

تحلیل ترک خوردگی لوله های مبدل حرارتی چگالنده بخار

عماد شریفی^{۱*}، خلیل رنجبر^۲، محمد شاکری^۳

^۱ کارشناس بازرسی فنی، اداره بازرسی فنی، شرکت پالایش گاز بیدبلند، امیدیه، ایران
^۲ استاد، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
* نویسنده مسئول: Sharifemad2@gmail.com

تاریخ ارسال : ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰

چکیده

در این پژوهش علت آسیب دیدگی لوله های مبدل حرارتی پوسته و لوله واحد آب مقطر سازی شرکت پالایش گاز بیدبلند بررسی شد. در این مبدل حرارتی جنس لوله های مبدل حرارتی از نوع برنج زرد و سیال خنک کننده درون لوله ها آب گرمی است. درون پوسته فولادی بخار وارد می شود تا تبادل حرارتی برقرار و به آب تغذیه تبدیل شود. برای آسیب شناسی، سطح داخلی و خارجی لوله ها با استفاده از روش هایی از جمله بررسی ظاهری، بررسی میکرو ساختار با استفاده از میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی، طیف سنجی تفکیک انرژی، طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس و طیف سنجی پراش اشعه ایکس، طیف سنجی نشر جرقه (کوانتومتری) و سختی سنجی، مورد بررسی قرار گرفت. بررسی ها نشان داد که لوله های آسیب دیده دچار روی زدگی شده اند. ترک های طولی زیادی در داخل لوله ها مشاهده گردید که منشاء آن ها منطبق بر محل های روی زدگی بودند. پیشنهاد گردید که ترکیبات خورنده در آب گرمی کنترل و انتخاب مناسبی برای آلیاژ لوله ها صورت گرفته تا از خرابی زود رس آن ها جلوگیری شود.

کلیدواژه: برنج زرد، مبدل حرارتی، روی زدایی، ترک خوردگی

Case Study

Failure Analysis of Steam Condenser Heat Exchanger Tubes

E. Sharifi ^{1*}, Kh. Ranjbar ², M. Shakeri³

^{1,3} Technical inspector, Technical inspection department, Bid Boland Gas Company, Omidieh, Iran

² Professor, Department of Material Science & Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

* **Corresponding Author:** Shsrifemad2@gmail.com

Submission: 2022, 03, 11 **Acceptance:** 2022, 06, 10

Abstract

Failure analysis was carried out on yellow brass tubes that leaked after five years of service in a heat exchanger. The leaked tubes had numerous longitudinal cracks. The service fluid inside the brass tubes was cooling water used to exchange the temperature with hot steam at the shell side. Microscopic examinations and energy dispersive spectroscopic analyses were carried out on the brass tube inside and outside surfaces to understand the root cause of the failure. Microscopic examinations of the tubes at the fracture edges and cracked areas revealed that the tubes suffered severe dezincification, and cracks initiated and propagated from the regions that suffered dezincification, causing the failure of tubes. It is suggested to control the corrosive species in cooling water and select proper material for tubes to avoid the premature failure.

Keywords: Yellow brass, Heat exchanger, Dezincification, Corrosion cracking

۱- مقدمه

مبدل‌های حرارتی تیوب و پوسته یک نوع از مبدل‌های حرارتی هستند که در صنایع مختلف کاربرد فراوان دارند. در این مبدل‌ها تبادل حرارتی بین دو سیال به صورت غیرمستقیم انجام می‌شود [1]. مبدل حرارتی تحت شرایط خاصی از دما، جریان و فشار سیال عمل می‌کند و هرگونه تغییر در فشار، سرعت و آلودگی سیال نشانه‌ی عملکرد نامناسب مبدل حرارتی است [2]. انتخاب مواد برای پوسته و تیوب بر اساس شرایط عملیاتی مبدل انجام می‌شود. باوجوداینکه از برنج (آلیاژ مس و روی) به طور گسترده‌ای به عنوان جنس لوله استفاده می‌شود، ولی معمولاً برنج دچار روی زدایی^۱ و خوردگی ناشی از برخورد ذرات^۲ می‌شود [3]. آلیاژهای دیگر برنج با مقاومت به خوردگی بهتر شامل برنج نظامی^۳، برنج دریایی^۴، برنز و آلیاژهای مس - نیکل می‌شود. آلیاژهای مس - روی حاوی بیش از ۱۵ درصد روی به روی زدایی حساس‌ترند. در این آلیاژها روی از زمینه خارج می‌شود و یک لایه متخلخل و ضعیف از مس و اکسید مس باقی می‌گذارد. یکی دیگر از عیوب رایج در لوله‌های مبدل حرارتی خوردگی سایشی^۵ [4]، خوردگی زیر رسوبی^۶ [5]، خوردگی گالوانیک^۷ [6] و ترک خوردگی تنش^۸ [7] است. ویشاپوت و همکاران [8] به بررسی آسیب لوله‌های از جنس برنج زرد^۹ در کاربرد به عنوان رادیاتور پرداختند. در این تحقیقات نشان داده شد که لوله‌ها دچار خوردگی حفره‌ای ناشی از غلظت بالای یون کلراید شده بودند. رنجبر و همکاران [4] به مطالعه آسیب مبدل حرارتی در یک نیروگاه پرداختند. لوله‌ها از برنج زرد حاوی ۵ درصد نیکل ساخته شده بود. نویسنده علت اصلی تخریب را روی زدایی و خوردگی ناشی از برخورد ذرات تشخیص داد. در تحقیقی که توسط کو و همکاران [7] انجام شد، مکانیزم تخریب لوله‌های برنج آرسنیک استفاده شده در مبدل حرارتی، حفره‌های کوچک ناشی از روی زدایی و ترک خوردگی تنش تشخیص داده شد. مطالعات نشان داد که

