin teräksiin. Austeniittiset ruostumattomat teräkset eivät ole magneettisia lämpökäsiteltynä. Austeniittiselle ruostumattomalle teräkselle tyypillisiä ominaisuuksia ovat hyvä korroosionkestävyys, hyvä muovattavuus, hyvä hitsattavuus ja ne säilyttävät sitkeytensä matalissa lämpötiloissa. Kuvassa 3 on esitetty austeniittinen mikrorakenne. [1]

- Cr-Ni austeniittisten yleisteräksien yleisin koostumus on 18 % Cr ja 8 % Ni. Standardin mukainen merkintä on 1.4307 ja amerikkalainen merkintä on AISI 304L. Ne kestävät kohtalaisesti piste- ja rako- sekä yleistä korroosiota, mutta vastustavat heikosti jännityskorroosiota. [1; 5]
- Cr-Mn austeniittiset mangaaniteräkset, jotka tunnetaan yleisesti 200-sarjan ruostumattomina teräksinä. Ruostumattomien mangaaniteräksien korroosionkestävyys yleistä korroosiota ja piste- ja rakosyöpymistä vastaan on kohtalainen, mutta se on heikko jännityskorroosiota vastaan. [1; 5]
- Cr-Ni-Mo tunnetaan haponkestävinä yleisteräksinä. Lisätyn molybdeenin ansiosta näillä ruostumattomilla teräksillä on muita austeniittisiä parempi korroosionkestävyys yleistä korroosiota, piste- ja rakosyöpymistä vastaan, mutta heikko kestävyys jännityskorroosiota vastaan. [1; 5]
- Super austeniittiset teräkset on kehitetty vaativiin olosuhteisiin ja niillä on korkeampi kromi, nikkeli ja molybdeeni pitoisuus kuin muilla luokilla. Super austeniittisiä teräksiä seostetaan tyypellä korroosionkestävyyden ja mekaanisten ominaisuuksien parantamiseksi. Lisäksi niitä seostetaan joskus myös kuparilla, jotta ne kestävät tiettynlaisia happoja paremmin. Super austeniittisillä ruostumattomilla teräksillä on erittäin hyvä korroosion kestävyys yleistä korroosiota, piste- ja rakosyöpymistä sekä jännityskorroosiota vastaan. [1; 5]
- Korkean lämpötilan austeniittiset teräkset on nimensä mukaisesti kehitetty käyttökohteisiin joissa on korkeat lämpötilat. Tätä austeniittistä laatua käytetään sovelluksissa joissa lämpötilat menevät yli 550 °C:n. Korkean lämpötilan austeniittisillä laaduilla on korkea kromi- ja nikkelpitoisuus. Nämä laadut vastustavat hyvin hapettumista ja virumista niihin seostetun piin (Pi) ja typen (N) ansiosta. [1; 5]

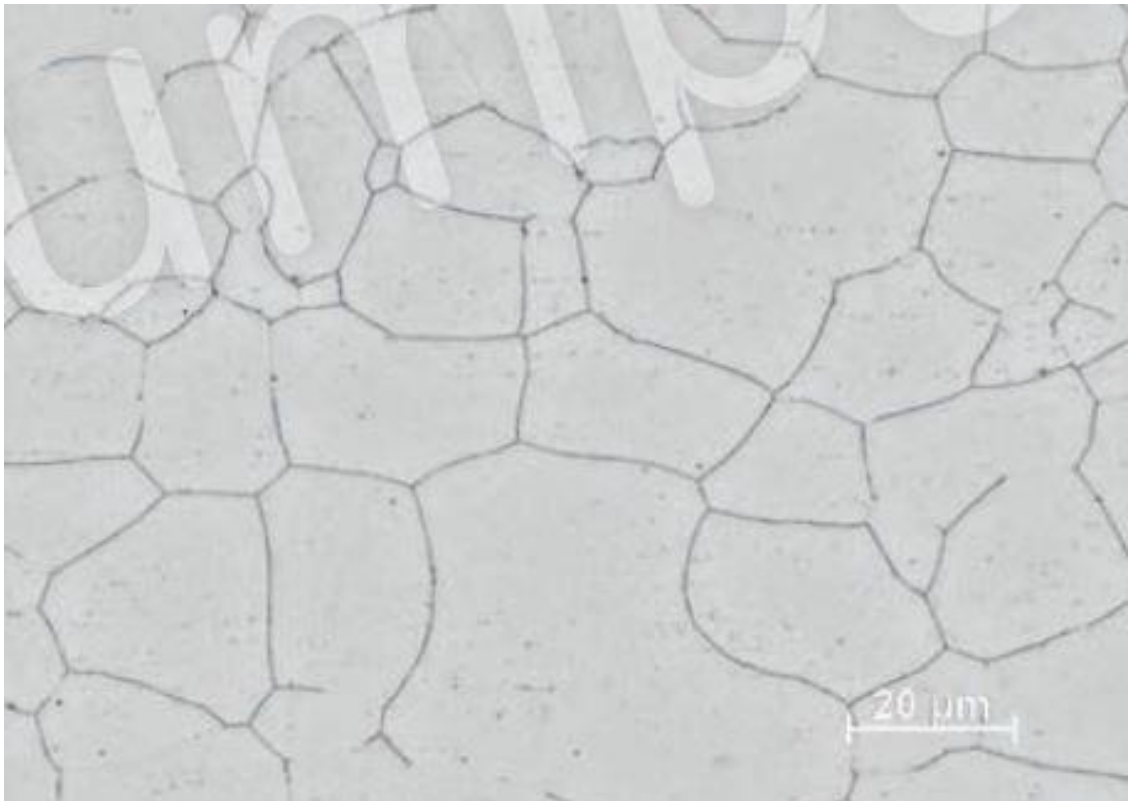


Kuva 3. Austeniittinen mikrorakenne

Austeniittisia ruostumattomia teräksiä käytetään mm. sellu- paperi-, kemian-, elintarvike- ja rakennusteollisuudessa sekä putkistoissa ja vedenkäsittely- ja kryogeenisissä sovel- luksissa. Austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä valmistetaan esim. aterimia, kat- tiloita, keittiökalusteita ja vesisäiliöitä. [1; 3; 4; 5; 6]

2.2.2 Ferriittinen ruostumaton teräs

Ferriittiset ruostumattomat teräkset sisältävät 10.5 - 27 % kromia (Cr), 0,01-0,09 hiiltä (C). Ne ovat austeniittisiä halvempia, koska niihin seostaan nikkeliä hyvin vähän jos ol- lenkaan. Ferriittisillä ruostumattomilla teräksillä on hyvät työstettävyys- ja muokkausomi- naisuudet, sillä niissä ei tapahdu työstökarkenemistä. Laadusta riippuen ferriittiseen ruostumattomaan teräkseen seostetaan molybdeeniä (Mo), titaania (Ti) alumiinia (Al), niobia (Nb) ja piitä (Si), joilla parannetaan korroosion vastustuskykyä ja hitsattavuutta. Ferriittiset ruostumattomat teräkset ovat magneettisia johtuen niiden ferriittisestä mikro- rakenteesta (kuva 4) ja ne vastustavat erittäin hyvin jännityskorroosiota. Ferriittisillä laa- duilla on kohtalainen korroosionkestävyys yleistä korroosiota sekä piste- ja rakosyöpy- mistä vastaan. [1; 5]

