

MATERIAALIOPIN LAITOS
TAMPEREEN TEKNILLINEN
KORKEAKOULU

Metsä-Botbia Äänekoski
Kolmostulistimen käyrän vaurioanalyysi

23.10.2001

Prof. Toivo K. Lepistö & DI Jussi Laurila
TTKK Materiaalioppi

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TAMPERE, FINLAND

Metsä-Botnia Äänekoski

Kolmostulistimen käyrän vaurioanalyysi

23.10.2001

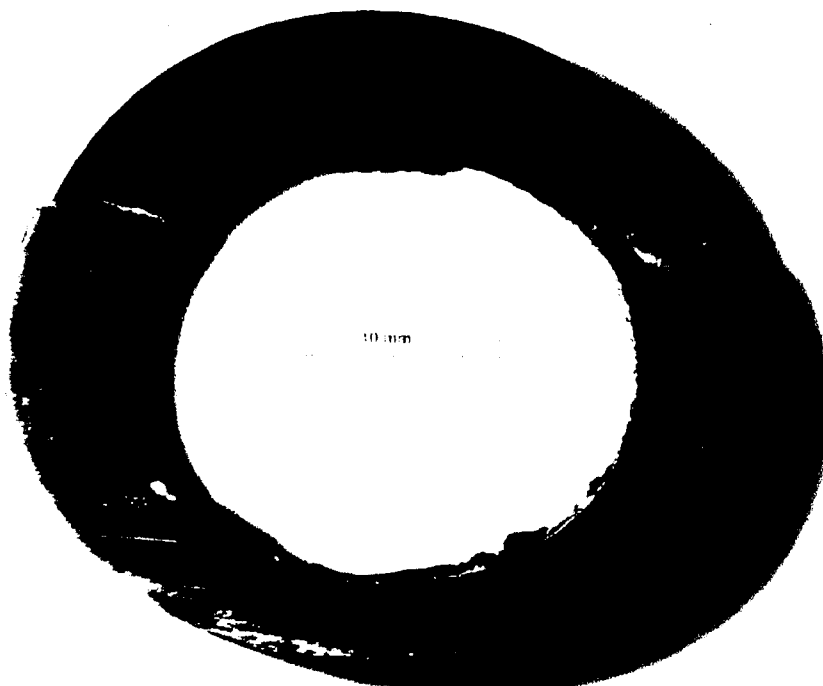
Prof. Toivo K. Lepistö & DI Jussi Laurila
TTKK Materiaalioppi

1. Johdanto

Vedellä suoritettun koeponnistuksen aikana paljastui soodakattilan 3. tulistimen käyrässä vuoto, kuva 1. Tarkemmissa tarkasteluissa ilmeni, että käyrään tehdyn 90°:een taivutuksen sisäkaarteessa oli putken pituusakselia vastaan kohtisuorassa asennossa noin 40 mm:n pituinen särö, josta koeponnistusvesi pääsi vuotamaan ulos. Kuvassa 2 on esitetty valokuva avatusta säröstä: murtopinta on kauttaaltaan paksun korroosiotuotteen peitossa, joten särö ei ole syntynyt koeponnistusvaiheessa, vaan jo aiemmin.



Kuva 1: Koeponnistuksen jälkeen otettu kuva vaurioituneesta tulistinputkesta. Yleinen korrosio on vaurioituneessa putkessa vähäistä.



Kuva 2: Avattu murtopinta kuvassa ylhäällä. Murtopinta on kauttaaltaan mustan korroosiotuotteen peitossa. Murtuman ydintymiskohta on kuvassa ylhäällä.

Kattilan on valmistanut A. Ahlström Oy. Vaurioitunut käyrä on asennettu paikoilleen soodakattilan tulistimeen vuonna 1996. Kattilan Eko-putkistossa havaittiin vuoto kesällä 2001, jonka korjauksen jälkeen kattila koeponnistettiin, ja tarkasteltavana olevan säröytyneen putken vuoto havaittiin.

Vaurioitunut käyrä on valmistettu austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä, joka mitatun kemiallisen analyysin mukaan vastaa lähinnä tyyppiä A310S. Materiaalista mitattu kemiallinen analyysi on annettu liitteessä 1. Tutkimustyön tilaajalla ei ollut tarkkaa tietoa putken materiaalista. Valmistajan mukaan vaurioituneen putken materiaalina on käytetty koemielessä austeniittista materiaalia Sumitomo HR3C (SA 213 TP 310HCbN).

