

1

outokumpu 

Jännityskorroosion syntymisen edellytykset ja esimerkkejä todellisista vauriosta

Hannu-Pekka Heikkinen (M.Sc, IWE)
Team lead – Pilot plant
19.4.2024

Korroosio- ja koulutuspäivät 18.-19.4.2024 Otaniemi, Suomen
Korroosioyhdistys SKY



1

2

Outokumpu on ruostumattoman teräksen ykkönen

- Toimintaa lähes 30 maassa ja tuotantoa Suomessa, Ruotsissa, Saksassa, Meksikossa ja Yhdysvalloissa
- Hyvä markkina-asema: markkinajohtaja Euroopassa ja toiseksi suurin Amerikoissa
- Tärkein raaka-aine kierrätysteräs
- Oma kromikaivos Kemissä
- Listattu Nasdaq Helsingissä

Liikevaihto
7,0
mrd. euroa

Oikaistu käyttökate
517
milj. euroa

Nettovelaton, nettovelka
-60
milj. euroa

Kierrätysisältö
95 %

8 469
työntekijää*

Hiilidioksidipäästöt
-27 %
vuodesta 2016

2024

*Henkilöstö kokoaikaiseksi muutettuna.



2

3

outokumpu

Olemme vahvasti läsnä tärkeimmillä markkinoilla



2024

3

4

outokumpu

Outokummun historia – 100 vuotta asiantuntemusta



1910–1920-luvut

"Oudosta kummusta" ruostumattoman teräksen keksimiseen



1930–1940-luvut

Merkittävä kuparintuottaja



1950–1960-luvut

Laajentuminen muihin metalleihin



1970–1980-luvut

Monimetalli- ja teknologiayhtiö



1990–2000-luvut

Keskittyminen ruostumattomaan teräkseen

Avesta Sheffield -yhtymä



2010–2020-luvut

Uusi vastuullisen ruostumattoman teräksen ykkönen

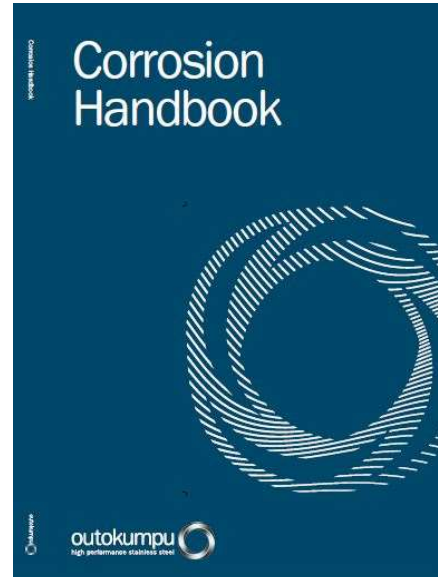
Inoxum-yhtymä

2024

4

Korroosiokäsikirja – uusi painos julkaistu

- 12. painos julkaistu syyskuussa 2023
- 1. julkaisu 1926
- Noin 350 sivua
- Teknisiä artikkeleja
- Korroosiotaulukoita



Ruostumattoman teräksen korroosiolajit

Korroosimuodot aktiivisessa tilassa

- Yleinen korroosio (= tasainen korroosio)
- Eroosikorroosio
- Galvaaninen korroosio (= metalliparikorroosio)

Korroosimuodot passiivisessa tilassa:

- Pistekorroosio
- Rakokorroosio
- Raerajakorroosio (⇒ metallurginen muutos)
- Jännityskorroosio
- Korroosioväsyminen

Erikoiskorroosimuodot:

- Saostumakorroosio
- Mikrobiologinen korroosio
- Hitsin korroosio (⇒ metallurginen muutos)

