

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



ارزیابی آسیب در کویل و بدنه فولادی گرمکن های آبی

صدف شعبانیان^۱، فخرالدین اشرفی زاده^۲، نوید سعیدی^۳، علی اشرفی^۴، فرزاد عباسیان^۵، محسن مسلمی^۵

چکیده

گرمکن های آبی به منظور گرم کردن گاز، قبل از فرایند کاهش فشار، طراحی شده اند. طراحی اولیه و شرایط کاری این گرمکن ها احتمال خوردگی را در آنها بسیار کاهش می دهد، با این حال در یکی از ایستگاه های منطقه، آثار خوردگی شدید به صورت تاول و نازک شدن دیواره در نواحی مختلف گرمکن از جمله جداره داخلی بدنه و مخصوصا سطوح افقی بالایی، کویل ها و لوله های مشعل مشاهده شد. به منظور بررسی و شناسایی علت خوردگی، بررسی هایی شامل آزمون های خواص مکانیکی، پراش پرتو ایکس، مطالعات میکروسکوپ نوری و الکترونی، میکروآنالیز EDS و آنالیز ترکیب آب انجام گرفت. نتایج بررسی ها نشان داد که در نتیجه عدم تنظیم دقیق سطح آب در مخزن گرمکن و خالی ماندن بخش بالایی آن، با توجه به دمای کاری مخزن و کیفیت نامناسب آب ورودی، شرایط تشکیل شبنم در قسمت های مختلف ایجاد شده و سپس با تبخیر قطرات و به جا ماندن رسوبات، شرایط برای خوردگی زیر رسوبی فراهم شده و بدین واسطه در سقف مخزن، خوردگی و تخریب تاول ماندنی ایجاد شده است. محصولات خوردگی به صورت ذرات و پوسته ها پس از کنده شدن، روی سطوح بالایی کویل های موجود در مخزن و لوله های مشعل سقوط کرده و روی این سطوح باقی می ماند و در نهایت زیر این رسوبات، شرایط خوردگی قطعات فولاد کربنی فراهم شده است.

کلمات کلیدی: گرمکن آبی، فولاد ساده کربنی، خوردگی.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد، گرایش شناسایی و انتخاب مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، s.shabaniyan@ma.iut.ac.ir

^۲ استاد دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

^۳ دانش آموخته دکترای مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

^۴ استادیار دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

^۵ کارشناس شرکت گاز استان اصفهان.

• مقدمه

برای گرم کردن گازهای صنعتی از سیستم گرمکن آبی غیرمستقیم^۳ استفاده می شود. این گرمکن ها که به صورت افقی نصب می شوند، برای گرم کردن گاز، قبل از کاهش فشار طراحی شده اند و از عملکرد ناقص تجهیزات که به وسیله ذرات بخار آب در گاز ایجاد می شود، جلوگیری می کنند [۱]. مشخصات گرمکن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. ویژگی های مهم گرمکن ها [۱]

گاز طبیعی / نفت	واسطه ی کاری
۲۰- تا ۸۰	دمای محیط (°C)
۶۴، ۱۰۰، ۱۴۰، ۲۱۰، ۳۴۵، ۶۹۰	فشار (Pa × ۱۰ ^۵)
حدود ۷۵- ۸۸٪	بازده
گاز طبیعی، نفت-دیزل	سوخت
آب یا ترکیب آب / گلیکول	محتویات حمام
۹۰	حداکثر دمای حمام (°C)

سوخت (سوخت گازی یا نفتی) درون لوله ی مشعل U شکلی که در بخش پایینی حمام آب قرار دارد، سوزانده می شود. گرمای آزاد شده به وسیله سوخت در حال سوختن، میان دیواره ی لوله ی مشعل به سمت حمام آب منتقل می شود، که در دمای مورد نظر نگه داشته می شود. سیالی که قرار است حرارت داده شود (گاز طبیعی، نفت، آب و...) درون کویل جریان می یابد. دیواره ی بیرونی و دیواره ی داخلی لوله ی فولادی کویل، به ترتیب، در معرض مخلوط آب و ضد یخ و گاز طبیعی قرار دارند. کویل، در بخش بالایی حمام که داغ ترین ناحیه از حمام آبی است، قرار داده شده است که حاصل آن انتقال حرارت مؤثر و سریع است. گرما از طریق حمام آب داغ در میان دیواره ی لوله به سمت سیال درون کویل منتقل می شود. کنترل کننده ی دمای گرمکن،

³ Indirect water heater, water bath heater

دمای حمام آب را با کنترل مشعل منبع سوخت گازی، در مقدار خواسته شده نگه می دارد. دمای 90°C به عنوان حداکثر دمای عملیات تلقی می شود. [۲].