Taulukossa 1 on verrattu putkimateriaalista mitattuja koostumuksia A310S-teräksen vastaavien ohjeellisten koostumusten kanssa. Eroavaisuuksia on lähinnä mangaanin, piin, molybdeenin ja niobin pitoisuuksissa. Sumitomo HR3C materiaalia voidaan analyysin perusteella pitää niobilla ja tyypellä modifioituna versiona A310S-teräksestä.

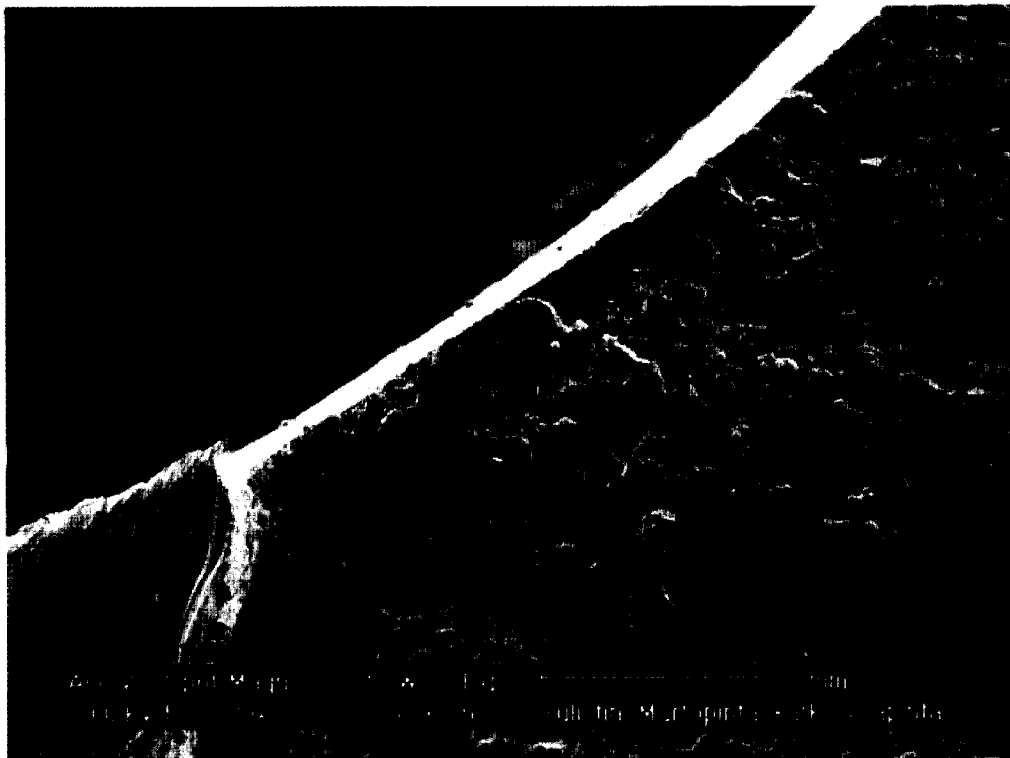
Taulukko 1: Putkimateriaalista mitattu kemiallinen koostumus ja A310S-teräksen ohjeellinen koostumus. Lähde: Metals Handbook, vol 10, ASM, 10th ed.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Nb	Al
Putki	0.076	0.53	1.17	0.019	0.004	25.0	20.1	0.35	<0.02	0.021	0.34	0.03
A310S	0.08	1.5	2.0	0.045	0.03	24.0-26.0	19.0-22.0	-	-	-	-	-

2. Murtopintatarkastelut

Vaurioituneen putken murtopinta avattiin lähempiä tarkasteluja varten. Avattaessa havaittiin, että pinta on kauttaaltaan mustan korroosiotuotekerroksen peitossa. Kerroksen värin ja pinnalta mitattujen EDS-analyysien perusteella kerros on lähinnä kromioksidia. Yksityiskohtaisempaan kerroskarakterisointiin ei katsottu olevan aihetta ainakaan tässä vaiheessa. Mikäli vaurion syntysyitä halutaan myöhemmin selvittää syvällisemmin, tulee näihin tarkasteluihin sisällyttää myös korroosiotuotekerroksen karakterisointi.

Ohessa esitetyt kuvat 3, 4 ja 5 on otettu avatulta murtopinnalta läheltä särön kärkeä. Kuten kuvat osoittavat, murtuma on edennyt pitkin austeniittisen materiaalin raerajoja. Murtuma on ydintynyt putken ulkopinnalle kuvassa 2 esitetyn putken poikkileikkauksen yläreunaan. Lähellä murtuman ydintymisaluetta murtopinta on putkesta ulos puhaltaneen korkeapaineisen veden ja höyryn ansiosta tasoittunut eikä materiaalin rakeet ole näillä alueilla yhtä selvästi näkyvissä. Putken seinämän ei todettu kuroutuneen ennen murtumistaan.



