

Tilaaja	Inspecta Oy, Jyri Järvi, PL530, 01511 Vantaa						
Tilaus	Sähköposti Jyri Järvi 6.12.2013.						
Yhteyshenkilö VTT:ssä	i VTT Erikoistutkija Sanni Yli-Olli PL 1000, 02044 VTT (Käyntiosoite: Kemistintie 3, Espoo) Puh. 020 722 6842, Faksi 020 722 7002 Sähköposti: sanni.yli-olli@vtt.fi						
Tehtävä	Sunilan 3-tulistimen vaurioselvitys						
Näyte	Tilaajan toimittama vaurioitunut 3-tulistimen käyrä (Liite 1, Kuva 1).						
Saadut asiatiedot	Sunilan soodakattilassa 10 (K-13705) havaittiin vuoto 3-tulistimen putkikäyrän sisäkaarteessa seisokin jälkeisessä koeponnistuksessa (Liite 1, Kuva 2). Soodakattila on valmistunut vuonna 1966, ja sillä on takana 378000 käyttötuntia. 3-tulistin on todennäköisesti vaihdettu viisi vuotta sitten austeniittiseen materiaaliin X10CrNiNb18-10. Höyryn lämpötila 3-tulistimen kohdalla on 480°C ja paine 79,5 bar. Materiaalia ei lämpökäsitellä taivutuksen jälkeen.						
Suoritetut tutkimukset	Tutkittavaksi saatu näyte tarkastettiin silmämääräisesti ja stereomikro- skoopilla. Käyrän kaarevuussäde mitattiin optisella mikroskoopilla. Näytteestä valmistettiin vedettömästi särön yli poikkileikkaushie ja toinen puoli säröstä avattiin murtopintatutkimuksia varten. Murtopintaa ja poikkileikkaushiettä tutkittiin optisella mikroskoopilla (LOM), pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM) sekä siihen liitetyllä energiadispersiivisellä röntgenanalysaattorilla (EDX). Poikkileikkaushieestä mitattiin Vickers-kovuus (Durascan 2000) HV1 läheltä putken ulkopintaa ja keskeltä näytettä.						
Tutkimusten tulokset	Putkikäyrä oli taivutettu 95 \pm 2,5 cm halkaisijalla. Näytteen ulko- ja sisäpintaa tutkittiin stereomikroskoopilla, eikä vaurioon johtaneen särön lisäksi havaittu muita säröjä. Säröä tutkittiin SEM:lla ja EDX:lla poikkileikkaushieestä ja avatun särön murtopinnalta. Molemmissa tapauksissa pinnalle muodostuneesta kerrostumasta löytyi pieniä jäämiä klooria (Liite 1, Kuvat 3 ja 5 sekä Taulukko 1). EDX-analyysin mukaan materiaali sisälsi normaalien austeniittisen ruostumattoman teräksen seosaineiden lisäksi niobia.						
	Stereomikroskooppikuvasta (Liite 1, Kuva 4) nähdään että särö on hapettunut koko syvyydeltään. Ulkopinnalla on harjanteita, jotka ovat tyypillisiä väsymismurtumassa. Särö on alkanut näytteen ulkopinnalta. Murtopinnan SEM kuvassa nähdään särön kärjen etenevän raerajoja pitkin (Liite 1, Kuva 5).						

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.



Poikkileikkaushieestä mitattiin materiaalin kovuus läheltä pintaa (0,2 mm ja 0,4 mm pinnasta) sekä näytteen keskivaiheilta. Materiaali on normaalia kovempaa (pinnalta 347 HV) mikä viittaa siihen että materiaali on voimakkaasti kylmämuokkaantunut. Suurta kovuuden muutosta ei havaittu pinnan ja keskiosan välillä (Liite 1, Taulukko 2).

Poikkileikkaushieestä nähdään kuinka putken ulkopinnalla on noin 2,1 mm syvä mikrorakenteeltaan muuttunut alue, tämä rakenne on syntynyt jo putkea valmistettaessa. Särö etenee alussa melko suoraan pääosin raerajoja pitkin ja siitä lähtee pieniä sivusäröjä (Liite 1, Kuvat 6-8). Materiaali on mikrorakenteeltaan austeniittista terästä, rakenteessa näkyy merkkejä herkistymisestä ja kylmämuokkauksesta (Liite 1, Kuvat 6-8).