7

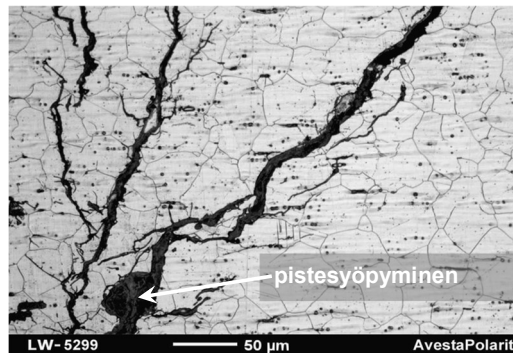
Jännityskorroosio Stress corrosion cracking - SCC

Ominaisuudet:

- Paikallinen korroosiolaji
- Ruostumaton teräs murtuu syövyttävässä liuoksessa aikaisemmin kuin ilmassa
- Se on vaarallinen, koska sitä ei huomata ajoissa ja vauriot ovat usein suuret (esim. uimahallissa)

Lisätietoa materiaalivalintaan:

Teräsrakenneyhdistys ry. 2017.
Käsikirja – Ruostumattomien terästen käyttö
kantavissa rakenteissa. 4. painos.



7

8

Ympäristön aiheuttama halkeilu

Yleiset piirteet:

- Vetojännityksen alainen ruostumaton teräs murtuu helpommin korroosio olosuhteissa kuin ilmassa.
- Vaarallinen, koska lopullinen murtuma johtaa normaalisti katastrofaaliseen vaurioon

Ympäristön aiheuttaman halkeilun tyypit:

- Kloorin aiheuttama jännityskorroosio
- Lipeä - Alkaline stress corrosion cracking
- Sulfidin aiheuttama jännityskorroosio (Sulphide stress corrosion cracking)
- Vetyhauraus (Hydrogen embrittlement)
- Sulametallihauraus (Liquid metal embrittlement)

8

Kloridin aiheuttamaa jännistyskorroosio

Edellytykset:

- Ruostumaton teräs passiivisessa tilassa = "herkkä" materiaali
- Riittävän suuri vetojännitys ruostumattoman teräksen pinnalla
 - Jäännösjännitykset muovauksesta tai hitsauksesta voi olla
 - Kuulapuhallus voi laukaista jännityksiä, kuivahionta voi lisätä niitä.
- Riittävän suuri kloridipitoisuus ympäristössä
 - Joskus liittyy veden haihtumiseen kuumilla pinnoilla
- Riittävän korkea lämpötila
 - Lämpötila korkeampi kuin 50 - 60°C, piste- ja rakokorroosio yleensä dominoin korroosioprosessia
 - Ympäristön lämpötiloissa kloridin aiheuttamaa jännistyskorroosioita on havaittu vain erikoistapauksissa (esim. uimahallit)



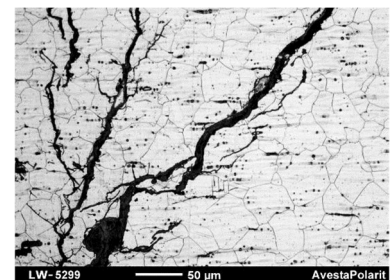
Kloridin aiheuttamaa jännistyskorroosio

Murtuman eteneminen:

- Usein haaroittuva murtuma etenee rakeiden läpi (transgranular).
- Raerajamurtuma (Intergranular) mahdollinen jos ruostumaton teräs on herkistynyt.
 - Herkistynyt ruostumaton teräs ovat huomattavasti alttiimpi SCC:lle.

Parannustoimenpiteet:

- Vältetään kriittisiä olosuhteita
- Sopivan teräslajin käyttäminen
 - Erityisesti standardi austeniittiset ruostumattomat teräksen on taipuvaisia jännityskorroosioon
 - Martensiitin muodostuminen austeniittiseen ruostumattomaan teräkseen on haitallista
 - ⇒ Lujitettu teräs on herkempi.