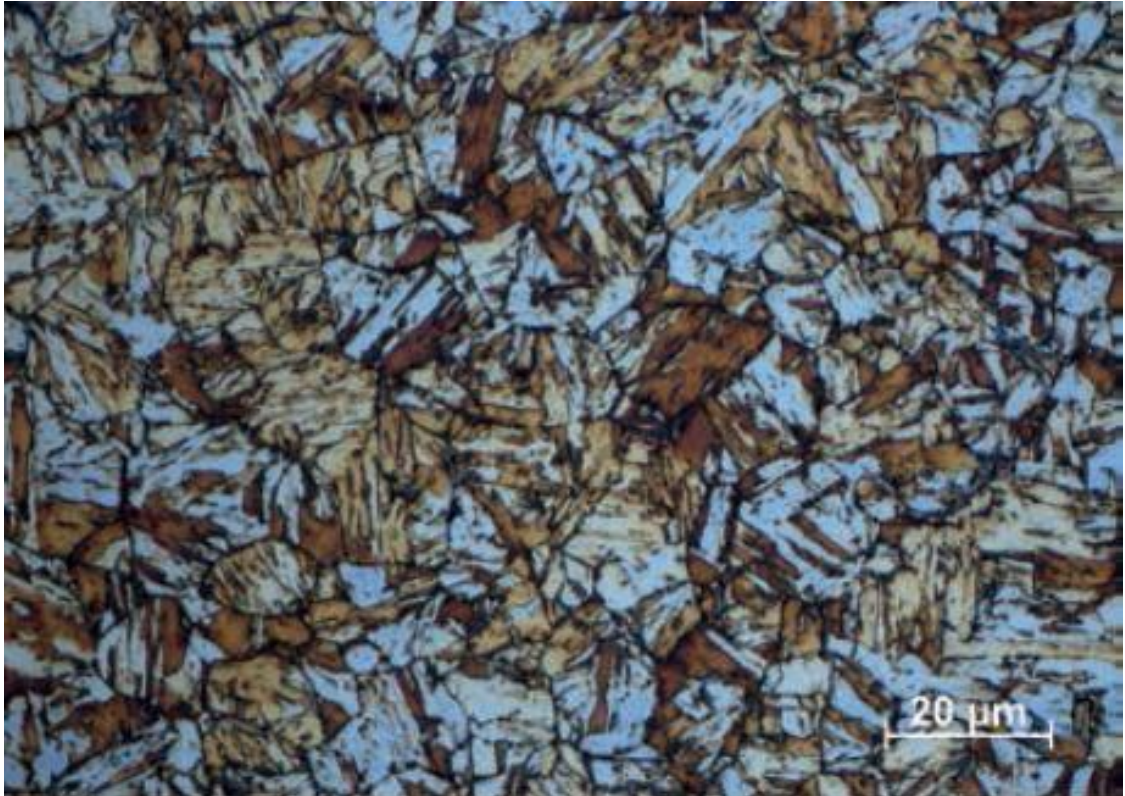


Kuva 4. Ferriittinen mikrorakenne [1]

Ferriittisiä ruostumattomia teräksiä käytetään mm. auto-, elintarvike ja kaivosteollisuudessa ja niitä käytetään keittiökalusteiden, pakoputkien ja kodinkoneiden valmistamisessa. [1; 3; 4; 6;7]

2.2.3 Martensiittinen ruostumaton teräs

Martensiittiset ruostumattomat teräkset ovat kuten ferriittiset ruostumattomat teräkset, mutta niihin on seostettu enemmän hiiltä (C) 0,08-1 %. Korkean hiilipitoisuuden vuoksi martensiittiset ruostumattomat teräkset ovat karkaistavia, mikä tekee niistä erittäin lujia. Martensiittiset ruostumattomat teräkset ovat lujutensa vuoksi hyvin koneistettavia ja haurautensa vuoksi suhteellisen huonosti muovattavia. Martensiittiset ruostumattomat teräkset ovat ruostumattomista teräksistä ainoa luokka joka on karkaistavissa lämpökäsittelyllä. Martensiittisten laatujen korroosionkestävyys on huonompi verrattuna muihin ruostumattomiin teräslaatuihin. Kuvassa 5 on esitetty martensiittinen mikrorakenne. [1; 2; 3; 5]

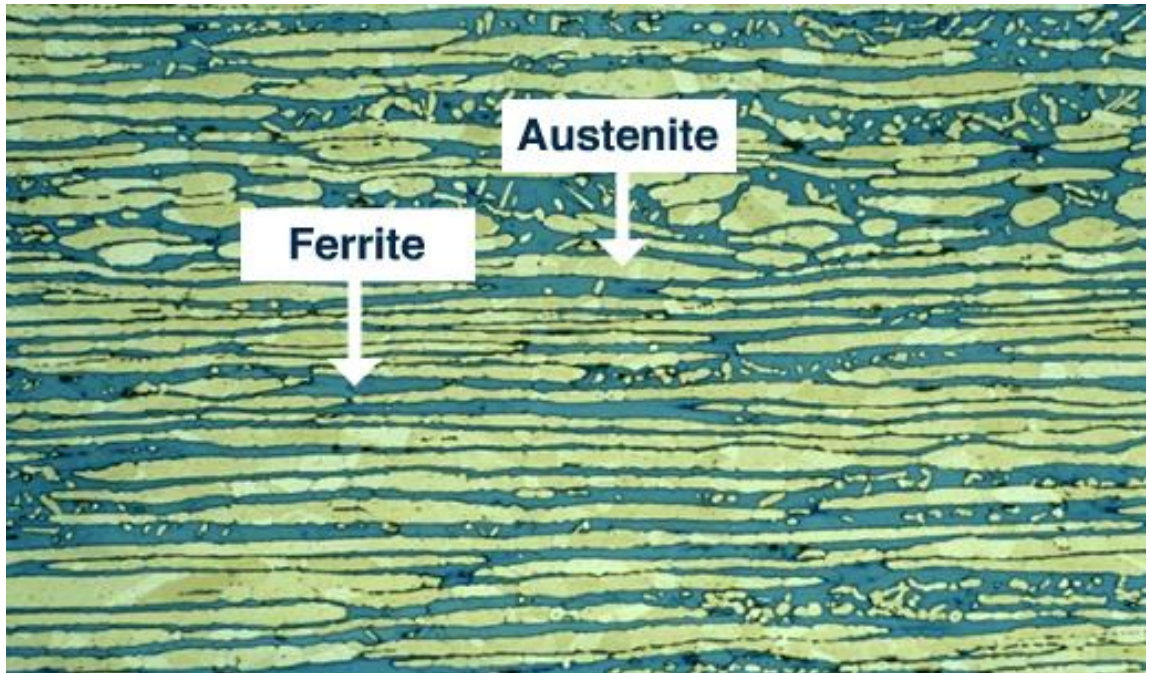


Kuva 5. Martensiittinen mikrorakenne [1]

Esimerkkejä martensiittisen ruostumattoman teräksen käyttökohteista ovat kirurgiset ja hammaslääketieteelliset työvälineet, erilaiset terät, jouset, kuulalaakerit, kaas- ja höyryturbiinit. [1; 2; 3; 4; 8]

2.2.4 Duplex eli austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset

Duplex ruostumattomien teräksien mikrorakenne (kuva 6) sisältää molempia austeniittia ja ferriittiä. Austeniitin ja ferriitin suhde mikrorakenteessa on yleensä 50/50, mutta se saattaa myös vaihdella 30–70 % välillä. Duplex-teräksiä saadaan kun ferriittiseen ruostumattomaan teräkseen seostetaan nikkeliä (Ni) vähintään 6 %. Nämä teräslajit ovat magneettisia osittain ferriittisen mikrorakenteen takia. Duplex-teräksissä yhdistyvät ferriittisen- ja austeniittisen ruostumattomien teräksien hyvät puolet kuten mekaaninen lujuus ja hyvä korroosionkestävyys. Duplex-teräksillä on erittäin hyvä jännityskorroosion kestävyys ja kohtalainen tai hyvä kestävyys rako- ja pistesyöpymistä vastaan, riippuen duplex-laadusta. [1; 5]



Kuva 6. Duplex mikrorakenne [13]

Duplex teräksiä käytetään mm. suolanpoistolaitoksissa, kemian-, sellu- ja paperi-, sekä öljy- ja kaasuteollisuudessa, rakennuselementeissä ja painekattiloissa. [1; 3; 4; 8; 9]

3 Ruostumattomien teräksien korroosio

Ruostumattomat teräkset ovat alttiita korroosiolle, siinä missä muutkin metallit. Niillä on hyvä korroosionkestävyys, mutta ne eivät ole immuuneja sille. Ruostumattomien teräksien korroosionkestävyys perustuu niissä olevan kromin (Cr), raudan (Fe) ja hydroksidin (OH-) muodostamaan ohueen näkymättömään kalvoon. Tätä muutaman nanometrin paksuista kalvoa kutsutaan passiivikerrokseksi. Passiivikerros muodostuu automaattisesti, ja siihen syntyneet naarmut ja vauriot korjaantuvat hapettavassa ympäristössä. Ruostumattomissa teräksissä tapahtuva korroosio johtuu passiivikalvoon kohdistuneista pysyvistä vaurioista. Ruostumattomien teräksien korroosion kestävyyteen eri sovelluksissa vaikuttavat ruostumattoman teräksen kemialliset ominaisuudet sekä ympäristötekijät. Korroosion taustalla ovat kemialliset tai sähkökemialliset reaktiot. Sähkökemiallista korroosiota aiheuttavat nesteet sekä, kosteat ympäristöt kuten ympäristön ilmasto. Kemiallista korroosiota aiheuttavat korkealämpötilaiset kaasut, joka tunnetaan myös korkean lämpötilan korroosiona. Tässä insinööriyössä käsitellään tarkemmin vain ne korroosiomuodot, jotka ovat insinööriyön kannalta oleellisia. [1; 5]

3.1 Sähkökemiallinen korroosio

Sähkökemiallisessa korroosiossa ruostumaton teräs reagoi ympäristönsä kanssa. Sähkökemiallista korroosiota esiintyy ruostumattomissa teräksissä eri muodoissa. Esiintymismuodot riippuvat mm. ympäristöstä, materiaalin ominaisuuksista, konstruktiosta, valmistus- ja liitosmenetelmistä. Sähkökemiallisia korroosimuotoja ovat:

- Yleinen korroosio
- pistekorroosio
- rakokorroosio
- jännityskorroosio (SCC)
- korroosioväsyminen
- raerajakorroosio
- galvaaninen korroosio. [5]

3.1.1 Yleinen korroosio

Yleistä korroosiota esiintyy ruostumattomassa teräksessä silloin, kun sen pinnalla oleva passiivikalvo tuhoutuu osittain suurelta osin tai kokonaan. Yleinen korroosio johtuu anodisen ja katodisen alueen jatkuvasta paikan vaihtumisesta ruostumattoman teräksen pinnalla. Tämän seurauksena ruostumaton teräs syöpyy suunnilleen samalla nopeudella koko pinnalta. Yleisimmät yleisen korroosion aiheuttajat ruostumattomassa teräksessä ovat hapot ja emäkset. Kuvassa 7 näkyy yleistä korroosiota rst-putkessa. [1; 5]



Kuva 7. Yleistä korroosiota rst-putkessa

3.1.2 Pistekorroosio

Pistekorroosio on paikallinen korroosimuoto (kuva 8), joka johtuu passiivikalvon paikallisesta mekaanisesta virheestä tai vauriosta. Pistekorroosion oletetaan olevan yleisin korroosiovaurio ruostumattomissa teräksissä ja sen yleisin aiheuttaja on kloridi-ioni. Kloridi-ionit vaurioittavat passiivikalvoa erittäin pieneltä alueelta ja paljastavat ”paljaan” ruostumattoman teräksen pinnan, josta pistekorroosio saa alkunsa. Useissa tapauksissa passiivikalvo korjaantuu ja pistekorroosiota ei pääse muodostumaan. Tavallisimpia kloridi-ionien lähteitä ovat meri-ilma ja -sumu. [1; 5]



Kuva 8. Pistekorroosiota putken ulkopinnassa [5]

Pistekorroosioalue on pieni ruostumattoman teräksen pinnalla, mutta pinnan alla korroosioalueen poikkileikkaus voi olla suurempi, johtuen siitä että korroosio on aggressiivisempaa pinnan ala- kuin yläpuolella. [1; 5; 8]

3.1.3 Rakokorroosio

Rakokorroosio on paikallinen korroosimuoto (kuva 9), joka nimensä mukaisesti syntyy raoissa ja muissa ahtaissa tiloissa. Rakokorroosiota alkaa muodostumaan kun rakoön tai muuhun ahtaaseen tilaan pääsee vettä tai liuosta, mutta se ei pääse sieltä vaihtumaan riittävällä nopeudella. [1; 5]

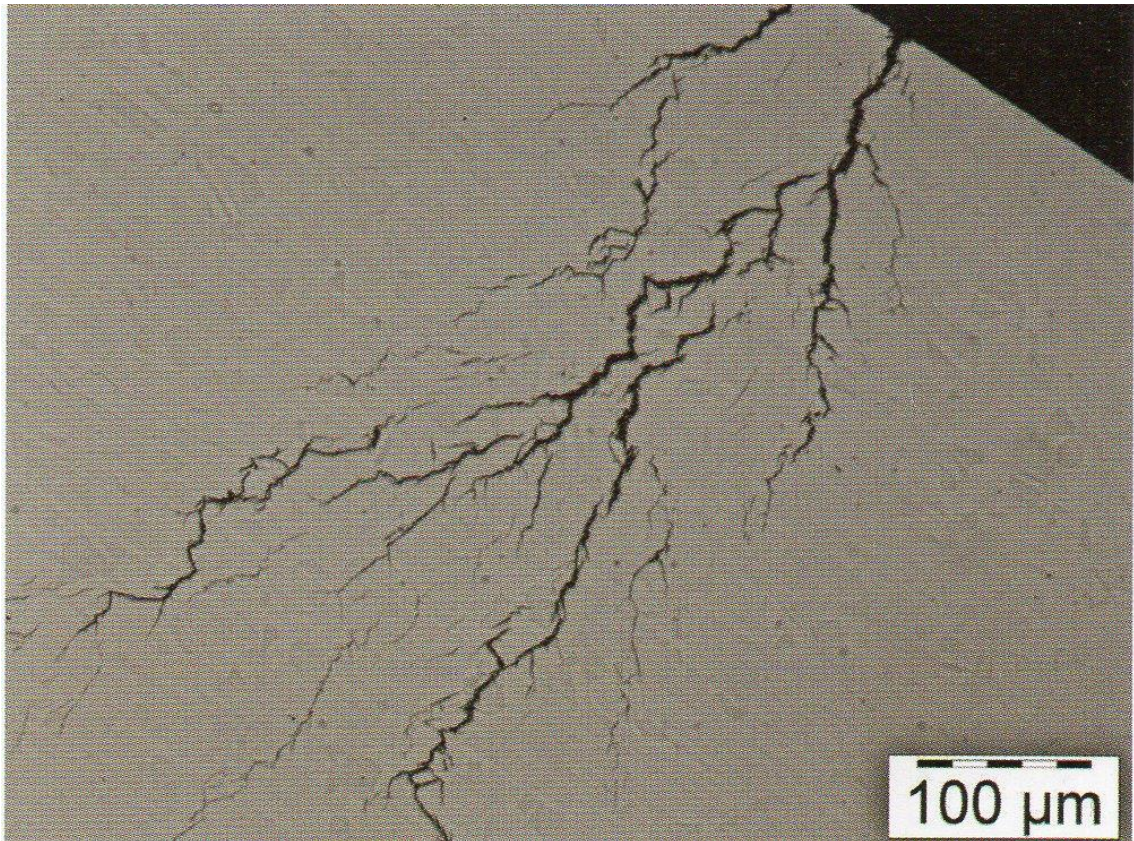


Kuva 9. Rakokorroosio tiivisteiden ja laipan välissä [5]

Tavallisia esiintymispaikkoja rakokorroosiolle ovat liitospinnat, kuten pulttien ja aluslevyjen alustat ja tiivistelaippojen liitokset. Rakokorroosion syntyyn voi vaikuttaa mm. liitosten konstruktiolla sekä hitsauksen jälkikäsittelyllä. [1; 5; 8]

3.1.4 Jännityskorroosio SCC

Jännityskorroosio (engl. stress corrosion cracking, SCC) on korroosimuoto, jossa metalliin syntyy ohuita haarautuvia murtumia. Jännityskorroosion aiheuttaman murtuman syntymiseen tarvitaan kaksi tekijää, mekaaninen kuorma ja korrodoiva ympäristö, myös korkeat lämpötilat ja materiaalin sisäiset jännitykset edesauttavat murtumien syntymistä. Murtumien havaitseminen on hankalaa, sillä ne eivät tyypillisesti aiheuta kappaleeseen ulkoisesti näkyviä muutoksia. Jännityskorroosion aiheuttamia murtumia kuvassa 10. [5]