فولاد کربنی از جمله آلیاژهای پایه آهن است که در دیگ های بخار، لوله های فشار، مبدل های حرارتی، لوله کشی و دیگر سیستم های دما متوسط که نیازمند استحکام و انعطاف پذیری خوب است، استفاده می شود [۳]. در خصوص تخریب فولادها در محیط های آبی، تحقیقات متعددی انجام گرفته است. چارنگ و لنسینگ [۴]، مکانیزم خوردگی با استفاده از نظریه ی واکنش الکتروشیمیایی را شرح دادند و تأثیر عوامل مختلفی چون اسیدیته ی محلول، دما، عوامل اکسیداسیون، فیلم های اکسیدی، نمک های حل شده و ناخالصی ها را مورد مطالعه قرار دادند. اندیجانی و همکاران [۵]، تحقیقی در زمینه ی رفتار خوردگی فولاد کربنی در محلول های هوازدایی شده ی NaCl و آب دریای مصنوعی و دمایی حداکثر تا 80°C در شرایط ساکن، با استفاده از روش مقاومت پلاریزاسیون، انجام دادند.

داگستد [۶] در مقاله ای به شرح تأثیرات CO_2 بر ترکیب شیمیایی آب، واکنش های الکتروشیمیایی بر سطح فولاد عاری از هرگونه پوسته، شروع و رشد فیلم های محافظ محصولات خوردگی پرداخت. لی و همکاران [۷]، تأثیر اکسیژن حل شده بر خوردگی درونی لوله های آب را بررسی کرده و نشان دادند که نرخ خوردگی در لوله ی فولاد گالوانیزه شده، لوله ی فولاد کربنی و لوله ی چدن داکتیل با کاهش غلظت اکسیژن حل شده، کاهش می یابد.

از تحقیقاتی که مستقیماً روی گرمکن های آبی انجام شده، می توان به دو مورد اشاره کرد. ریاحی و همکاران [۸]، مطالعه ای در خصوص بهینه سازی بازده احتراق در گرمکن های آبی انجام دادند و دریافتند که می توان با کنترل طول شعله نسبت به محفظه احتراق، کنترل نسبت هوا به سوخت و نصب تنظیم کننده ی فشار هوا، بازده احتراق را افزایش داد. عزیززی و همکاران [۹] تحقیقی بر پیش گرم کردن گاز طبیعی در گرمکن های غیرمستقیم انجام دادند. آن ها عنوان کردند که اتلاف حرارت از دودکش، دلیل اصلی بازده پایین گرمکن ها بوده و برای استفاده از انرژی حرارتی دودکش، راه حلی ارائه دادند که نتیجه ی آن، کاهش انرژی حرارتی مورد نیاز و بهبود بازده بود.

⁴ Dissolved oxygen (DO)