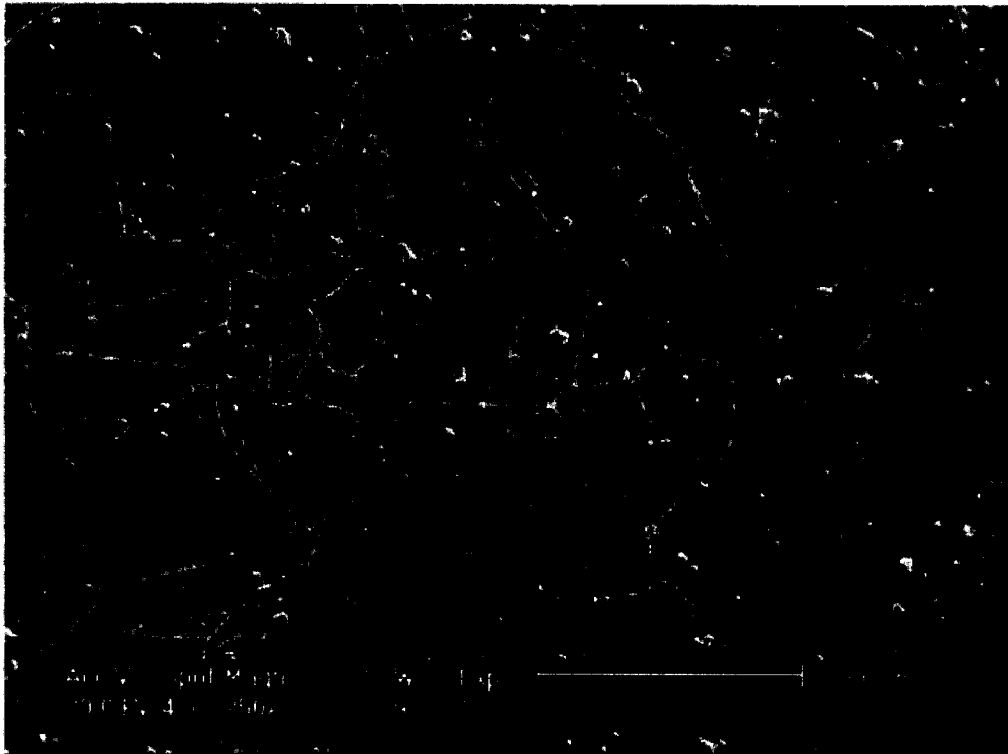
Kuva 3: Avattu murtopinta lähellä putken sisäpintaa: sisäpinnan läheisyydessä särön kärki on kaareutunut putken pinnan suuntaiseksi.

3. Materiaalin mikrorakennetarkastelut

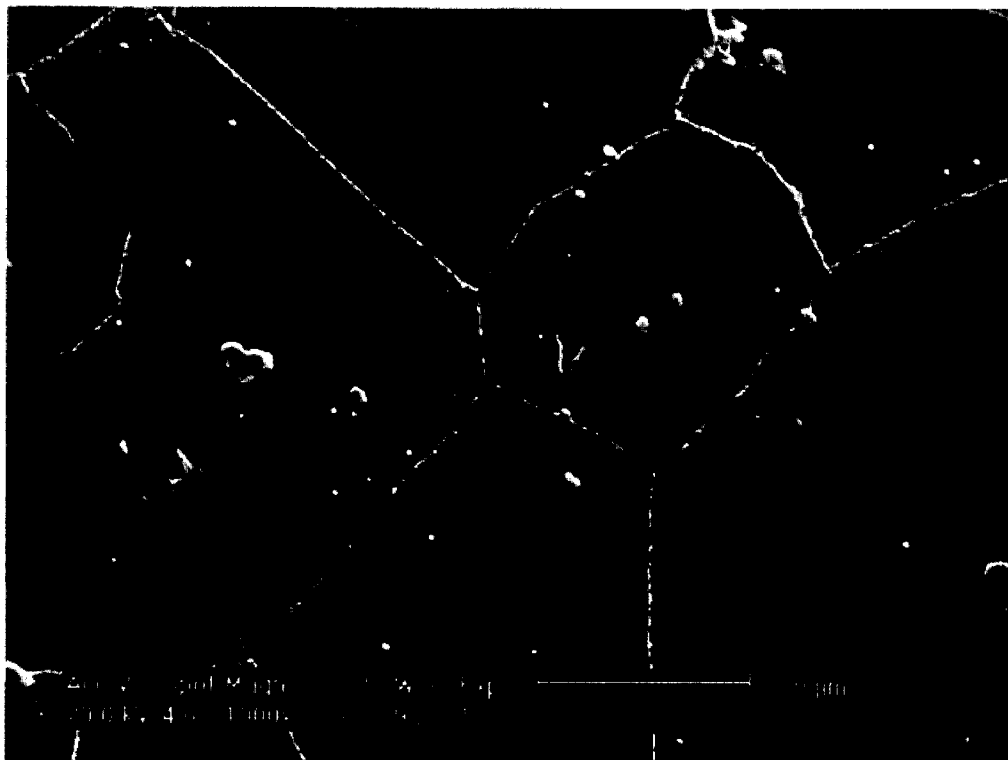
Vaurioituneesta putkikäyrästä valmistettiin mikrorakennetarkasteluja varten poikkileikkaushie. Hie syövytettiin V2A-syövytysellä, syövytysaika oli noin 30 sekuntia. Kuvassa 6 on esitetty putkimateriaalin mikrorakennetta seinämän keskialueella. Austeniittisen materiaalin keskimääräinen raekoko on verrattain suuri eli miltei 100 mikrometriä.