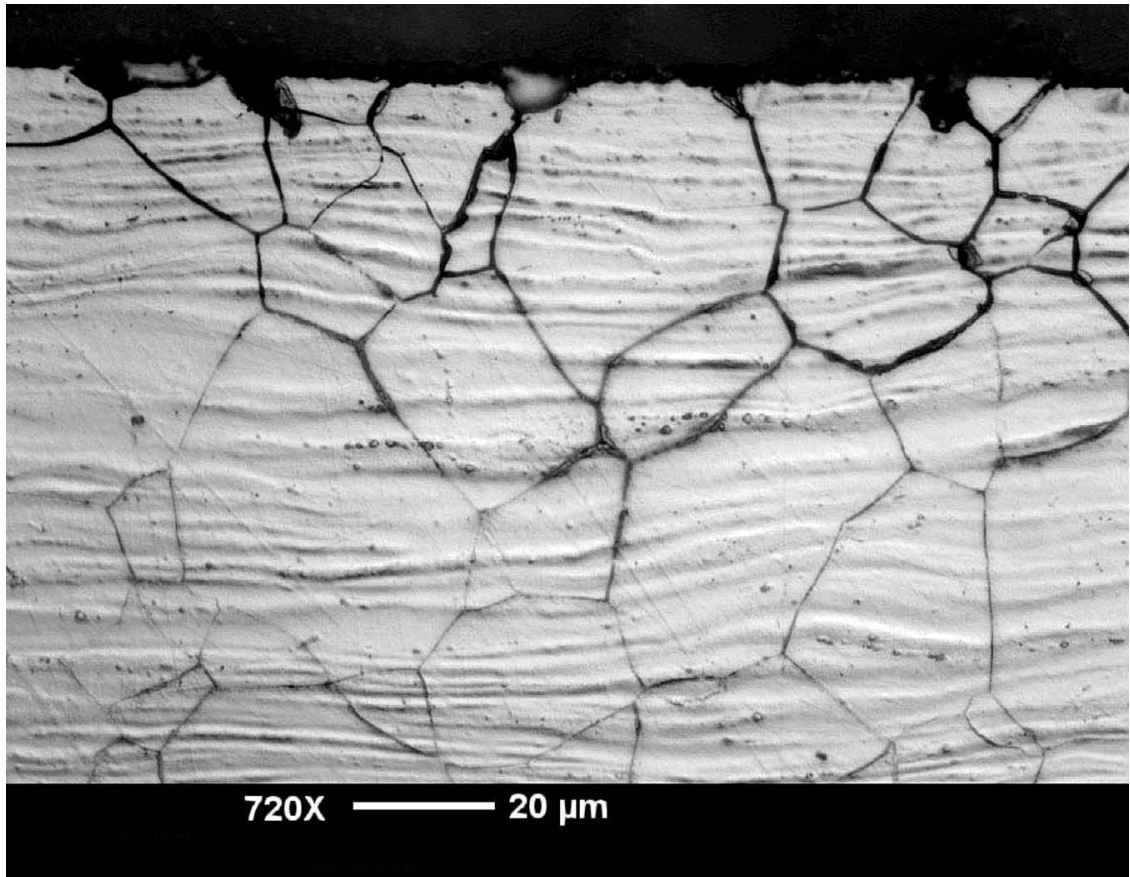


Kuva 10. Mikroskooppikuva jännityskorroosiomurtumasta [5]

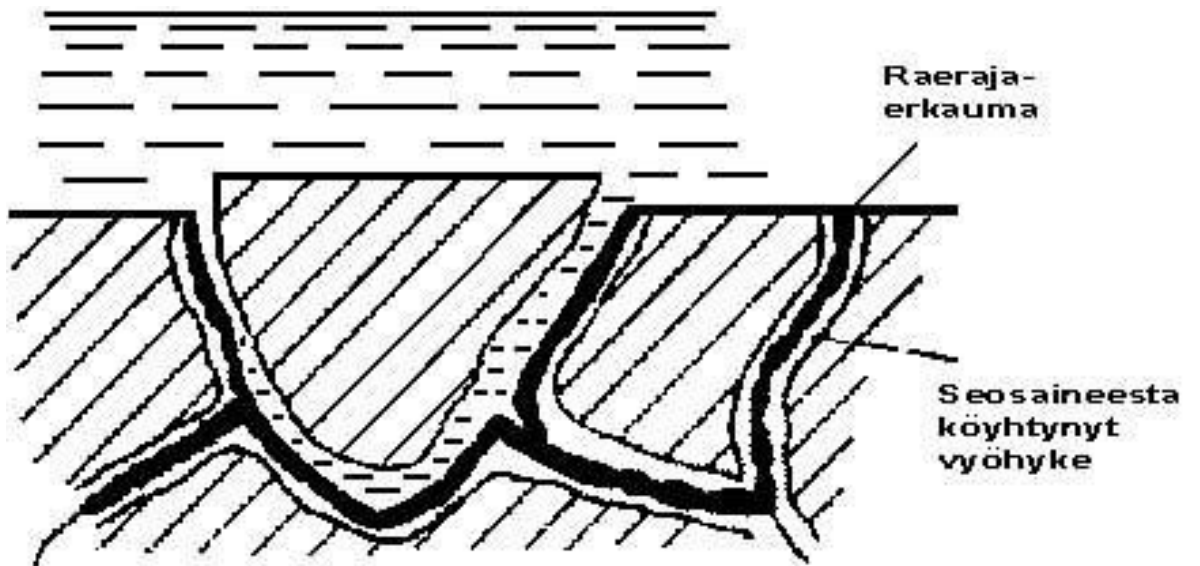
Jännityskorroosiomurtumaan johtavat korroosio-olosuhteet ovat erilaisia eri materiaaleille. Ruostumattomista teräksistä jännityskorroosiolle herkimpiä ovat austeniittiset lajit, joilla on alle 20 % nikkeli (Ni)-pitoisuus. Tällaisia lajeja ei suositella käytettävän kloridipitoisissa kohteissa, kuten uimahalleissa. [1; 5; 8;]

3.1.5 Raerajakorroosio

Raerajakorroosio eli herkistyminen on korroosimuoto (kuva 11), jota esiintyy hitsien lämpövyöhykkeen (HAZ) läheisyydessä tai poltto- ja plasmaleikkausten läheisyydessä. Raerajakorroosio on nimensä mukaisesti raerajoja pitkin tapahtuvaa korroosiota. Ruostumaton teräs altistuu raerajakorroosiolle kun materiaali kuumenee 550–850°C:seen, jolloin hiilen ja kromin muodostamat kromikarbidit ($(\text{FeCr})_{23}\text{C}_6$) erkaantuvat raerajoille (kuva 12). Tämän seurauksena perusmateriaalin kromipitoisuus laskee, jolloin perusmateriaalin passivoituminen heikkenee ja tekee sen alttiimmaksi korroosiolle. [5]



Kuva 11. Raerajakorroosio mikroskooppikuva [4]



Kuva 12. Raerajakorroosion havainnollistamiskuva [10]

Raerajakorroosion muodostumiseen voidaan vaikuttaa muutamalla eri tavalla. Sen muodostuminen voidaan välttää, kun käytetään hitsauksessa niukkahiilistä ruostumatonta terästä, matala hiilipitoisuus ehkäisee kromikarbidien syntyä hitsauksen jäähtyessä. Toinen tapa välttää raerajakorroosiota on käyttää stabiilimpaa ruostumatonta terästä, johon on seostettu titaania (Ti) tai niobia (Nb), jotka yhdistyvät hiilen kanssa kromin sijaan. Kolmas tapa on tehdä lämpökäsittely, jolla liuotetaan kromikarbidit takaisin perusmateriaaliin. Lämpökäsittelyssä ruostumaton teräs kuumennetaan 1050–1100°C:seen, jonka jälkeen se jäähdytetään nopeasti takaisin huoneenlämpöiseksi. [5; 10; 15]

3.2 Veden vaikutus ruostumattoman teräksen korroosioon

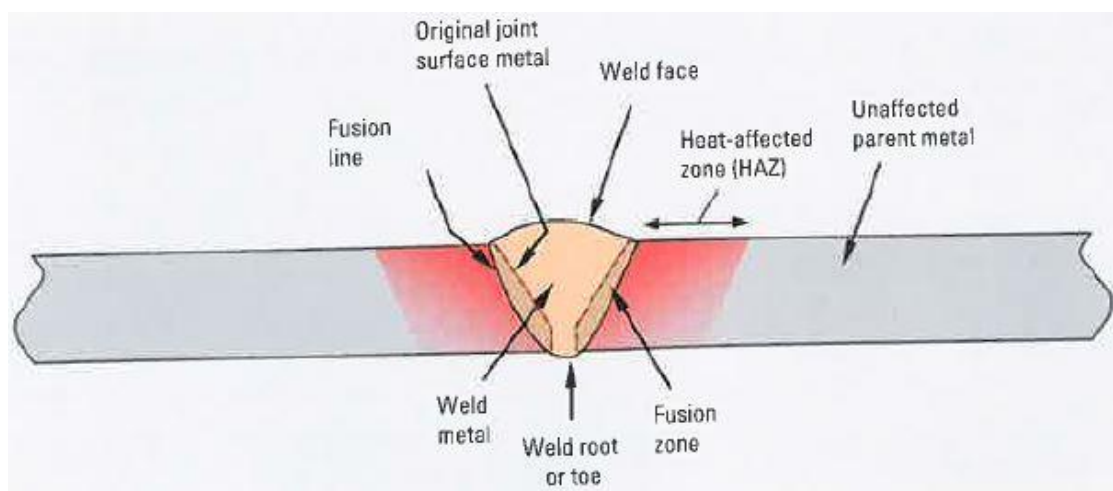
Kuten myös muihin teräksiin, vesi vaikuttaa ruostumattomaan teräksen korroosioon. Vaikutus riippuu veden laadusta. Maailmassa on monia eri vesilaatuja, kuten juoma-, tislattua-, meri-, järvi-, sade-, jäähdytys-, uima-allas- ja sadevettä. Jokaisella vesityypillä on oma koostumus, ne saattavat pitää sisällään eri määrän pieneliöitä, lisättyjä kemikaaleja sekä ilmansaasteita ja näistä jokaisella asialla on vaikutusta siihen kuinka korrodoivaa vesi on. Veden korrodoivuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat veden kloridipitoisuus, happi- ja oksidipitoisuus, lämpötila, veden vaihtuvuus, virtausnopeus sekä mikrobiologiset tekijät. [5]