آلیاژهای حاوی مقادیر بیشتر روی به روی زدایی حساس‌ترند [3]. درحالی‌که اضافه کردن عناصری از جمله آرسنیک و قلع می‌تواند روی زدایی را کاهش دهد [9]. در آلیاژهایی که بر روی سطح آن‌ها یک لایه محافظ ایجاد می‌شود برای بروز ترک خوردگی تنش وجود یک یون خورنده ضروری است. محیط‌های خورنده‌ی لایه‌ی محافظ آلیاژهای مس - روی، شامل بخار آمونیا و محلول آن، آمین، آب و بخار آب [10] و آب دریا [7] است. روی زدایی در شرایطی از جمله کاهش منبع اکسیژن (مانند شرایط رکود یا زیر رسوب‌ها)، دمای بالا یا غلظت بالای یون کلراید و همچنین تماس با فلز کاتدتر، با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتد [11].

در این پژوهش، علل خوردگی لوله‌های مبدل حرارتی واحد آب‌مقطر سازی شرکت پالایش گاز بیدبلند مورد بررسی قرار گرفته است. لوله‌های مبدل از جنس آلیاژ مس - روی (۳۵-۶۵) بوده که به مدت حدود ۵ سال در سرویس قرار داشته است.

۲- مواد و روش تحقیق

نمونه مورد بررسی، لوله یک مبدل حرارتی از نوع پوسته و تیوب بود که آب اصطلاحاً نرم (آب تعویض یونی شده) به وسیله پمپ وارد لوله‌های آن شده و بخار آب نرم نیز درون پوسته جریان می‌یافت. آبی که در واحد تصفیه آب تولید می‌شود به دلیل داشتن مقادیر بسیار زیاد مواد جامد در محلول^{۱۰} برای مصرف دیگ‌های بخار مناسب نیست در نتیجه برای پایین آوردن میزان مواد جامد در محلول، این آب پس از عملیات تعویض یونی، وارد واحد آب‌مقطر سازی می‌شود. این مبدل که در حدود پنج سال در واحد آب‌مقطر سازی در سرویس بوده دارای لوله‌هایی از جنس برنج زرد و پوسته‌ای از جنس فولاد کربنی ساده بود. مبدل دارای یک تیوب باندد با تعداد ۳۰۰ لوله افقی با قطر ۱۹/۰۵ میلی‌متر بود که توسط سه عدد بافل در کنار هم قرار گرفته بود.

1- Dezincification

2- Impingement Attack

3- Admiralty Brass

4- Naval Brass

5- Erosion Corrosion

6- Under-Deposit Corrosion

7- Galvanic Corrosion

8- Stress Corrosion Cracking (SCC)

9- Yellow Brass

10- Total Dissolved Solid (T.D.S)

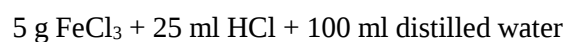
MEIJIIM7200 و میکروسکوپ الکترونی مدل VEGA-TSCAN مورد بررسی قرار گرفت. سطح داخلی و بیرونی و همچنین رسوبات های ایجاد شده در نمونه ها توسط میکروسکوپ الکترونی^۲ مجهز به آشکارساز طیفسنجی تفکیک انرژی^۳ مورد بررسی قرار گرفت و تصاویر در بزرگنمایی های مختلف تهیه شد.