Kuvissa 7 ja 8 on esitetty mikrorakennetta suuremmalla suurennoksella tarkasteltuna. Materiaalin raerajoilla on pieniä karbideja. Pääosa niistä on Nb-karbideja. Karbidien yksityiskohtaisempi tunnistus edellyttää läpivalaisuelektronimikroskooppisia tarkasteluja. Tämän työn puitteissa sitä ei ollut mahdollista suorittaa. Mikäli vaurion perussyitä halutaan selvittää yksityiskohtaisemmin, tulee nämä tarkastelut sisällyttää jatkotyöhön.

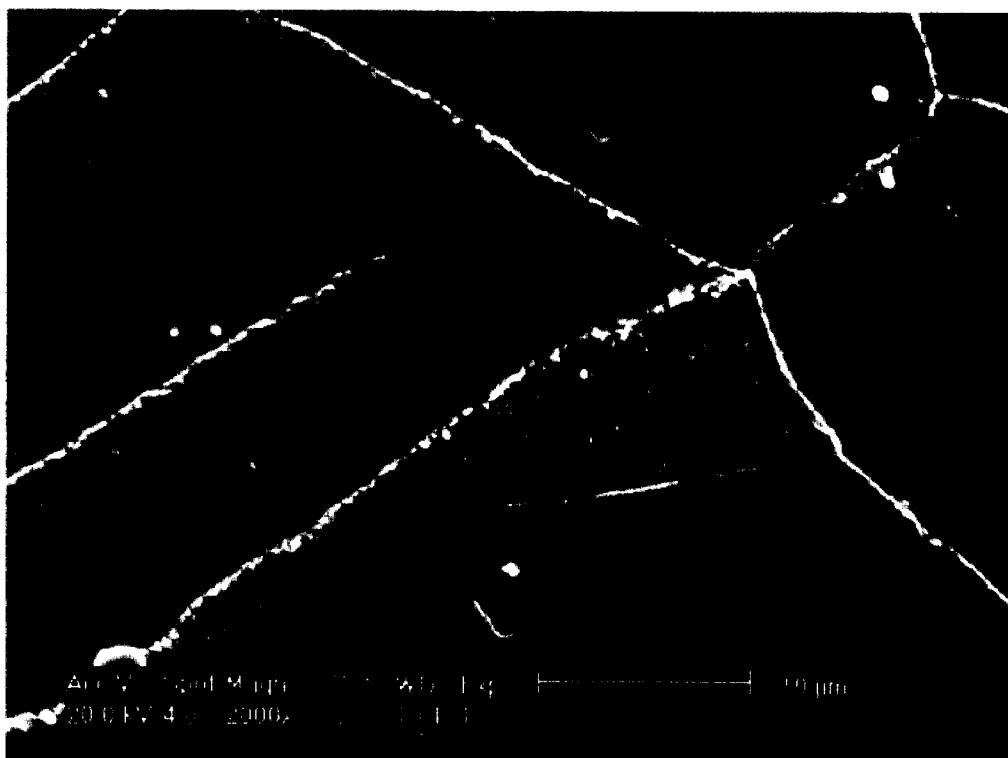
Tarkasteltaessa materiaalin poikkileikkaushiettä aivan putken ulkopinnan välittömässä läheisyydessä huomattiin, että korroosio on tunkeutunut materiaalin raerajoille, kuten kuva 9 osoittaa. Syöpyneiltä raerajoilta mitattujen EDS-analyysien perusteella todettiin, että korroosiotuotteessa (kromioksidi) on pieniä pitoisuuksia klooria, kuva 10.