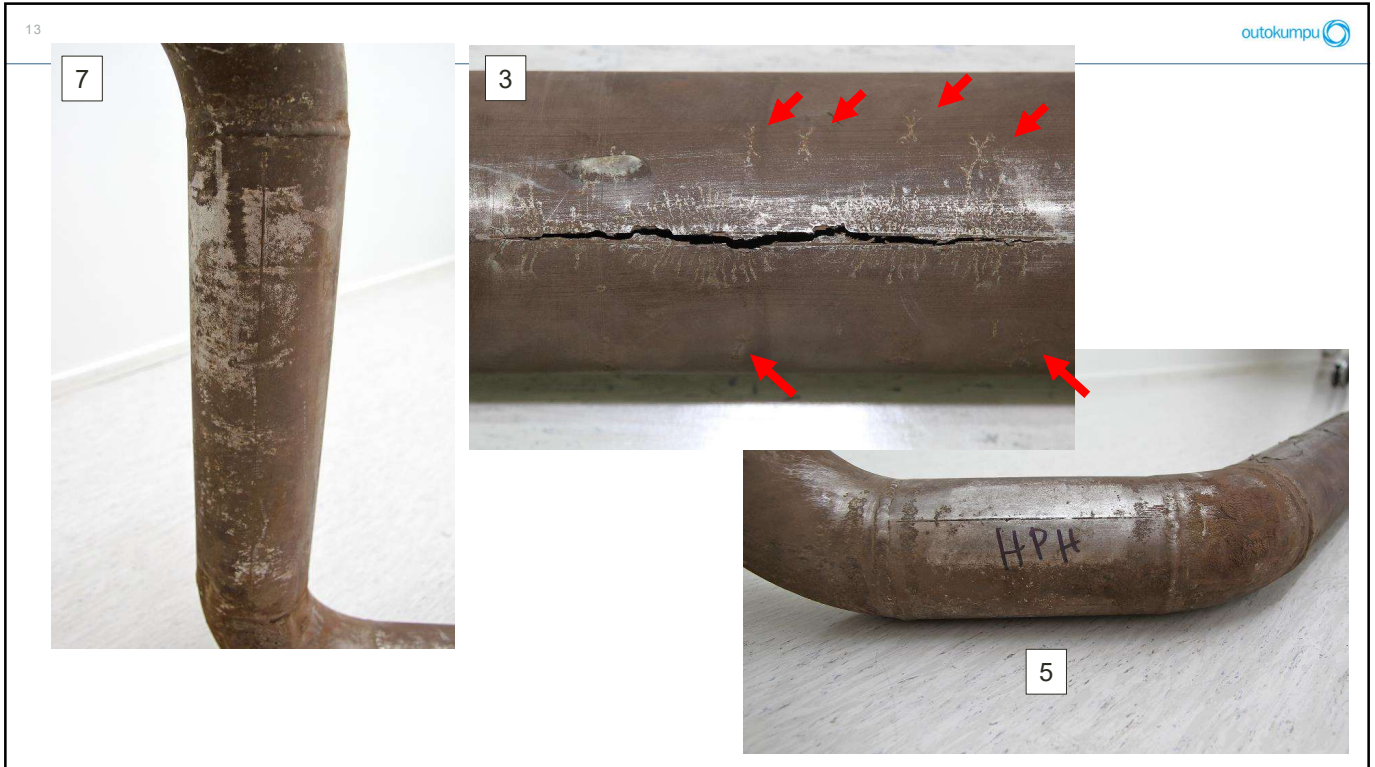
Vaurioselvitys

TITLE / SPEAKER / CONFIDENTIAL

11



12



13

3

7

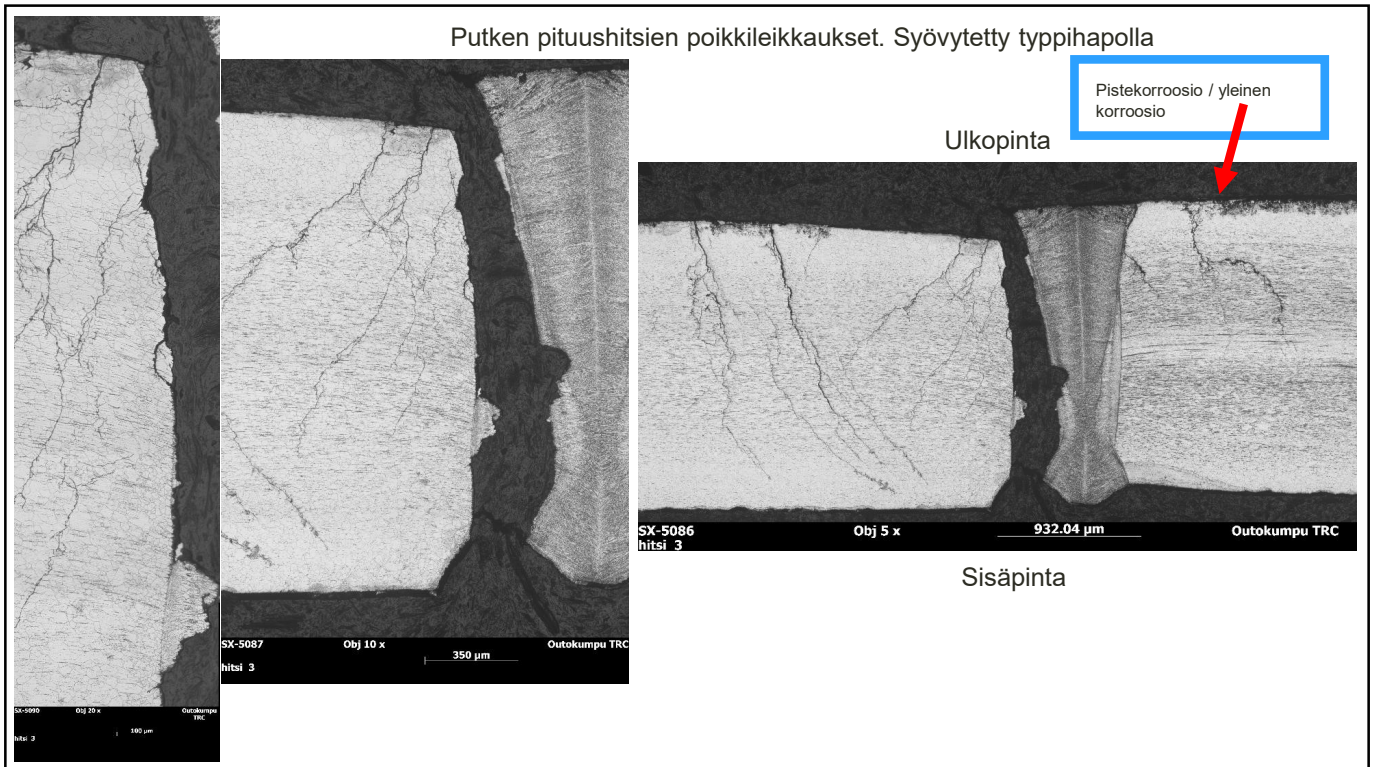
Katkesi olemassa olleesta säröstä

Specimen ID	td	Date	b0	a0	L0 ST	Me	ReH	Rel	Ae	Rp0.01	Rp0.05	Rp0.1	Rp0.2	Rp1.0	Rm	Ag	A50mm	A5 (50)	Tester
s			mm	mm	mm	GPa	MPa	MPa	%	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	%	
näyte 7	134,89	8.7.2020	20,07	1,902	80	203	-	-	-	223	323	362	394	437	656	35,46	42,2	50,84	MKE
näyte 3	77,7	8.7.2020	20,08	1,897	80	185	-	-	-	189	248	275	259	364	392	1,64	5,6	10,75	MKE