Veden kloridipitoisuudella on suuri merkitys piste- ja rakokorroosion muodostumiselle ruostumattomassa teräksessä. Mitä suurempi kloridipitoisuus vedellä on, sitä suuremmalla todennäköisyydellä se aiheuttaa piste- ja rakokorroosiota. Vesityyppien kloridipitoisuudet vaihtelevat makeanveden 10 ppm ja meriveden 30 000 ppm välillä. Veden lämpötilan noustessa, nousee myös veden korrodoivuus. Lämpötilan nousu itsessään ei lisää korroosiota, vaan lämpötilan nousu yhdistettynä veden kloridipitoisuuteen lisää korroosioriskiä. [5]

Normaali EU:n juomavesidirektiivin 98/83EC mukainen vesijohtovesi ei tavallisesti aiheuta korroosiota ruostumattomassa teräksessä, sen passiivikalvon ansiosta. Tavallinen vesijohtovesikin voi aiheuttaa korroosiota ruostumattomissa teräksissä silloin, kuin sitä on ahtaissa tai suljetuissa tiloissa. Tällaisissa tapauksissa vesi ei pääse vaihtumaan tarpeeksi, jolloin se väkevöityy ja aiheuttaa rakokorroosiota. [5]

4 Hitsaaminen

Hitsaaminen on kahden tai useamman osan toisiinsa liittämistä. Hitsausmenetelmät voidaan jakaa kahteen kategoriaan, sulahitsaamiseen ja puristushitsaamiseen. Sulahitsauksessa liitettävät kappaleet lämmitetään niiden sulamispisteiden yläpuolelle, jolloin ne liittyvät toisiinsa sulana ja jäähtyessään jähmettyvät muodostaen hitsisauman. Sulahitsauksessa lämmön lähteenä käytetään sähkövirtaa, liekkiä, laseria tai elektronisuihkua. Puristushitsauksessa liitettäviä kappaleita lämmitetään esim. sähköllä tai kitkalla, samalla puristaen kappaleita toisiaan vasten, jolloin kappaleet hitsautuvat yhteen. Kuvassa 13 on esitetty hitsin rakennetta. [16]



Kuva 13. Hitsin rakenne [17]

Tässä insinööriyössä ei käsitellä ruostumattoman teräksen hitsausteknisiä asioita. Työssä tarkastellaan hitsien korroosioon ja korroosion kestävyysliittyviä seikkoja. [16]

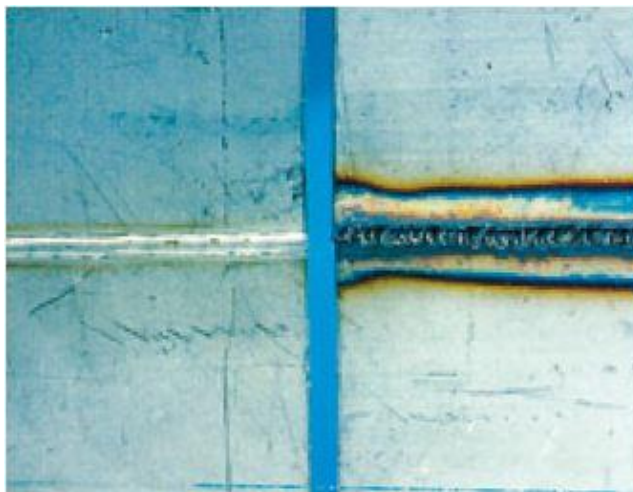
4.1 Hitsin suojaaminen

Hitsin suojaaminen on erittäin tärkeää kaarihitsausmenetelmissä. Hitsin suojaamiseen käytetään suojakaasuja, joiden tehtävänä on suojata hitsattavaa aluetta ympäröivältä ilmalta. Suojakaasu estää kuumaa metallia ja sulaa hapettumista, sekä se estää huokosten ja halkeamien muodostumista sulassa. Suojakaasulla on vaikutusta myös valokaaren vakauteen, hitsausnopeuteen, hitsin geometriaan, hitsin ulkonäköön, mekaani-

siin ominaisuuksiin sekä korroosionkestävyyteen. Yleisin Euroopassa käytettävä suoja-kaasu ruostumattoman teräksen hitsauksessa on argon (Ar), muita suojakaasuja ovat helium (He), typpi (N_2), vety (H_2), hiilidioksidi (CO_2) ja typpioksidi eli typpimonoksidi (NO). Se mitä suojakaasua tai suojakaasuseosta hitsauksessa käytetään, riippuu hitsausmenetelmästä. TIG-hitsauksessa käytetään puhdasta Argonia ja MAG-hitsauksessa argonia, jossa on pieni määrä hiilidioksidia CO_2 (2-3 %) ja/tai happea O_2 (1-2 %). [16; 17]

Juuren suojaus

Jos hitsin jälkikäsittely ei ole mahdollista hitsattavan rakenteen vuoksi (esim. putket ja umpinaiset rakenteet kuten säiliöt), silloin tulee käyttää juurenjuurensuojakaasua. Juuri-kaasuna käytetään yleisesti samaa kaasua kun hitsin suojaamisessa. Austeniittista ja duplex-ruostumatonta terästä hitsattaessa voidaan käyttää myös typen ja vedyn yhdistelmää (90 % N_2 + 10 % H), jolla päästään alhaisimpaan hapettumistasoon materiaalissa. Juurensuojakaasun tarkoituksena on suojata hitsin juuren puolta hapettumiselta, jonka ansiosta hitsin tausta kestää paremmin korroosiota. Juuren hapettumisen estämiseksi happipitoisuuden tulisi olla juuren puolella alle 10–25 ppm. Juurensuojakaasulla on myös vaikutusta juuripinnan muotoiluun ja ulkonäköön. Kuvassa 14 näkyy millainen vaikutus juurensuojakaasulla on hapettumiseen. [16; 17]



Käytetty
juurensuojakaasua **Ei käytetty**
juurensuojakaasua

Kuva 14. Juuren suojakaasun käyttö [17]

Mitä tummempi hitsi tai juuripalko ja sen ympäristö on, sitä suurempaa hapettuminen on hitsissä ja perusmateriaalissa. [16; 17]

4.2 Hitsin jälkikäsittely

Hitsin jälkikäsittelyllä pyritään palauttamaan ruostumattoman teräksen korroosionkestävyyttä, poistamaan valmistuksessa syntyneet virheet pinnanlaadussa (esim. roiskeet, kuonat), poistamaan materiaaliin syntyneitä sisäisiä jännityksiä ja palauttamaan hitsauksessa syntynyt ferriittinen mikrorakenne takaisin austeniittiseksi. Hitsattaessa hapettuneet alueet tulee poistaa, jotta ruostumattoman teräksen pintaominaisuudet palautuvat. Hapettuneet alueet voidaan poistaa mekaanisesti hiekkapuhaltamalla, hiomalla ja kiillottamalla tai kemiallisesti mm. peittaamalla ja passivoimalla (kuva 15). [16; 17]



Kuva 15. Jälkikäsittelyjä [16]

Hitsauksessa syntyneet sisäiset jännitykset ja kromiköyhät vyöhykkeet aiheuttavat jännitys- ja raerajakorroosiota. Lämpökäsittelyllä päästään eroon sisäisistä jännityksistä ja sillä voidaan liuottaa kromikarbidit takaisin perusmateriaaliin. [16]