به منظور مطالعه دقیق تر رسوب و تعیین نوع رسوبات و تشخیص واکنش های خوردگی و مکانیزم خوردگی، نمونه ای از رسوبات لوله ها جمع آوری گردید و عناصر شیمیایی تشکیل دهنده این رسوبات با استفاده از دستگاه طیفسنجی فلورسانس اشعه ایکس^۴ مدل ARL PERFORM'X تعیین گردید.

همچنین سختی سنجی از لوله آسیب دیده با استفاده از دستگاه Buehler 1600 با ۳۰۰ گرم نیرو انجام شد.

آب نرم^۱ که توسط پمپ وارد لوله ها شده بود پس از تبادل حرارتی با بخار آب نرم تولید شده در واحد آب مقطر سازی از مبدل خارج می شود و گرمای بخار را می گیرد و سپس وارد مرحله بعدی می شود. بخار آب نرم نیز تبدیل به آب مقطر می شود و از خروجی زیر مبدل به سمت مخزن آب مقطر می رود. برخی از شرایط عملیاتی این مبدل حرارتی در جدول آورده شده است. لازم به ذکر است جز عملیات تعویض یونی هیچ گونه عملیات دیگری بر روی آب ورودی به واحد آب مقطر سازی انجام نمی شود.

به منظور بررسی ریز ساختار لوله و شرایط خوردگی در نواحی آسیب دیده، سطح خارجی و داخلی و سطح مقطع و لوله تحت بررسی های متالوگرافی قرار گرفت. بدین منظور نمونه های برش داده شده از لوله بعد از پرداخت مکانیکی تحت حکاکی شیمیایی با محلول



قرار گرفتند. این نمونه ها سپس توسط میکروسکوپ نوری مدل

جدول ۱ - برخی از شرایط طراحی و عملیاتی لوله مبدل حرارتی

جنس تیوب	برنج زرد
ضخامت تیوب	1.6 mm
فشار	3.8 kg/cm ²
قطر خارجی تیوب	19.05 mm
دمای آب ورودی به لوله مبدل	22 °C
دمای آب خروجی از لوله مبدل	60 °C
دمای بخار ورودی به مبدل	80-90 °C
مدت زمان کارکرد	۵ سال
ظرفیت جریان ورودی به مبدل	13 t/h
سختی آب ورودی	۰
pH	۸
مواد جامد در محلول	2520 mg/L
شدت هدایت الکتریکی	3600 μs/cm
Cl- as CaCo ₃	720 mg/L
Cl ₂ as Cl ₂	۰

1- Soft Water

2- Scanning Electron Microscope (SEM)

3- Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

4- X-Ray Fluorescence (XRF)

۳- نتایج و بحث

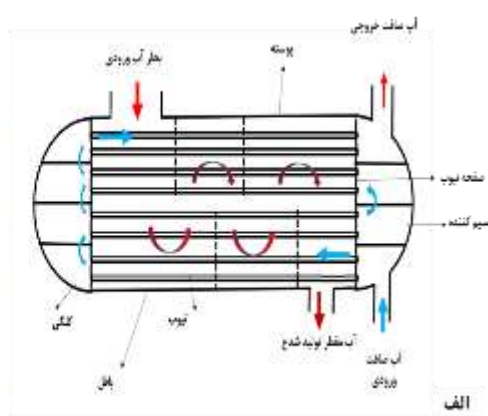
۳-۱- بررسی ظاهری

تصویر شماتیک و اصلی مبدل در شکل ۱ آورده شده است. تصویر سطح بیرونی و درونی لوله های آسیب دیده در شکل ۲ و شکل ۳ آورده شده است. همان طور که در شکل - الف مشخص است، لوله ها به صورت طولی دچار شکست شده بودند. تصویر سطح داخلی لوله آسیب دیده پس از اسیدشویی در شکل ۳-ب آورده شده است. همان طور که مشخص است تغییر رنگ در سطح داخلی و خارجی لوله ها به وجود آمده بود. فیلم لایه اکسیدی به رنگ متمایل به قرمز در سطح داخلی و بیرونی لوله وجود داشت. ضخامت لوله نیز بعد از

تمیز کردن لایه اکسیدی اندازه گیری شد که در آن کاهشی مشاهده نشد. همچنین در طول لوله نیز آثار خوردگی حفره ای مشاهده نشد. از این رو می توان گفت که تخریب لوله ها ناشی از خوردگی موضعی یا سایش نبوده است و با توجه به تغییر رنگ لوله می توان گفت که مکانیزم تخریب لوله مورد نظر، روی زدایی است.