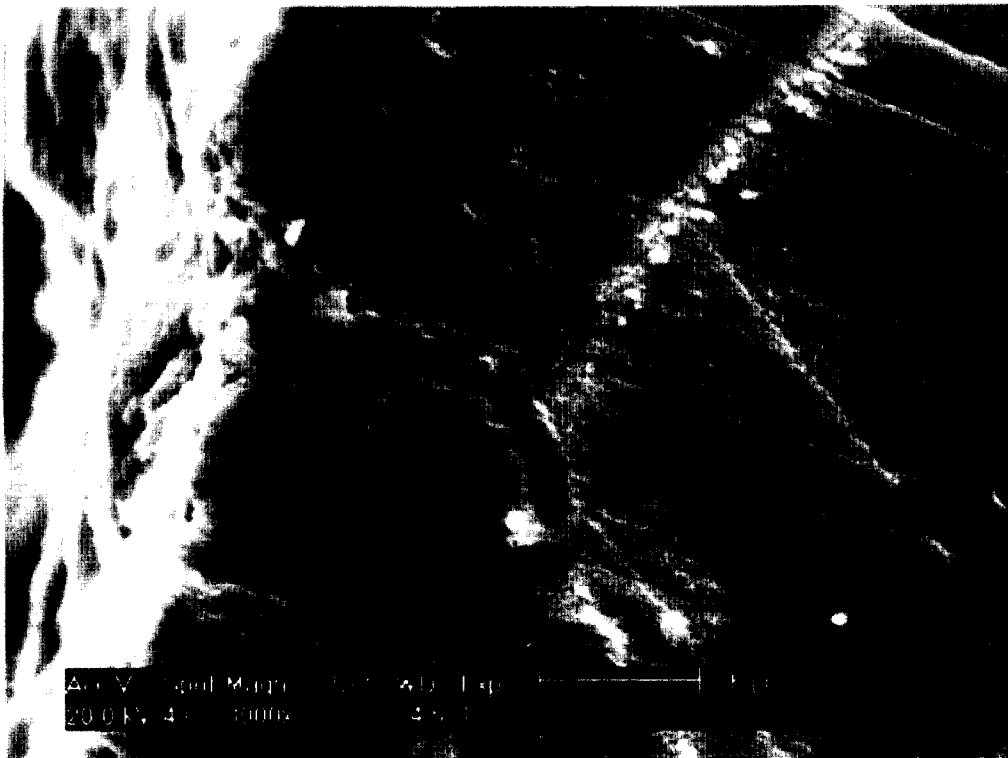
Kuva 6: Materiaalin mikrorakenne.



Kuva 7: Materiaalin raerajoja.

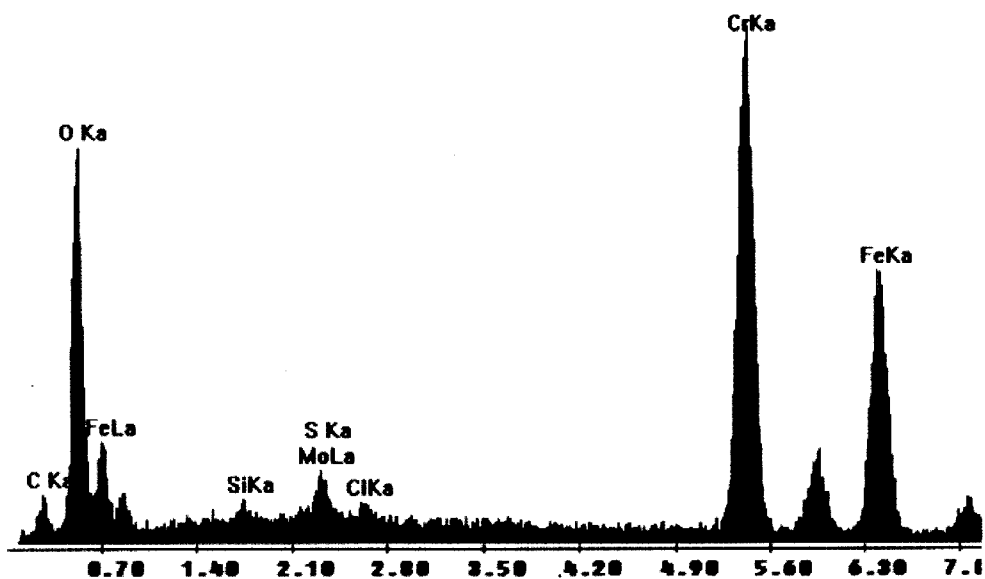


Kuva 8: Materiaalin raerajoilla on pieniä Nb- ja Mo-karbideja.