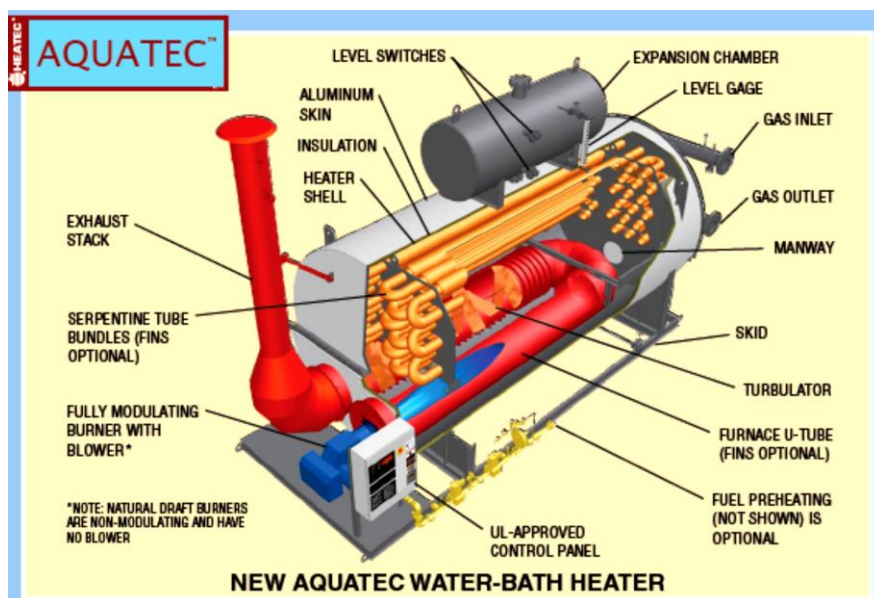
همان طور که اشاره شد، کارهای صورت گرفته در این زمینه، به صورت پراکنده بوده و به طور خاص روی تخریب فولادهای کربنی در گرمکن های آبی که شرایط مختص به خود را دارند، متمرکز نشده و راه حل های متناسب با شرایط صنعتی ارائه نشده است. در این پژوهش سعی شده ضمن شناسایی عوامل تخریب لوله های فولاد کربنی در گرمکن آبی، راه حل هایی برای رفع این مشکل و افزایش طول عمر سیستم گرمکن ارائه شود.

• مواد و روش تحقیق

شکل ۱ نماهای داخلی گرمکن را نشان می دهد. نمونه برداری از بخش های مختلف کوئل از جمله بخش های U شکل انتهای لوله، بخش های جوشکاری شده و نواحی میانی کوئل، انجام گرفت. در هنگام نمونه برداری، دقت شد که از آسیب حرارتی و یا مکانیکی ناشی از برش کاری بر ناحیه ی خوردگی مورد نظر، اجتناب شود. در مجموع، تفاوت قابل ملاحظه ای در خوردگی های ایجاد شده در ناحیه جوشکاری شده، ناحیه U شکل و نواحی میانی کوئل مشاهده نشد و آثار خوردگی تقریباً همه جا یکسان بود.

آنالیز شیمیایی نمونه های فولادی به وسیله ی طیف سنج نوری (کوانتومتر) انجام شد. برای مطالعه ی خواص مکانیکی فولاد به کار رفته، دو نمونه کشش مطابق با استاندارد ASTM E8 تهیه شد و توسط دستگاه کشش مورد آزمایش قرار گرفتند. جهت بررسی های متالوگرافی نمونه ها بعد از مانت کردن، از سنباده شماره ۸۰ تا ۲۴۰۰ استفاده شد و بعد از پولیش با پودر آلومینا، در محلول نایتال ۲٪، اچ شده و توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و سیستم آنالیز تفکیک انرژی (EDS) مورد بررسی قرار گرفت و پوسته های جمع آوری شده از روی لوله های کوئل، درون لوله ی مشعل و سقف بدنه داخلی گرمکن توسط دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) آنالیز شدند.

از آب مقطر موجود در محل، ضد یخ، مخلوط آب مقطر و ضد یخ موجود در بالا و پایین گرمکن، نمونه برداری و آنالیز شیمیایی صورت گرفت. آزمون خوردگی، در آب تهیه شده از گرمکن آبی، محلول نمک (NaCl ۳/۵٪) و آب مقطر انجام شد. به این منظور، سه نمونه ی فولادی به مساحت 1 cm^2 بریده شده و بعد از مانت شدن همراه با سیم مسی، از سنباده زنی و به مدت ۳ دقیقه در محلول الکل آلتراسونیک شد و به ترتیب تحت آزمون های خوردگی در پتانسیل مدار باز (ocp)، پلاریزاسیون خطی و تافل قرار گرفتند.