۳-۲- تعیین ترکیب شیمیایی آلیاژ لوله ها

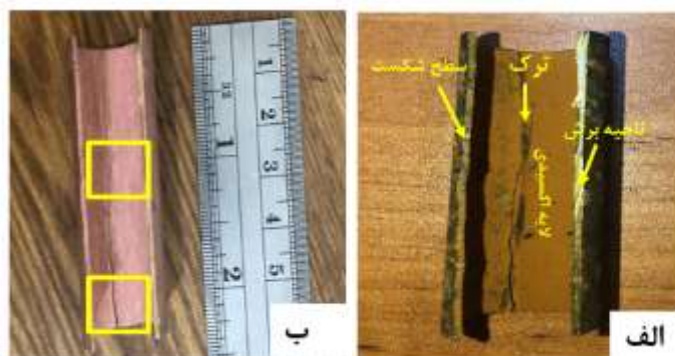
ترکیب شیمیایی نمونه ای از لوله ها از طریق روش اسپکترومتری نشری (کوانتومتری) و براساس استاندارد ASTM E415-08 تعیین گردید. همان طور که در جدول مشخص است لوله ها از جنس برنج زرد (65Cu-35Zn) بود.



شکل ۱- تصویر (الف) شماتیک و (ب) تصویر مبدل حرارتی مورد بررسی



شکل ۲- سطح بیرونی لوله های آسیب دیده که وجود ترک های طولی را نشان می دهد.



شکل ۳ - تصویر سطح داخلی لوله های آسیب دیده (الف) قبل و (ب) بعد از اسید شویی.

جدول ۲ - ترکیب شیمیایی لوله

عنصر	Cu	Pb	Sn	P	Ni	Fe	Ag	Zn
درصد وزنی، %	64.93	0.03	0.016	0.01	0.01	0.03	.007	34.96

۳-۳ - آنالیز رسوب ها

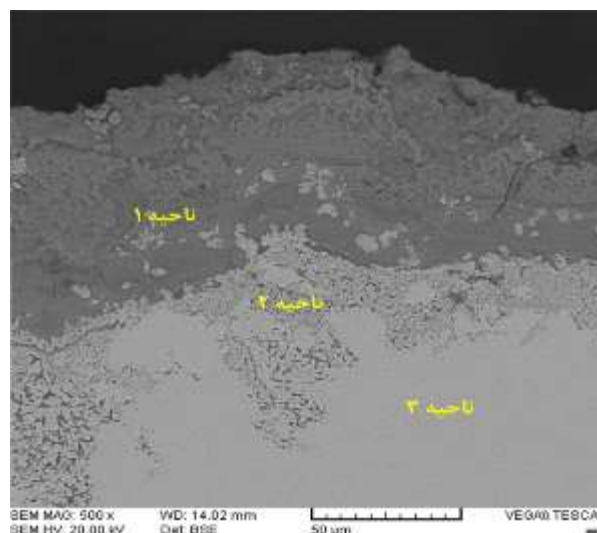
همان طور که شکل و شکل ۳ مشخص است، سطح داخلی و خارجی لوله پوشیده از رسوبی نسبتاً نازک بود که نتایج طیف سنجی تفکیک انرژی، طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس نشان داد که رسوب های به رنگ قهوه ای - قرمز روی لوله از جنس زنگ آهن یا هماتیت بود. در حضور اکسیژن، آب با آهن واکنش می دهد و اکسید آهن سیاه Fe_3O_4 را ایجاد می کند. این لایه در صورتی که در سطح قرار بگیرد به عنوان یک لایه محافظ برای فلز عمل می کند. لایه مگنتیت از خوردگی بعدی جلوگیری می کند. اگرچه در صورتی که در مراحل بعد اکسیژن به طور معمول تأمین شود، این لایه شکسته می شود و لایه غیر محافظ Fe_2O_3 یا هماتیت ایجاد می شود. بسته به سرعت جریان و pH، آهن حل شده می تواند با جریان حرکت کند و به صورت Fe_2O_3 رسوب کند [12].