5 RST-lämminvesivaraaja

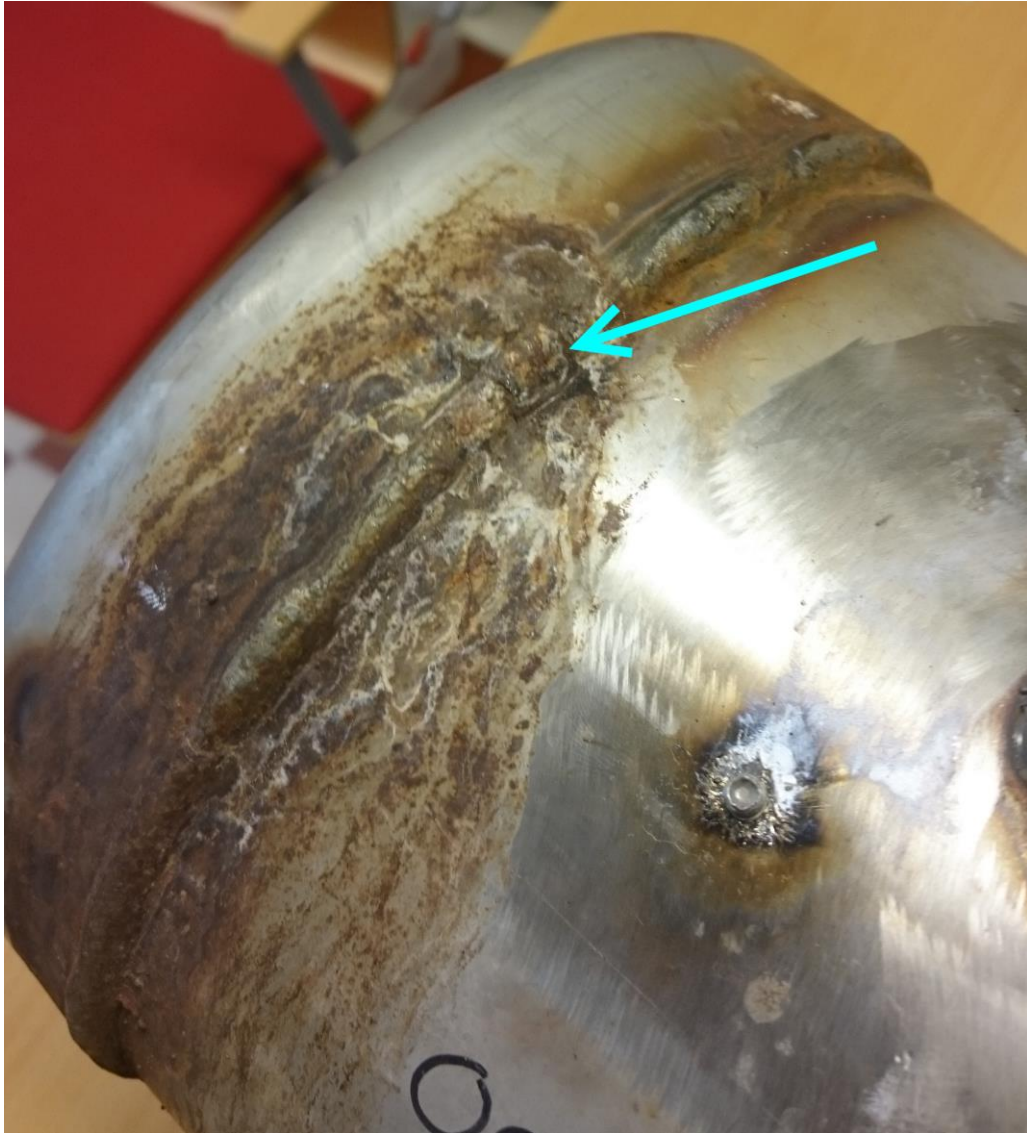
5.1 Lähtökohta ja ongelma

Insinööriyön kohteena olevaa RST-lämminvesivaraajaa (kuva 16) eli lämminvesiboosteria käytetään laivakeittiöissä. Boosterin tarkoituksena on lämmittää käyttövettä laivakeittiön eri tarpeisiin, kuten astioiden pesemiseen ja ruuanlaittoon.



Kuva 16. RST-lämminvesivaraaja

RST-lämminvesivaraajassa on suunnittelu- ja valmistusvirheitä, joidenka vuoksi se on ollut alttiina eri korroosiotyypeille ja alkanut vuotamaan (kuva 17).



Kuva 17. Vuotokohta

Korroosion seurauksena käyttöveden joukkoon on päässyt ruosteisia metallipartikkeleja, mikä ei ole hyväksyttävää, kun vettä käytetään keittiöolosuhteissa. Seuraavana käydään läpi RST-lämminvesivaraajan suunnittelu- ja valmistusvirheet, sekä lämminvesivaraajaan tehtävät parannukset/korjaukset, jotta se ei olisi enää alttiina korroosiolle.

5.2 Suunnitteluvirheet

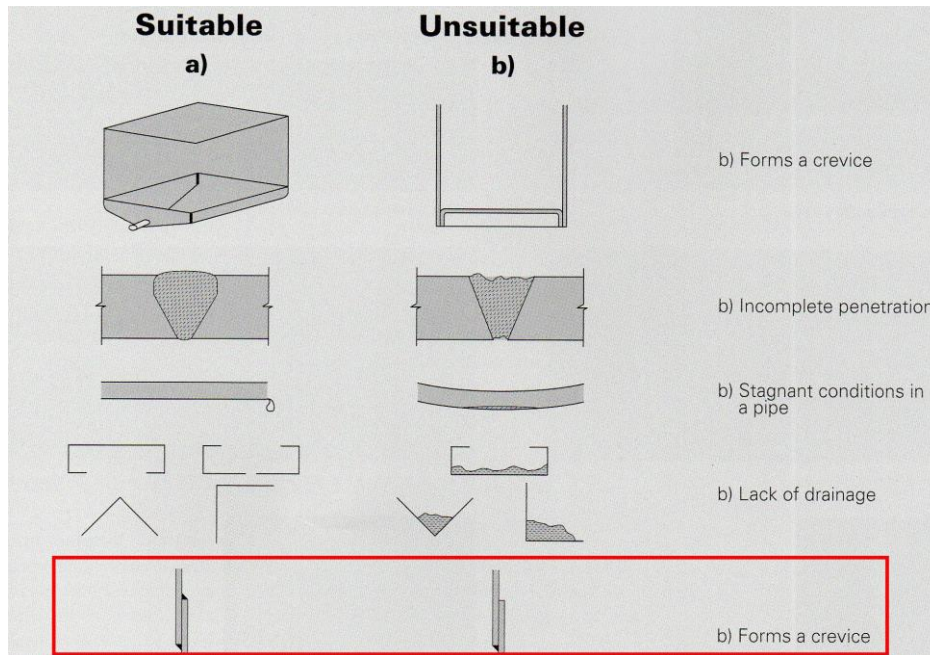
Lämminvesivaraaja koostuu useammasta osasta, kiinnitysjalasta, säiliöstä, tulo- ja menovesiliitännästä ja säiliön sisällä olevasta laipasta, johon vettä lämmittävä vastus kiinnitetään. Lämminvesivaraajassa olevat suunnitteluvirheet ovat sen säiliössä ja sen konstruktiossa.

Säiliö valmistettu 2 osasta (kuva 18), joista osan 1 ulkohalkaisija on n. 224 mm ja osan 2 n. 230 mm. Molempien osien seinämävahvuus on 3 mm.



Kuva 18. Lämminvesivaraajan säiliö

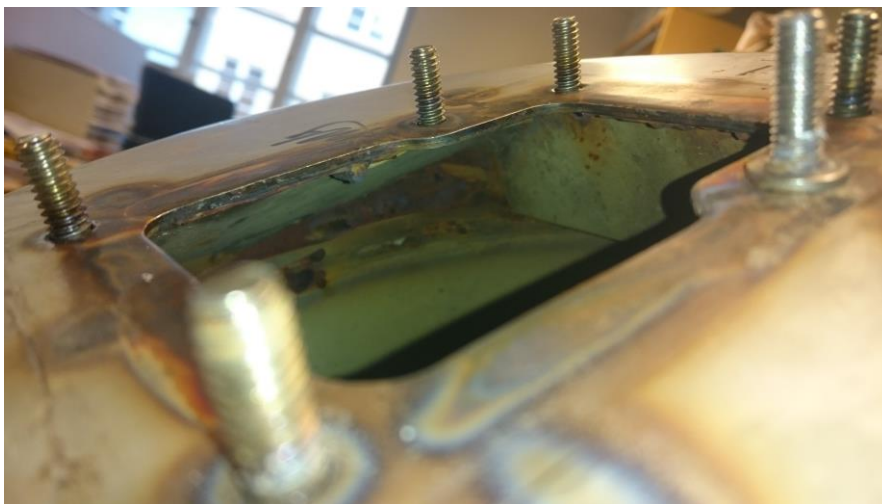
Osien erikokoisten halkaisijoiden takia osat menevät lomittain, mikä helpottaa säiliön kokoonpantavuutta, mutta on epäedullista säiliön korroosionkestävyyden kannalta. Osat muodostavat keskenään päällekkäisliitoksen, mikä on hyväksyttävä liitos, jos se päästään hitsaamaan molemmilta puolilta. Kuvassa 19 näkyy epäedullisia hitsauskonstruktiota.



Kuva 19. Korroosiolle suotuisia ja epäsuotuisia konstruktioita [18]

Säiliön konstruktion takia liitos on pystytty hitsaamaan vain säiliön ulkopuolelta, jolloin sisäpuolelle päällekkäisliitosten väliin jää pieni rako, joka altistaa säiliön rakokorroosiolle.

Toinen suunnitteluvirhe on 2. osan sisäpuolella olevassa laipassa ja sitä ympäröivissä siivekkeissä (kuva 20).



Kuva 20. Korroosiota 2. osan laipan ja siivekkeiden hitsisaumoissa

Laippa ja siivekkeet muodostavat säiliön sisään paikkoja, joihin vesi voi jäädä seisomaan, eikä pääse vaihtumaan.