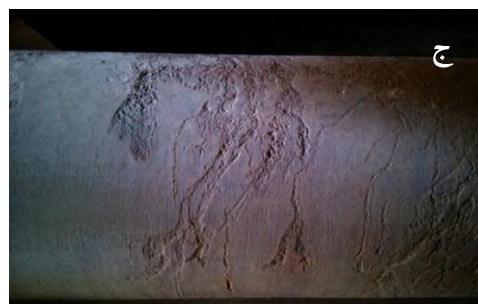
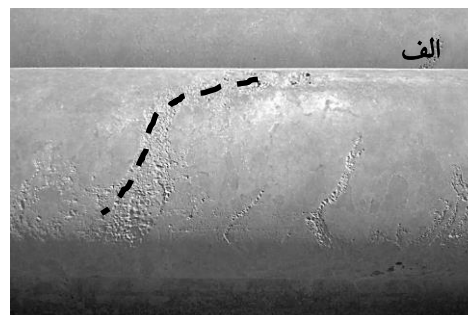


شکل ۱. اجزای داخلی گرمکن آبی [۱۰].

• نتایج و بحث

۱. مشاهدات اولیه آسیب

در لوله‌های کویل، خوردگی‌ها عمدتاً در ناحیه‌ی ساعت ۱۲ در امتداد طول لوله بود که به سمت نواحی ساعت ۳ و ۹ گسترش پیدا کرده بودند. آثار خوردگی عموماً مسیرهای موربی را (معرف مسیر جریان سیال) از بالای لوله به سمت بخش‌های جانبی را دنبال می‌کنند (شکل ۲.الف). خوردگی اغلب به شکل حفراتی بود که عمق آن‌ها در تمام لوله‌های کویل به طور میانگین یکسان بود. درون لوله‌های کویل، آثار خوردگی مشاهده نشد. موقعیت لوله‌های مشعل در بدنه، در شکل ۲.ب قابل مشاهده است. خوردگی در لوله‌های مشعل، شدیدتر و عمق حفرات، عمیق‌تر از لوله‌های کویل بود. خوردگی‌های این لوله‌ها نیز همانند کویل در امتداد طول لوله و در ناحیه‌ی ساعت ۱۲ بود و به طرف ناحیه‌ی ساعت ۳ و ۹ پیشروی کرده بود (شکل ۲.ج). با توجه به این شباهت‌ها می‌توان گفت که فرایند خوردگی در لوله‌های کویل و مشعل از مکانیزم یکسانی تبعیت کرده است. برخلاف لوله‌های کویل، درون لوله‌های مشعل مملو از محصولات خوردگی به صورت پوسته‌های پیوسته نازک و ورقه‌ای بود. در هر دو مورد لوله‌های کویل و مشعل، در نقاط جوشکاری شده و اطراف آن تفاوت چندانی در میزان خوردگی مشاهده نشد. در مورد بدنه، به صورت کیفی می‌توان گفت خوردگی در سقف و کف شدیدتر بوده و به طرف کناره‌ها کاهش یافته است. خوردگی در بسیاری از نقاط بدنه به صورت تاول‌هایی بروز پیدا کرده بود (شکل ۲.د).



شکل ۲. الف) مسیرهای جریان سیال روی لوله‌ی کویل. ب) نمایی از داخل گرمکن و موقعیت لوله‌های مشعل در داخل بدنه گرمکن، ج) آثار خوردگی در لوله‌ی مشعل، د) آثار تاول مانند خوردگی در سقف گرمکن.

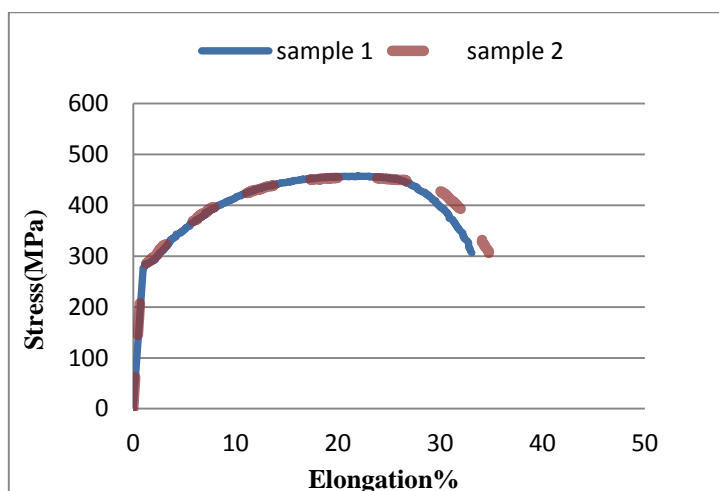
۲. ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی فولاد

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی لوله‌ی فولادی در جدول ۲ نشان داده شده و با استاندارد ASTM A216 مقایسه شده است. می‌توان گفت آخال‌های سولفیدی و فسفیدی بسیار ناچیز هستند و مقدار ناخالصی جزئی بوده و فولاد به کار رفته کیفیت مورد نیاز را دارا است.