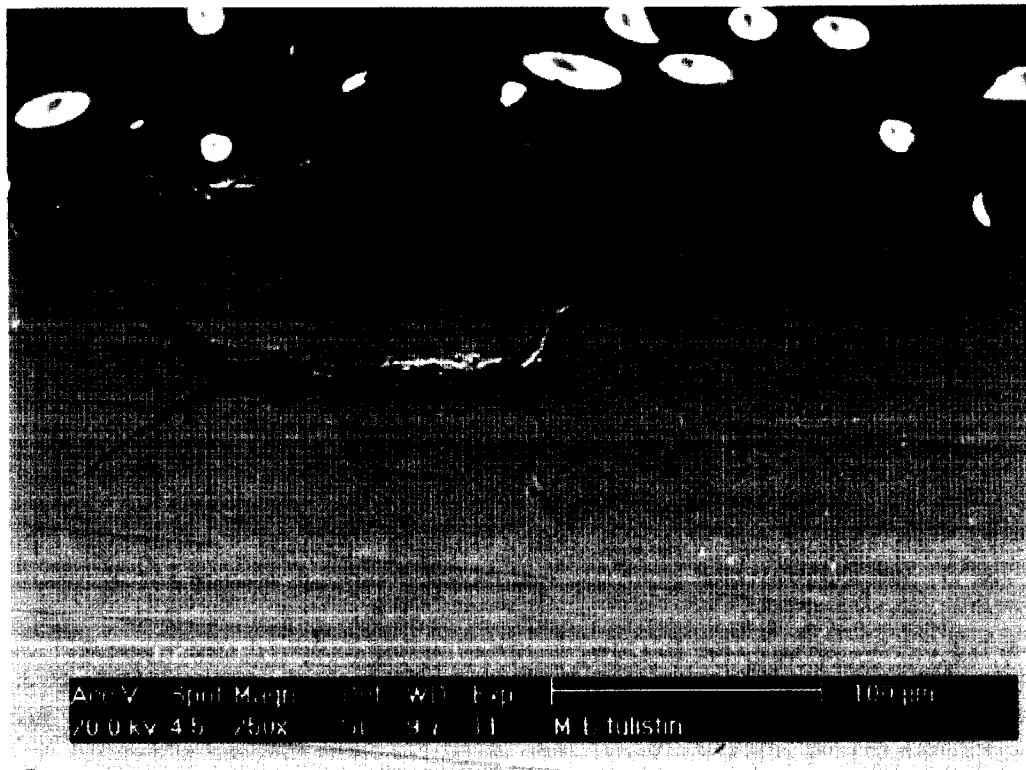


Kuva 9: Korroosio on tunkeutunut putken ulkopinnalta materiaalin raerajoille.