5.3 Valmistusvirheet

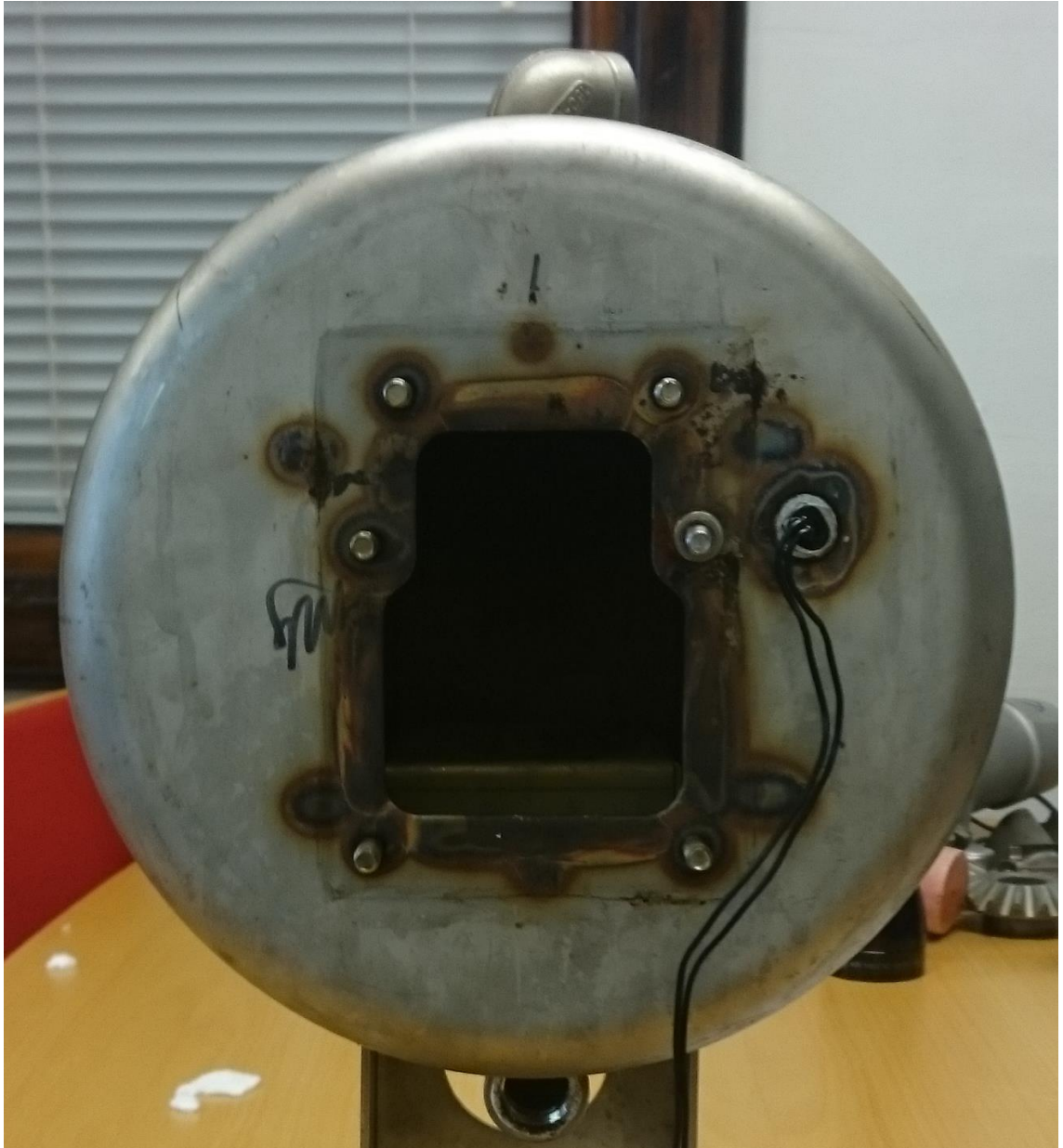
Rst-lämminvesivaraajassa olevat valmistusvirheet ovat varaajan säiliön hitsauksissa ja reikien leikkauksissa. Näiden valmistusvirheiden takia rst-lämminvesivaraajan korroosionkestävyys on heikentynyt merkittävästi, minkä seurauksena se on alkanut vuotamaan.

Hitsatut alueet ovat pahasti hapettuneita (kuva 21) ja hitsien ympärillä on hitsauksen yhteydessä syntyneitä roiskeita. Hapettuneet hitsaussaumamat johtuvat puutteellisesta suojakaasun käytöstä, sekä puutteellisesta juuren suojauksesta, liian hitaasta hitsausnopeudesta tai näiden yhteisvaikutuksesta. Nämä virheet olisivat olleet vielä korjattavissa kunnollisella jälkikäsittelyllä, jossa hapettuneet alueet ja hitsauksessa syntyneet roiskeet olisi poistettu. Hitsauksen yhteydessä hitsin lämpövyöhykkeiden lämpötila on saattanut nousta hyvinkin korkealle, jolloin lämpövyöhykkeellä raerajoille on muodostunut kromikarbideja. Tämän seurauksena perusmateriaaliin on muodostunut kromiköyhiä alueita, jonka seurauksena hitsisaumat ovat alttiita raerajakorroosiolle.



Kuva 21. Hapettuneita hitsisaumoja

Säiliöön on leikattu kierretappeja, anturia, tulo- ja poistoliittimiä ja lämmitysvastusta varten reikiä, jotka näkyvät kuvassa 22. Leikkaukset on tehty mitä todennäköisemmin plasma- tai laserleikkurilla. Leikkauksessa materiaali on kuumentunut niin paljon että leikkattujen reikien ympäristöt ovat hapettuneet. Nämä hapettuneet kohdat olisi tullut poistaa, jotta materiaalin oma korroosionkestävyys olisi palautunut.