شکل ۳، نمودار تنش- کرنش دو نمونه‌ی فولادی را نشان می‌دهد که با رفتار کششی فلز مطابقت دارد. جدول ۳ مقایسه‌ای بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر استاندارد ASTM A216 آمریکا را ارائه می‌دهد. مقایسه‌ی خواص مکانیکی نشان می‌دهد تمامی عملکردها مطابق استاندارد بوده و عملکرد فلز لوله‌ی کویل مناسب است.

جدول ۲. آنالیز شیمیایی نمونه‌ی فولادی تهیه شده از لوله‌ی کوئل و ترکیب فولاد کربنی بر اساس استاندارد ASTM A216

عنصر	درصد وزنی	انحراف معیار	ASTM A216 /A216M
Fe	۹۸/۴۷	۰/۰۴۱۸	
C	۰/۱۴۴	۰/۰۰۶۶	≤۰/۳۰
Si	۰/۲۰۰	۰/۰۰۹۳	≤۰/۶۰
P	۰/۰۰۸۰		≤۰/۰۴۰
S	۰/۰۰۵۰		≤۰/۰۴۵
Mn	۰/۹۶۳	۰/۰۰۸۰	≤۱/۰۰
Ni	۰/۰۳۰		≤۰/۵۰
Cr	۰/۰۲۸۱	۰/۰۱۷۵	≤۰/۵۰
Mo	۰/۰۳۱۴	۰/۰۰۶۴	≤۰/۲۰
Cu	۰/۰۶۰۷	۰/۰۰۸۶	≤۰/۳۰
Al	۰/۰۵۳۶	۰/۰۰۳۰	
V	۰/۰۰۳۰		≤۰/۰۳
Ti	۰/۰۰۷۰		



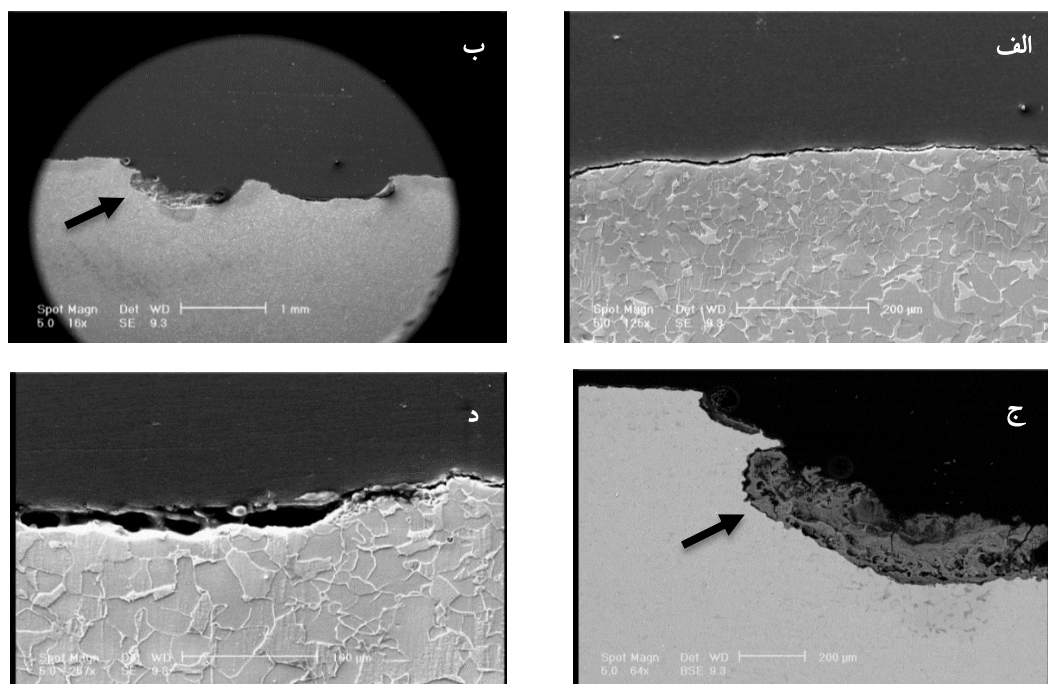
شکل ۳. نمودار تنش- کرنش نمونه‌های فولادی تهیه شده از لوله‌های کوئل