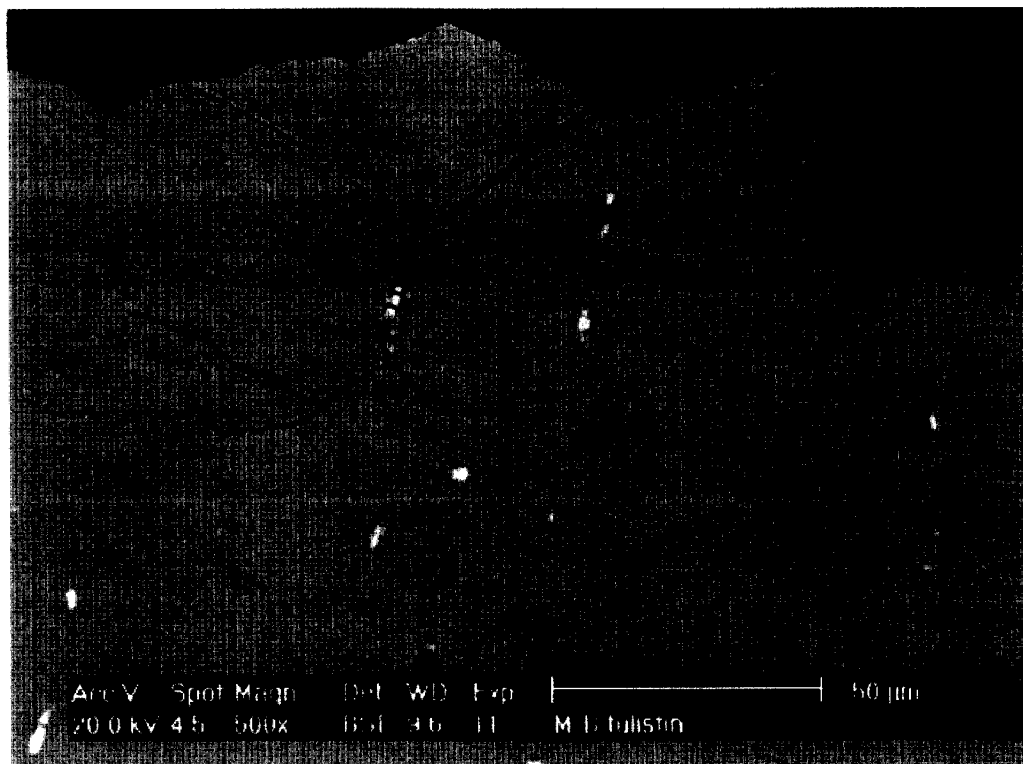
Label A: Raerajalta kuva Y



Kuva 10: Edellisessä kuvassa esitetystä, syöpynneestä raerajasta mitattu EDS-analyysikäyrä: raerajalla on pieniä pitoisuuksia klooria.



Kuva 11: Poikkileikkaushie murtuman alkamisalueen läheisyydestä.



Kuva 12: Poikkileikkaushie murtuman kärkialueen läheisyydestä.

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty poikkileikkaushieet murtuman alkamis- ja kärkialueen läheisyydestä. Alkamisalueen läheisyydessä murtuma on edennyt jonkin verran myös murtopinnan tasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Eteneminen on tapahtunut primäärisesti pitkin raerajoja, mutta hieman myös rakeiden sisään. Murtumat ovat korrodoituneet/hapettuneet, jonka tuloksena niihin on muodostunut, kuva 11, selkeät korroosiokerrokset. Tämäkin osoittaa selvästi sen, että murtuma on ollut olemassa jo ennen koeponnistusta. Murtuman kärkialueen läheisyydessä esiintyy selkeitä, pitkin raerajoja, mutta osittain myös rakeiden sisään edenneitä syöpymiä/murtumia. Korroosiotuotteiden määrä näissä murtumissa on vähäinen.

4. Yhteenveto

Tehtyjen tarkastelujen perusteella putkikäyrän vaurioitumisen on aiheuttanut austeniittisen materiaalin raerajoja pitkin edennyt murtuma. Korroosiota aiheuttavana komponenttina on todennäköisimmin ollut kloori, jota löydettiin pieniä pitoisuuksia syöpyneiltä raerajoilta läheltä putken ulkopintaa. Murtuma on edennyt läpi putkiseinämän lähes suoraviivaisesti ilman mainittavaa haaroittumista.

Tämän vaurioselvityksen tulosten perusteella ei pystytä sanomaan täysin yksiselitteisesti sitä, mikä on ollut perussy s vaurion syntyyn. Esiin tulleiden seikkojen perusteella osatekijöinä ovat olleet ainakin putkikäyrässä esiintyneet jännitykset, jotka yhdessä korrodoivien aineiden kanssa ovat synnyttäneet tietynasteista, pitkin raerajoja etenevää jännityskorroosiota, sekä mikrorakenteelliset syyt, jotka ovat edesauttaneet raerajojen korrodoitumista. Mikäli vaurion perussyt halutaan saada selville, tulee tutkimustyötä jatkaa yksityiskohtaisemmilla tarkasteluilla ja erilaisilla laboratoriokokeilla, joissa voitaisiin selvittää materiaalin korroosio- ja jännityskorroosikäyttäytymistä.

Murtopintatarkastelujen perusteella putki on hyvin todennäköisesti vuotanut jo ennen kattilan alasajoa kesällä 2001.