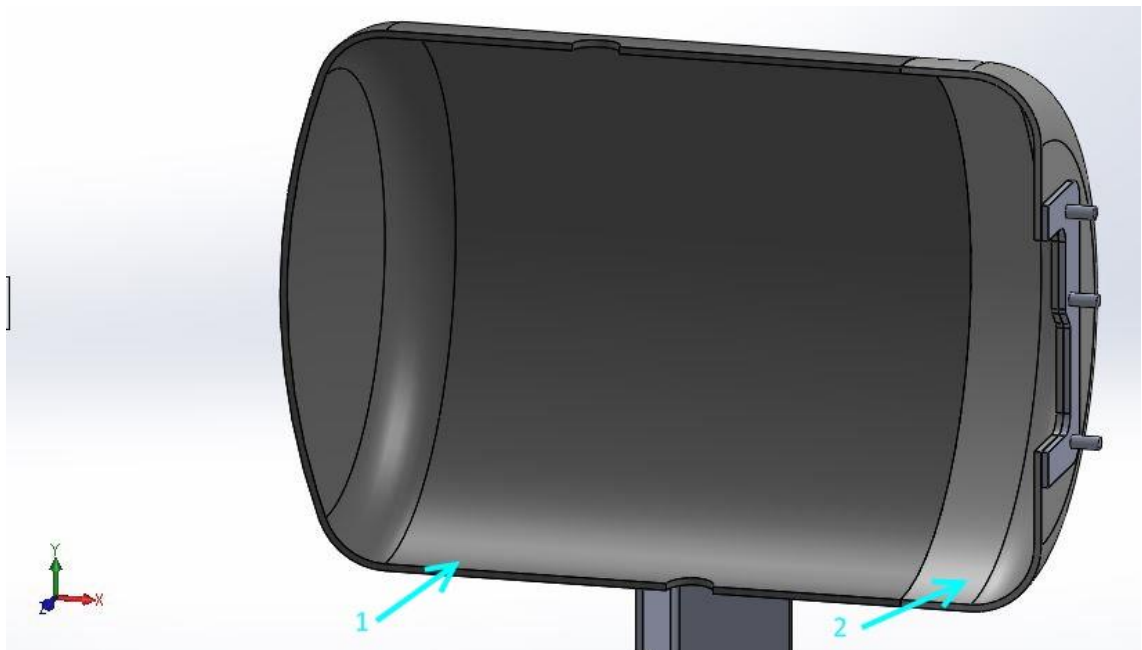


Kuva 22. Hapettuneita alueita leikkausten ympärillä

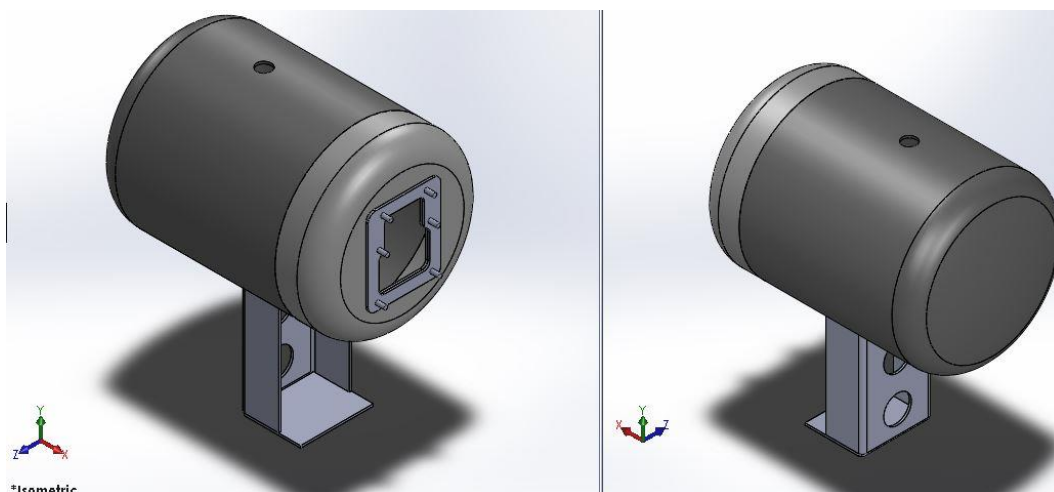
6 Kehitysehdotukset

6.1 Konstruktio

Rst-lämminvesivaraajan korroosionkestävyyden parantamiseksi ja käyttöiän pidentämiseksi tulisi tehdä muutoksia säiliön rakenteeseen ja korjata valmistusvirheet. Säiliön rakenne tulisi muuttaa siten, ettei sinne jää korroosiota edistäviä konstruktioita. Säiliön osalla 1 ja osalla 2 tulisi olla sama halkaisija, jolloin osat voidaan liittää toisiinsa hitsaamalla päittäisliitoksella. Tällä konstruktiolla saadaan eliminoitua virheellinen konstruktio, jossa osat muodostivat laippaliitoksen, joka on altis rakokorroosiolle. Uudessa konstruktiossa säiliön sisältä on poistettu ylimääräiset siivekkeet ja vastuksen kiinnityslaippa on siirretty säiliön ulkopuolelle. Näiden muutosten seurauksena säiliön sisään ei ole mahdollista jäädä korroosiota edistäviä konstruktioita. Kuvassa 23 on 3D-mallista otettu leikkaus, parannellusta konstruktiosta ja kuvassa 24 isometriset kuvat edestä ja takaa.



Kuva 23. Leikkaus parannellusta konstruktiosta



Kuva 24. Uusi konstruktio

6.2 Valmistus

Rst-lämminvesivaraajan korroosionkestävyyteen voidaan vaikuttaa materiaalivalinnalla ja valmistusteknisillä asioilla. Oikeilla valinnoilla ja menetelmillä saadaan poistettua jotain korroosion riskejä ja pienennettyä toisia riskejä.

Varaajan säiliön osien valmistusmateriaaliksi valitaan Cr-Ni-Mo-luokan ruostumaton teräs, johon on seostettu titaania (Ti). Valinta on tehty siksi, että Cr-Ni-Mo-luokan ruostumattomat teräkset vastustavat hyvin korroosiota ja siihen seostetun Ti:in vuoksi raerajakorroosion riskiä saadaan pienennettyä. Tämän luokan ruostumattomat teräkset vastustavat heikosti jännityskorroosiota, mutta lämminvesivaraajaan ei kohdistu ulkoista kuorimitusta, joten jännityskorroosiolle altistumisen riski on pieni.

Hitsauksessa huomioon otettavia asioita, joilla parannetaan rst-lämminvesivaraajan korroosion kestävyttä:

- Hitsattavien alueiden puhdistus ennen hitsauksen aloittamista
- suoja- ja juurikaasun käyttö, sekä juuren huuhtelu suojakaasulla ennen ja jälkeen hitsauksen
- hitsausparametrien varmistaminen
- hitsausnopeus
- hapettuminen.

Mikäli hitsisaumoissa ja niiden ympärillä havaitaan hapettumista hitsauksen jäljiltä, tulee hapettuneet alueet poistaa, jotta materiaalin korroosionkestävyysominaisuudet palautuvat. Myös mahdolliset hitsaus roiskeet ja -kuonat tulee poistaa asianmukaisesti.

Lämminvesivaraajaan ja sen osiin tehtävät leikkaukset voidaan tehdä plasma- tai laserleikkauksella, mutta leikkausten ympärille syntyneet hapettuneet alueet tulee poistaa, jotta korroosionkestävyysominaisuudet palautuvat.

7 Päätelmät

RST-lämminvesivaraajaan syntynyt vuotokohta on hitsisaumassa ja sen aiheuttaja on korrosio. Sen pystyy toteamaan asiasta tietämättömämpikin pelkästään tarkastelemalla varaajaa päällisin puolin. Se, mitkä asiat ovat vaikuttaneet ja edesauttaneet korroosion syntyyn ja etenemiseen, eivät ole ilmiselviä asioita vaan vaativat asiaan perehtymistä. Varaajassa esiintyy korroosiota vain hitsaussaumoissa ja siihen leikattujen reikien alueilla. Varaajan ulkopuolella esiintyvä korrosio ei ole ollut kovin voimakasta, eikä se ole pääsyyllinen varaajan vuotamisen. Puolestaan varaajan säiliön sisällä olevissa hitseissä esiintyvä korrosio on ollut erittäin voimakasta ja pääsyyllinen siinä, että säiliö on alkanut vuotamaan. Vuotokohdan syntyminen ei ole vain yhden korroosimuodon aiheuttama vaan siihen on vaikuttanut useamman korroosimuodon summa. Näitä korroosimuotoja ovat rako-, piste- ja raerajakorrosio sekä yleinen korrosio. Säiliössä esiintyvät korroosimuodot eivät johdu vain yhdestä tekijästä, vaan niiden takana on suunnitteluteknisiä ja valmistusteknisiä asioita.

Lähteet

- 1 Outokumpu Stainless AB. 2013. Handbook of Stainless Steel. Espoo: Outokumpu Oyj
- 2 Euro-inox. 2015. What is stainless steel. Verkkodokumentti: http://www.euro-inox.org/pdf/map/What_is_Stainless_Steel_EN.pdf. Viitattu 19.9.2015
- 3 Stainless steel. 2015. Verkkodokumentti: https://en.wikipedia.org/wiki/Stainless_steel. Viitattu 19.9.2015
- 4 Ruostumaton teräs. 2015. Verkkodokumentti: https://fi.wikipedia.org/wiki/Ruostumaton_ter%C3%A4s. Viitattu: 19.9.2015
- 5 Outokumpu Oyj. 2015. Corrosion Handbook. 11th edition. Finland: Outokumpu Oyj
- 6 Outokumpu Stainless Steel AB. 2015. Austenic Standard Cr-Ni Grades Data Sheet. Verkkodokumentti: https://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Standard_Cr-Ni-Mo_Stainless_Steels_Datasheet.pdf. Viitattu 24.9.2015
- 7 ISSF. The Ferric Solution. 2015. Verkkodokumentti: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_The_Ferritic_Solution_English.pdf. Viitattu 29.9.2014
- 8 Stainless Steel [handbook]: The Euro Inox Handbook of Stainless Steel. 2015. Verkkodokumentti: <http://www.euro-inox.org/>. Viitattu 3.10.2015
- 9 IMO A. 2014 International Molybdenum Association. Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steel. 3rd editon. Verkkodokumentti: http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex_Stainless_Steel_3rd_Edition.pdf. Viitattu: 7.10.2015
- 10 Opetushallitus. 2015. 2. Korroosionesto: Esiintymismuodot. Verkkodokumentti: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html. Viitattu: 10.10.2015
- 11 Tampereen teknillinen yliopisto, Materiaaliopin laitos. 2005. Verkkodokumentti: http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_1_4.php Viitattu: 14.10.2015
- 12 IMO A, International Molybdenum Association. 2015 Verkkodokumentti: <http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/duplex-stainless-steel.php>. Viitattu: 14.10.2015

- 13 IMOA, International Molybdenum Association. 2015. Verkkodokumentti: <http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/pier-railing-article.php>. Viitattu 15.10.2015
- 14 Euro-Inox. 2015 Mobiilikäsikirja: <http://mobile.euro-inox.org/>. Viitattu 16.10.2015
- 15 Outokumpu Stainless AB. 2010. Outokumpu Welding Handbook, First Edition. Espoo: Outokumpu Oyj.
- 16 AGA. 2015. Verkkodokumentti: http://www.aga.fi/internet.lq.lq.fin/fi/images/AGA%20Stainless%20Steel%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%20105x210%20FI634_122435.pdf. Viitattu: 23.10.2015