جدول ۳. خواص مکانیکی نمونه‌های فولادی تهیه شده از لوله‌های کویل

استحکام تسلیم (MPa)	استحکام کششی (MPa)	درصد افزایش طول (%)	
۲۹۲	۴۵۶	۳۳	نمونه ۱
۲۹۳	۴۵۳	۳۵	نمونه ۲
۲۹۲	۴۵۴	۳۴	میانگین
≥ 250	۴۴۵-۶۵۵	≥ 22	استاندارد ASTM A216

۳. آنالیز فازی و میکروسکوپی آسیب

یک نمونه‌ی فولادی از لوله‌های کویل را که دارای آثار خوردگی بر سطح بیرونی‌اش بود، از سطح مقطع مورد بررسی متالوگرافی و میکروسکوپی قرار گرفت. شکل ۴، تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی تهیه شده را نشان می‌دهد. شکل ۴ الف، ساختار متداولی از دانه‌های فریت-پرلیتی است، که نشان‌دهنده‌ی مرز دانه‌های بی-عیب و با اندازه دانه‌ی تقریباً یکنواخت بوده که آخال، حفره یا ناخالصی، قابل رویتی ندارد.



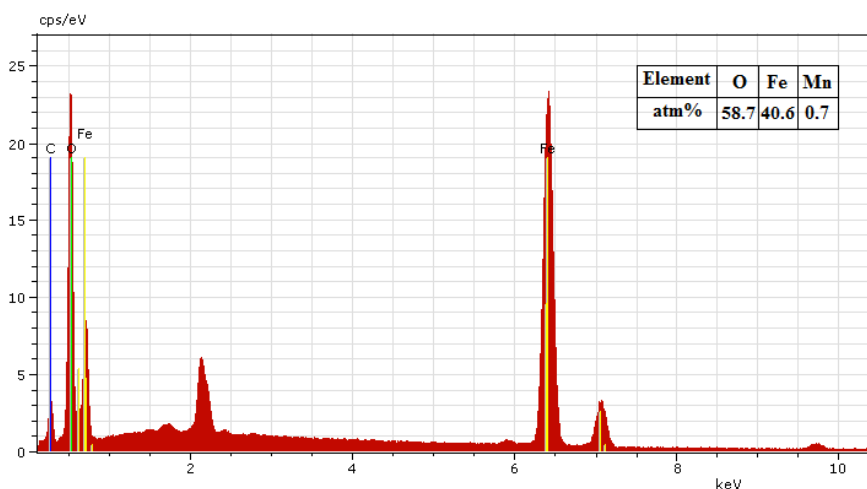
شکل ۴. تصاویر SEM به دست آمده از نمونه‌ی فولادی لوله‌ی کویل

در تصویر ۴.ب، حفرات و محصولات خوردگی قابل تشخیص است. اما در تصاویر ب و ج هر دو، اثری از ناخالصی‌ها و مکان‌های مرجح برای نفوذ، وجود ندارد. تصویر ۴.د، نشان می‌دهد برای پیشروی خوردگی از میان فریت‌ها و پرلیت‌ها، ترجیحی وجود ندارد و خوردگی می‌تواند به طور یکنواخت در تمام سطح فلز اتفاق بیفتد. با توجه به اینکه فقط در بعضی نقاط روی لوله‌ها خوردگی مشاهده شده، می‌توان نتیجه گرفت که ممکن است محیط شرایط خوردگی را رقم بزند. در تصاویر ۴.ب و ۴.ج، ناحیه‌ای که با پیکان به آن اشاره شده است دارای محصولات خوردگی بود که به وسیله آنالیز EDS مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۵ نتایج حاصل از یک نقطه را نشان می‌دهد. در تمام نقاط آهن و اکسیژن و در برخی، مقادیر زیادی کربن دیده شد.