شکل تصویر میکروسکوپ الکترونی رسوب های ایجاد شده بر روی سطح داخلی لوله، در نواحی اطراف ترک ایجاد شده، قبل از اسیدشویی را نشان می دهد. جدول نتایج طیف سنجی تفکیک انرژی مربوط به نواحی مشخص شده در شکل را نشان می دهد. همان طور که مشخص است در

نواحی اطراف ترک (ناحیه ۱ در شکل) لایه ای از رسوب از نوع اکسید آهن و روی تشکیل شده بود و حاوی مقدار کمی هم مس بود. وجود روی در رسوب نیز نشان دهنده روی زدایی است که در آن روی از آلیاژ مس - روی خارج شده است. در ناحیه ۲ در شکل به خوبی اثر روی زدایی مشاهده می شود. منشا اکسید آهن ایجاد شده می تواند از اکسیدهای ایجاد شده در سیستم لوله کشی قبل از ورود به مبدل باشد که قبل از ورود به مبدل تشکیل شده و همراه آب ورودی وارد آن می شود. نتایج آنالیز طیف سنجی تفکیک انرژی این رسوبات که در جدول ۴ آورده شده، نشان داد که نمونه رسوب دارای ۵۲/۵ درصد آهن و حدود ۲۷/۵ درصد روی و ۷/۳ درصد مس است. نتایج آنالیز طیف سنجی پراش اشعه ایکس نیز نشان داد که نمونه رسوب دارای ترکیبات مس و روی، مگنتیت و هماتیت (Fe_2O_3) است. این نتایج با نتایج طیف سنجی تفکیک انرژی مطابقت داشت. وجود اکسید روی و مس می تواند ناشی از واکنش روی و مس خارج شده از لوله با اکسیژن و آهن موجود در آب ورودی به مبدل باشد.

جدول ۳ - آنالیز شیمیایی به دست آمده توسط طیف سنجی تفکیک انرژی در نواحی مشخص شده در شکل ۴

Fe Wt. %	O Wt. %	Zn Wt. %	Cu Wt. %	
16	28	38	6	ناحیه ۱
-	5	7	74	ناحیه ۲
-	-	35	65	ناحیه ۳



شکل ۴ - تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح داخلی لوله قبل از اسید شویی که نشان دهنده ی وجود رسوب در لوله ها و روی زدایی در اطراف ترک است.

جدول ۴ - ترکیبات موجود در رسوب موجود در لوله تخریب شده بر اساس نتایج طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس.

اکسید	درصد وزنی	اکسید	درصد وزنی	اکسید	درصد وزنی	اکسید	درصد وزنی
MgO	.07	SiO ₂	0.15	So ₃	0.43	K ₂ o	0.04
Cu ₂ O	7.3	ZnO	27.5	Fe ₂ O ₃	52.5	L.O.I	12.01

۳-۴ - بررسی میکروسکوپ نوری

در شکل تصاویر میکروسکوپ نوری لوله آسیب دیده آورده شده است. میکرو ساختار اصلی لوله ها پس از حکاکی شامل دانه های هم محور آلفا بود و نقص های میکروساختاری نیز مشاهده نشد. تصویر متالوگرافی سطح مقطع لوله آسیب دیده در شکل آورده شده است. مناطقی که در آن خوردگی

روی زدایی اتفاق نیفتاده به صورت زرد روشن مشاهده می شود در حالی که مناطق به رنگ متمایل به قرمز، مناطقی هستند که در آن ها روی زدایی اتفاق افتاده است. روی زدایی یا جدایش آلیاژی یک نوع از خوردگی است که در آلیاژهای برنج (مس - روی) متداول است که در آن روی از آلیاژ خارج می شود و یک ساختار متخلخل غنی از مس که

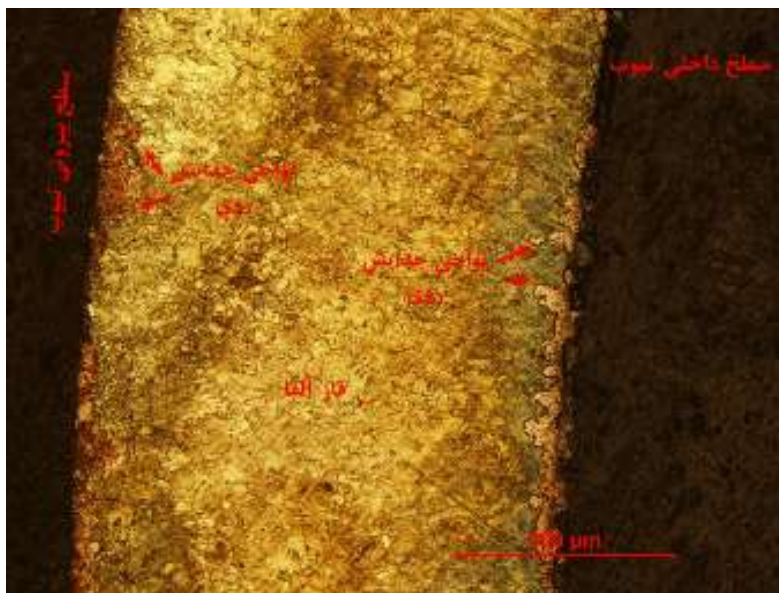
پراکندگی عناصر در مناطقی که در تصویر میکروسکوپ نوری (شکل ۴) دچار تغییر رنگ شده بود به خوبی قابل تشخیص است.