Tulosten tarkastelu Tulosten perusteella tulistinputkimateriaali on ollut niobilla stabiloitua austeniittista ruostumatonta terästä (Liite 1, Kuva 3, Mittapiste 7). Rakenteessa havaittiin herkistymistä, mikä on kohtalaisen yleistä austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä tehdyille tulistinputkille. Herkistyminen ei yksinään aiheuta vauriota, mutta lisää raerajakorroosion riskiä kosteissa korrodoivissa olosuhteissa. Särön murtopinnalta ja poikkileikkauksesta nähtiin särön kärjen etenevän raerajoja pitkin, mikä on tyypillistä raerajakorroosiossa. Herkistyminen voi tapahtua austeniittisissa ruostumattomissa teräksissä, joissa on hiiltä > 0.05 p-%, lämpötila välillä 425-870°C hyvinkin nopeasti. Herkistymisessä karbideina erkautuva kromi jättää kromista köyhtyneen korroosioalttiin vyöhykkeen ympärilleen. Voimakas kylmämuokkaus, ilman lämpökäsittelyä, kiihdyttää herkistymistä ja lisää raerajakorroosioriskiä. Soodakattiloissa käytön aikana syntyvät kiinteät klooripitoiset kerrostumat saattavat suolasulat tai edistää raerajakorroosiota. Myös seisokin aikainen vesipesu, jossa kosteutta jää putken pinnalle, voi aiheuttaa suotuisat olosuhteet raerajakorroosiolle. Tässä tapauksessa murtopinnalta löydetty kloori viittaa kloorin edistämään raerajakorroosioon.

> Särön suora muoto poikkileikkauksessa viittaa siihen että ainakin särön alkuvaiheessa on väsyminen vaikuttanut särön syntyyn. Väsymiselle tyypillisiä piirteitä näkyi myös murtopinnan makroskooppisesta kuvasta. Särön murtopinnan hapettuminen oli tuhonnut särön alun mikroskooppiset vauriontunnusmerkit. Väsymiseen johtaneita jännityksiä ovat saattaneet aiheuttaa laitoksen alas- ja ylösajot, lämpötilan tai paineen vaihtelut linjastossa sekä putkikäyrän taivutuksessa jääneet jäännösjännitykset. Koska putkikäyrässä oli vain yksittäinen käytännössä haaroittumaton särö, on mahdollista että materiaalissa on tällä kohtaa ollut rakenteessa heikompi kohta.

> Vaurio on siis syntynyt väsymisen ja kloorin kiihdyttämän raerajakorroosion yhteisvaikutuksesta herkistyneessä materiaalissa.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.



Sanni Yli-Olli Erikoistutkija Satu Tuurna Tiimipäällikkö Pekka Pohjanne Tutkimusaluepäällikön sijainen

LIITE 1

kuvat 1 - 10, taulukot 1-2

JAKELU Tilaaja, 1 alkuperäinen VTT, Kirjaamo, 1 alkuperäinen





Kuva 1. VTT:lle toimitettu 3-tulistimen vaurioitunut putkikäyrä



Kuva 2. Käyrän sisäkaarteen särö, poikkileikkaushieen paikka merkitty katkoviivalla



					25 2 2 4	μm ₁₅	6553 7 #
20 kV 5	1000 x SE	20	μm	1			
Mittauspiste	1	2	3	4	5	6	7
Aikuaille	2.6	2.0	2.0	2.2	2.0	2.0	2.1
	3,0	3,0	3,2	3,2	5,0 10.5	2,9	5,1
	9,4	10,2	1,4	11,9	19,5	22,3	-
Al	0,2	0,2	0,1	0,6	-	-	0,2
51	-	0,6	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6
	-	-	-	-	0,2	-	-
Cr	3,9	17,2	4,0	22,3	7,7	12,3	18,1
Mn	0,4	1,7	-	2,6	1,0	1,8	-
Fe	70,6	61,3	84,1	52,5	61,4	59,3	67,6
Ni	12,0	4,6	6,5	5,0	6,5	1,1	9,9
Nb	-	0,5	0,2	0,8	0,2	-	0,4
Мо	-	0,9	0,4	0,9	0,4	-	0,3





Kuva 4. Stereomikroskooppikuva murtopinnalta auki murretusta säröstä (särö on tumma alue kuvassa, vaalea on auki murrettua pintaa)

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.





Kuva 5. SEM kuva murtopinnalta särön kärjestä (EDX analyysien mittauspisteet merkitty oranssilla)

I u u u u k v 0 I. N 0 u u e u u u v v u k e v u v 0 v 0 u u u 0 - 701 mu u 0 0 u u u u u u u u u u u u u u u	Taulukko I. Kolmen	EDX alue analyysin	keskiarvo (paino-%) murtopinnalta lähei	tä särön kärkeä
---	--------------------	--------------------	--------------------	-----------------------	-----------------

Taulako T. Kolmen EDA alae analyysin keskarvo (pano 70) mariophinala lanena saron karkea												
Aine	С	0	Na	Si	Cl	Κ	Cr	Mn	Fe	Ni	Nb	Mo
p-%	0,5	9,8	0,9	0,6	0,8	0,3	18,2	2,4	57,4	7,9	0,7	0,5

Taulukko 2.	Kovuus	mitattuna	kolmelta	eri	svvvvdeltä	poikkileikkai	ishieestä	(HV1))
1 00000000 21	110 / //////		100111101101	0.0	5,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	pointertert	ishire ester		/

		1	
Mittauskohta	0,2 mm ulkopinnalta	0,4 mm ulkopinnalta	Yleiskovuus
Kovuus (HV1)	347 ± 8	346 ± 16	334 ± 5





Kuva 7. Suurennos kuvasta 6, särön alkukohta





Kuva 9. Putken mikrorakenne





Kuva 10. Putken sisäpinnan oksidi