نمونه‌های تهیه شده از سطح خارجی لوله‌های کوئل، سقف داخلی بدنه‌ی گرمکن و درون لوله‌های مشعل مورد آنالیز XRD قرار گرفت. در شکل ۶، آنالیز رسوبات روی لوله‌ی کوئل، به طور عمده حضور اکسید آهن سه ظرفیتی (Fe_2O_3) را نشان می‌دهد. حضور Fe_2O_3 در رسوبات دال بر دخالت محصولات خوردگی در رسوب-گذاری داخل گرمکن است. چون خوردگی نه تنها در محل حمله، موجب از کار افتادگی می‌گردد، بلکه تولید آلودگی‌ها و اکسید فلزی می‌نماید که در محل‌های دیگر منجر به تشکیل رسوب خواهد شد.

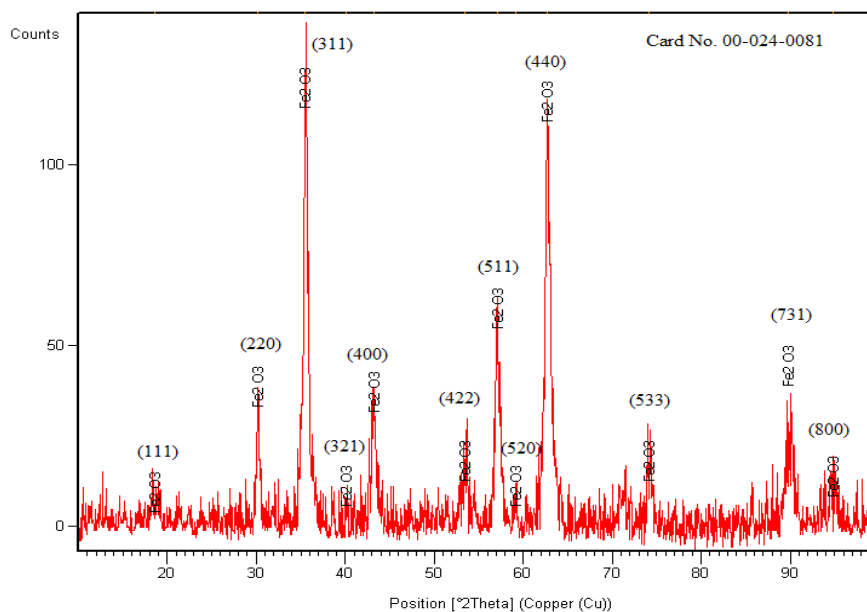
۴. نمونه برداری و آزمایش آب

جدول ۴ نتایج آنالیز شیمیایی آب را ارائه می‌دهد. نمونه‌های ۱، ۲، ۳، و ۴ به ترتیب، آب مقطر مورد استفاده، مخلوط آب مقطر و ضدیخ از بالای گرمکن، مخلوط آب مقطر و ضدیخ از پایین گرمکن و ضدیخ هستند. EC، معیاری از اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی آب، TDS، شامل تمامی جامدات حل شده در آب و TSS، جامدات معلق در آب است و SAR، نرخ جذب سدیم [۱۱] را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز شیمیایی در



شکل ۵. آنالیز EDS به دست آمده از نمونه‌ی فولادی لوله‌ی کوئل

جدول ۱ و مقایسه‌ی آن با حد مجاز نشان می‌دهد مقادیر یون‌های Na، K، Cl و HCO_3 بیشتر از حد مجاز است. به دلیل بالا بودن یون HCO_3 و TDS، این آب رسوب‌گذار است.