تصویر میکروسکوپ الکترونی سطح داخلی لوله پس از تمیزکاری را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود نواحی که در آن روی زدایی اتفاق افتاده است، عنصر روی که نقش استحکام بخشی را دارد از زمینه خارج شده و لوله استحکام مکانیکی خود را ازدست داده و به شدت مستعد ترک می شود (شکل ۷). در جدول نتایج آنالیز طیف سنجی تفکیک انرژی نواحی ۱ و ۲ که در شکل ۷ مشخص شده، آورده شده است. همان طور که مشخص است در نواحی اطراف ترک شاهد جدایش روی هستیم. پژوهش های مختلف، روی زدایی و ترک خوردگی بعدی لوله های از جنس برنج گزارش شده است [13].

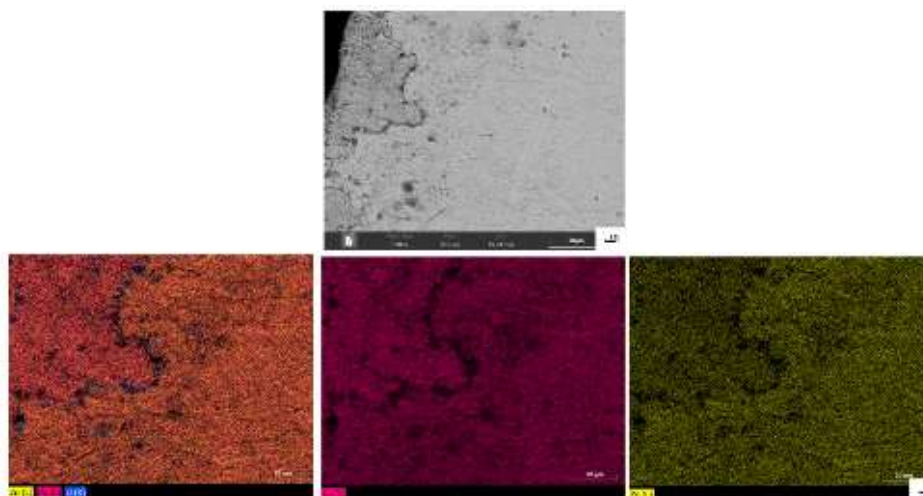
دارای استحکام کمی است باقی می گذارد. این نوع خوردگی عمدتاً به صورت روی زدایی موضعی^۱ یا لایه ای یکنواخت^۲ [3]. در نوع موضعی، روی زدایی در عمق ضخامت لوله نفوذ می کند و نواحی اطراف آن دست نخورده باقی می ماند در حالی که در روی زدایی لایه ای، روی از نواحی گسترده ای از سطح خارج می شود. در هر دو نوع، ناحیه ای که دچار روی زدایی شده به دلیل تغییر رنگ ناشی از غنی شدن از مس، به وضوح نسبت به نواحی دیگر قابل تشخیص است. شکل تصویر میکروسکوپ نوری لوله ای که دچار روی زدایی شده بود را نشان می دهد. همان طور که مشخص است سطح داخلی و بیرونی لوله دچار روی زدایی از نوع لایه ای شده است.