Tämän selvityksen tulosten perusteella tulee seuraavan seisokin aikana tarkistaa kaikki Sumitomo HR3C materiaalista valmistetut putkikäyrät, jotta voidaan varmistua siitä, että niissä ei esiinny kasvuvaiheessa olevia murtumia. Tällä varmistauduttaisiin myös siitä, onko kyseessä nimenomaan tälle materiaalille ominainen heikkous, vai voidaanko havaittua vauriota pitää enemmänkin jostain syystä esiin tulleena yksittäistapauksena.

METLAB OY TESTAUSSELOSTE -- TEST REPORT

METALLURGICAL LABORATORY
TAMPERE
FINLAND

STANDARDI - STANDARD

SFS - EN 10002-1



No. 200001

Sfs - Page 1/1

TEST protocol

Titela - Purchaser : TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU (TTOK) Materiaalipöytäkirja PI 558 33101 TAMPERE		Ilmoitus tuloa pvm. - Date of arrival / Tilauksen päivä - Purchase order no: 18.10.2001 / 18.10.2001 Jussi Laitila								
Tuote - Product : KATTILAN TULISTINPUTKNÄYTE 1 kpl Analyysi		Materiaalin valmistaja - Material manufacturer Todistuksen n:o / pvm. - Certificate n:o / date								
Rakka-aine - Material : Sulatus n:o - Charge n:o :										
Kemiallinen koostumus - Chemical composition [%]										
Koe n:o - Test n:o	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	
2959	0.076	0.53	1.17	0.019	0.004	25.0	20.1	0.35	<0.02	
	Ti	V	Nb	Al	W	B	H ppm	N ppm	O ppm	
	0.021		0.34	0.025						
Vaativuudet - Requirements		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
		Ti	V	Nb	Al	W	B	H ppm	N ppm	O ppm
Mekaaniset ominaisuudet Mechanical properties		VETOKOE - TENSILE TEST ISKUKOE - CHARPY IMPACT TEST KOVUUS - HARDNESS BRINELL ROCKWELL VICKERS				SFS-EN 10002-1 SFS-EN 10045-1 SFS-EN ISO 6506-1 SFS-EN ISO 6506-1 SFS-EN ISO 6507-1				
Koe n:o Test n:o	Pysyvä venymäraja Yield strength	Murtokärsä Tensile strength	Murtovenymä Elongation	Kuormus Reduction of area	Iskusäikeys Impact energy Charpy - V [J] °C	Keskiaarvo Average	Kovuus Hardness			
	Rp 0.2 [N/mm ²]	Rm [N/mm ²]	A %	Z [%]		[J]				
Vaativuudet Requirements		Min. Max.	Yksittäinen arvo - single value							
Muut kokeet - Other tests :										
Huomautuksia - Remarks					Valvojan allekirjoitus - Witnessed by					
Selosteen osittainen kopioiminen on kielletty ilman METLAB Oy:n lupaa. The report shall not be reproduced except in full without the permission of METLAB Oy. Tulokset pätevät vain tulkitulle näytelille. The test results relate only to the items tested. Mittausepävarmuus - Measurement uncertainty: Kemiallinen analyysi - Chemical analysis: Ka taulukko liitteessä 1. See table in end 1. Rel., ReH, Rp0.2: +2.7% (2S) Rm: +2.3% (2S) A: +0.4% (2S) Z: +1.4% (2S) Iskusäike - Impact test: 25J / +2.4J ; 80J / +4.0J ; 120J / +8.8J (Energialaso / mittaausepävarmuus - Impact energy level / measurement uncertainty) Kovuus - Hardness: Brinell +1.4 - 3.8 % ; Rockwell HRC +1.7% ; Vickers +1.4%					 METLAB Supervisor of testing Testaus ja seloste pvm. Testing and report date 22.10.2001					

Osoite - Address
 METLAB OY
 PL 545 33101 (Nuutisranta) 15 33900 Tampere

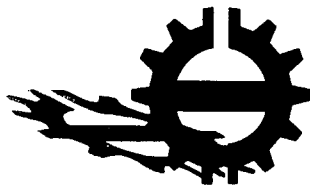
Puhelin - Telephone
 +358 - 3 - 2657244
 e-mail: metlab@metlab.fi

Telefax
 +358 - 3 - 2657344
 Internet: www.metlab.fi

**MATERIAALIOPIN LAITOS
TAMPEREEN TEKNILLINEN
KORKEAKOULU**

**PL 589
33101 TAMPERE**

**PUH. (03) 365 2286
FAX. (03) 365 2330**



**INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**P.O. Box 589
FIN-33101 TAMPERE
FINLAND**

**TEL. INT. +358 3 365 2286
FAX. INT. +358 3 365 2330**

ISSN 0357-8895