Taivutuskoje Ø4mm painimella
180° OK jos ei murtumia ennestään

Putken sisäpinnoilla ei näy merkkejä korroosiosta

14



15

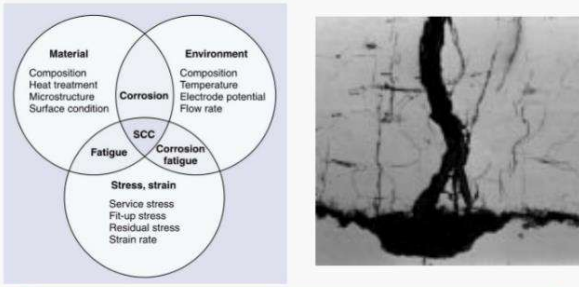
outokumpu 

Korroosioväsyminen

- Vauriot ovat suunnilleen samanlaiset kuin jännityskorroosiossa.
- Erot:
 - Syklinen mekaaninen kuormitus
 - ⇒ Kun taajuus on matala, teräs kestää lyhyemmän aikaa.
 - ⇒ Syynä voi olla esim. pumppu veden kiertokulussa.
 - Jokainen syövyttävä aine voi aiheuttaa korroosioväsymistä.
 - Erilainen murtumismuoto kuin jännityskorroosiossa:
 - ⇒ Vain vähän haaraantuneet murtumat.
 - ⇒ Passiivinen ruostumaton teräs: vähän murtumia.
 - ⇒ Aktiivinen ruostumaton teräs: paljon murtumia.
- Parannustoimenpiteet:
 - Samanlaiset kuin jännityskorroosiossa
 - Mekaanisen kuormitustaajuuden korottaminen voi auttaa (⇒ laitteen omanaistaajuus).

Source: <https://www.slideshare.net/SHIVAICHOUHURYI/damage-mechanism-in-boiler-thermal-power-plant>

STRESS CORROSION CRACKING



Material: Composition, Heat treatment, Microstructure, Surface condition

Environment: Composition, Temperature, Electrode potential, Flow rate

Stress, strain: Service stress, Fit-up stress, Residual stress, Strain rate

Corrosion

Fatigue

Corrosion fatigue

SCC

14

16

Havainnot ja johtopäätökset

- Putken ulkopinnalta lähteneitä murtumia paikoitellen läpi materiaalipaksuuden.
- Pinnalla merkkejä piste/yleisestä korroosiosta
- AOD1 → riittävän korkea lämpötila (Pentti Kupari: 50...100°C)
- Väsyttävä kuormitus 9 vuotta / 6000 sulatusta / vuosi / 1 puhallus 3 varttia / millä taajuudella värähtelee puhalluksen aikana? → kuormanvaihtoja tulee aika paljon.
- Staattinen kuormitus → onko putkiston kannakoinnissa jotain mikä lisää kuormitusta?
- Putken aksiaalinen kuormitus (hoop stress) käyttöpaineella 13 bar on vielä aika matala (Oisko alle 30MPa).
- Jännitystaso alhaisempi putkikäyrissä → suurempi materiaalipaksuus $\sigma=F/A$
- Putkikäyrien pinnanlaatu voi olla erilainen kuin putkissa → parempi korroosionkesto vaikka kemiallinen koostumus sama.
- → **Jännityskorroosio**

17

Korroosion estäminen

Korroosiosuojausmenetelmät

- Tavalliset suojausjärjestelmät, jotka toimivat myös muilla materiaalilla.

Sovelluksen mukautettu materiaalivalinta

- Sovelluksen olosuhteiden tunteminen jo suunniteltuvaiheessa.
- Useat sovellukset olosuhteet ovat jo tiedettävät etukäteen.

Fiksu rakentaminen

- Paljon tyypillisiä virheitä on jo tehty ...

Pinnan vaikutus

- Pinnan laatu
- Pinnan puhtaus

Korroosiotietojen hankinta

Ohjeita materiaalin valintaan

- Data sheets and brochures



- Corrosion Handbook



- Welding handbook

- Segment and application brochures



18