۳-۵- بررسی میکروسکوپ الکترونی

شکل - الف تصویر میکروسکوپ الکترونی نواحی که در آن جدایش روی اتفاق افتاده را نشان می دهد. در شکل - ب پروفیل پراکندگی عناصر در نواحی که جدایش روی در آن اتفاق افتاده آورده شده است. در این تصویر جدایش و تغییر



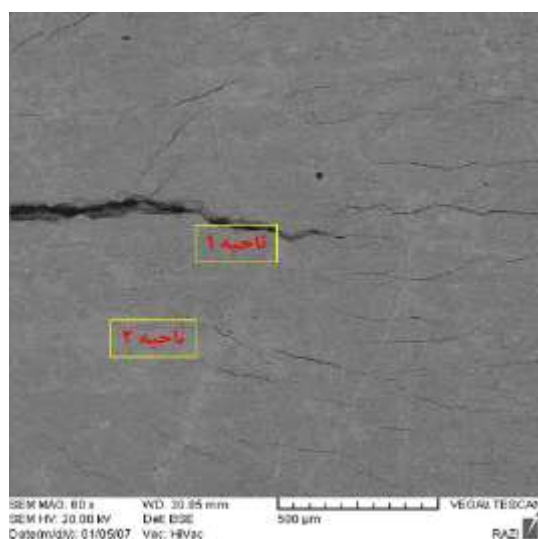
شکل ۵ - تصویر میکروسکوپ نوری سطح مقطع تیوب. نواحی روی زدایی شده و همچنین فاز زمینه (آلفا) مشاهده می شود.



شکل ۶ - (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی نواحی که در آن جدایش روی اتفاق افتاده است و (ب) پروفیل پراکندگی عناصر در آن نواحی

جدول ۵ - آنالیز شیمیایی به دست آمده توسط طیف سنجی تفکیک انرژی در نواحی مشخص شده در شکل ۷

Zn Wt. %	Cu Wt. %	
۵	۹۵	ناحیه ۱
۳۳	۶۷	ناحیه ۲



شکل ۷ - تصویر میکروسکوپ الکترونی داخل لوله پس از اسید شویی.

۳-۶- بررسی سختی

نتایج سختی اندازه گیری شده از نواحی اطراف ترک تا نواحی دورتر از ترک در جدول ۶ آورده شده است. همانطور که مشخص است در نواحی اطراف ترک که روی زدایی اتفاق افتاده است سختی از 150HV در نواحی غیرمتأثر از روی زدایی تا حدود 95Hv کاهش یافت. این کاهش سختی ناشی از خارج شدن عنصر روی است که نقش استحکام بخشی در آلیاژهای مس - روی را دارد و پس از خارج شدن از زمینه یک ساختار متخلخل از مس با استحکام کم باقی می گذارد.

۳-۷- ترک خوردگی همراه با روی زدایی

در شکل های ۲، ۳ و ۷ تصاویر ترک های ایجاد شده در لوله های آسیب دیده مشاهده می شود. همانطور که در شکل ۷ نیز مشاهده شد ترک در نواحی روی زدایی شده جوانه زنی و رشد کرده است در اینجا همانطور که مشاهده شد بروز روی زدایی در لوله سبب برجای ماندن یک ساختار مسی متخلخل با استحکام پایین شد. تنها عملیات تعویض یونی بر روی آب ورودی به مبدل انجام می شود که در آن سختی آب از طریق عبور دادن آب از رزین های زئولیت سدیم با حذف کلسیم و منیزیم از آن، به شدت کاهش می یابد (حدود صفر). وقتی که آب تعویض یونی می شود نسبت کلراید به بی کربنات تغییر نمی کند و تنها نسبت سدیم به کلسیم تغییر می کند [14]. در نتیجه آب ورودی حاوی عوامل تشدید کننده ترک خوردگی تنشی شامل مقادیر زیادی اکسیژن، یون کلر (ناشی از استفاده از نمک برای احیای

رزین های مورد استفاده در عملیات تعویض یونی)، آهن (ناشی از اکسید آهن سیستم لوله کشی) و دی اکسید کربن است. هدایت الکتریکی بالای آب ورودی نشان دهنده وجود یون های مختلف در آب ورودی است. وجود مقدار زیاد اکسیژن و شرایط آب با سرعت کم یا راکد و وجود یون کلراید حتی در شرایط استفاده از آلیاژهای مقاوم به خوردگی نیز می تواند منجر به روی زدایی شود [4]. شرایط خورنده آب ورودی (حدود 25-35mpy) سبب از بین رفتن لایه اکسیدی محافظ روی لوله های برنجی و خوردگی و روی زدایی بعدی را به همراه دارد که در ادامه به دلیل کاهش استحکام لوله، وجود تنش های برجای مانده ناشی از فرآیند ساخت لوله و همچنین تنش های ناشی از خاموش و روشن شدن های زمان توقف و شروع به کار تجهیز، در این نواحی ترک ها جوانه زنی و رشد می کنند.

یکی دیگر از عوامل مهم در تخریب بیشتر لوله ها، عدم نگهداری مناسب مبدل در زمان توقف سرویس است. در حین توقف امکان حذف اکسیژن از سیال لوله ها وجود ندارد و همچنین به دلیل تبخیر سیال موجود در مبدل، غلظت مواد خورنده افزایش می یابد. در حضور آمونیا، رطوبت و اکسیژن و همچنین یون کلر مکانیزم های خوردگی تشدید می شود. در نتیجه با توجه به عدم تخلیه مبدل و تمیزکاری آن حین توقف عملیاتی شرایط برای بروز مکانیزم های خوردگی از جمله روی زدایی، خوردگی حفره ای، ترک خوردگی تنشی در مبدل مهیا است.

نتیجه گیری

علل خوردگی و آسیب لوله های مبدل حرارتی از جنس برنج زرد (۶۵-۳۵) مربوط بخش آب مقطر سازی پالایشگاه بیدبلند با روش های مختلف بررسی شد و نتایج ذیل حاصل گردید:

- با بررسی های متالوگرافی و آنالیز رسوب ها مشخص شد که لوله ها دچار روی زدایی شده بودند. وجود روی در رسوب و همچنین مشاهده نواحی بارنگ مایل به قرمز در سطح داخلی و بیرونی لوله نشان دهنده ی بروز روی زدایی بود.
- در لوله های آسیب دیده ترک هایی مشاهده شد که بررسی ها نشان داد که این ترک ها از نواحی که دچار روی زدایی شده بودند شروع و رشد کرده و با حضور عواملی از جمله محیط خورنده و تنش موجود در لوله، باعث ترک خوردگی لوله شده اند.
- آب ورودی حاوی عوامل تشدید کننده خوردگی شامل اکسیژن، یون کلر، یون آهن و دی اکسید کربن بود.
- نگهداری نامناسب مبدل و عدم تخلیه و خشک کردن مبدل در زمان های توقف طولانی مدت سرویس باعث بروز مکانیزم های مختلف خوردگی از جمله روی زدایی و ترک خوردگی تنشی در لوله های مبدل حرارتی شد.
- با کنترل عوامل خورنده در آب ورودی و انتخاب متریال مناسب از جمله لوله از جنس برنج نظامی یا آلیاژهای نیکل - مس و همچنین با تمیز و شو و خشک کردن لوله ها می توان از بروز این آسیب در مبدل جلوگیری کرد.

مراجع

- [1] R. C. Byrne, TEMA Standards of the Tubular Exchanger, Tubular Exchanger Manufacturers Association, 10th Ed, 2019.
- [2] E. A. D. Saunders, Heat Exchangers: Selection, Design & Construction, Longman Scientific and Technical, 1st ed, 1988.
- [3] B. R. Sanders, ASM Handbook Volume 13C Corrosion :Environments and Industries, ASM International, 2006.
- [4] K. Ranjbar, Effect of flow induced corrosion and erosion on failure of a tubular heat exchanger, Mater. Des., Vol. 31, No. 1, 2010, Pp. 613-619.
- [5] Z. Xia, Pitting of admiralty brass, Corros. 46(1), 1990, Pp. 85-88.
- [6] M. Sarver, Effects of flow, brass location, tube materials and temperature on corrosion of brass plumbing devices. Corros. Sci. 53(5), 2011. Pp. 1813-1824.
- [7] S. Qu, Failure analysis of the brass tubes in a lubricating oil cooler, Eng. Fail. Anal., Vol. 18, No. 8, 2011. Pp. 2232-2239.
- [8] D. Weishaupt, Case study: corrosion failure of yellow brass tubing in radiator application, J. Fail. Anal. Preven., 2012, Pp. 242-247.
- [9] R. Karpagavalli, Development of novel brasses to resist dezincification, Corros. Sci. 49(3), 2007, Pp. 963-979.
- [10] A. Khalifeh, Stress Corrosion Cracking Damages", in Failure Analysis. London, United Kingdom: IntechOpen, 2019
- [11] B. L. Kenworthy, "Dezincification of Brasses., Corrosion Tech., 1955, Pp. 247-249.
- [12] H. Herro, Nalco Guide to Cooling Water System Failure Analysis, Nalco. Chemical Company, 1983, Pp. 67-69.
- [13] K. Ravindranath, Failure investigation of brass heat exchanger tube, Eng. Fail. Anal., Vol. 26, 2012, Pp. 332-336.
- [14] R. Francis, The Corrosion of Copper and its Alloys: a Practical Guide for Engineers. Corrosion Engineering, Science and Technology, Vol. 46, 2011, Pp. 229 - 229.