شکل ۶. آنالیز XRD آثار خوردگی روی لوله‌های کویل

جدول ۴. آنالیز شیمیایی نمونه‌ی آب

SAR	TSS mg/l	TDS mg/l	SO ₄ mg/l	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l	CO ₃ mg/l	K mg/l	Na mg/l	Mg mg/l	Cs mg/l	pH	Ec dS/m	مشخصات نمونه
۷۸	۰/۰۸	۲۳۰۰	۶۷/۲	۸۵/۲	۱۸۹۱	۰	۵۸/۵	۸۰۵	۱/۲	۳۹/۹	۷/۳	۲/۳	نمونه ۱
۸۲	۰/۱۲	۲۱۷۶	۵۷/۶	۷۱	۱۸۰۰	۰	۵۰/۷	۷۳۶	۱/۲	۲۶/۶	۷/۲	۱/۹	نمونه ۲
۸۵	۰/۱۷	۲۲۴۰	۶۷/۲	۸۱/۶۵	۱۸۹۱	۰	۵۸/۵	۷۵۹	۱/۲	۲۶/۶	۷/۴	۲/۰	نمونه ۳
۲۳	۰/۴۵	۱۵۴	۰/۴۸	۰/۷۱	۱۵۲/۵	۰	۶/۶۳	۵۲/۹	۰/۱۲	۱/۳۳	۷/۱	۰/۱۹	نمونه ۴

۵. آزمون‌های خوردگی

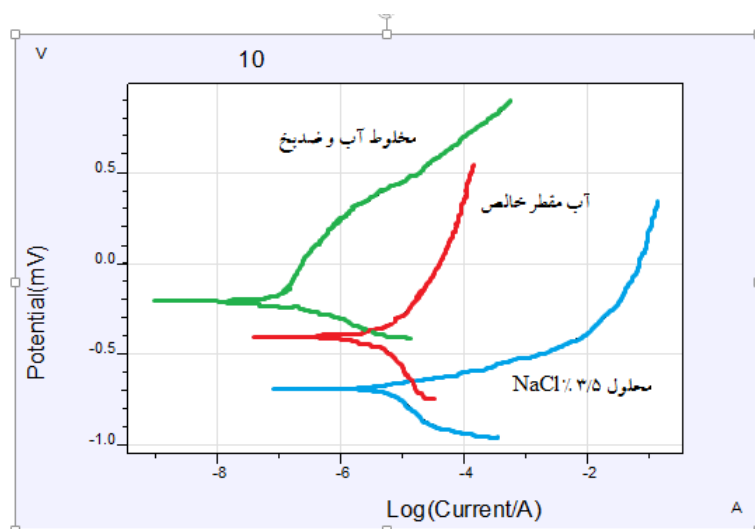
برای بررسی و مقایسه‌ی نرخ خوردگی، سه محلول انتخاب شدند: محلول ۳/۵٪ NaCl، آب مقطر خالص و مخلوط آب و ضدیخ (تهیه شده از گرمکن). پس از ثابت شدن شیب منحنی در آزمون ocp، آزمون پلاریزاسیون خطی با شرایط زیر انجام شد:

$$\begin{cases} -50 \text{ mv vs. ocp} \\ +50 \text{ mv vs. ocp} \end{cases} \quad \text{scan rate: } 1 \text{ mv/sec}$$

بلافاصله بعد از آن، آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک یا تافل با شرایط زیر اجرا شد:

$$\begin{cases} \text{from } -300 \text{ mv vs. ocp} \\ \text{to } 1000 \text{ mv vs. ocp} \end{cases} \quad \text{scan rate: } 1 \text{ mv/sec}$$

نمودار حاصل از آزمون تافل در شکل ۷ و نتایج حاصل از آن در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به I_{corr} میزان خوردگی در محلول NaCl بیشتر از آب مقطر است. همچنین تمایل به خوردگی نیز در محلول NaCl با توجه به مقدار پتانسیل آن ($E_{\text{corr}} = -691$) نسبت به آب مقطر ($E_{\text{corr}} = -406$) بیشتر یا منفی‌تر است. هرچه محلولی دارای پتانسیل منفی‌تری باشد، تمایل به خوردگی بیشتری خواهد داشت و در نتیجه از آب مقطر مخرب‌تر خواهد بود. همان‌طور که دیده می‌شود، نرخ خوردگی در آب گرمکن کمترین است و با توجه به پتانسیل خوردگی آن ($E_{\text{corr}} = -212$) کمترین تمایل به خوردگی را بین این محلول‌ها داراست. آب گرمکن مخلوطی از آب مقطر و ضدیخ است. ضدیخ می‌تواند آب گرمکن را مقاوم به خوردگی نماید.



شکل ۷. نمودار آزمون تافل نمونه‌های فولادی در محلول‌های آب مقطر، آب نمک (۳/۵٪ NaCl) و مخلوط آب و ضدیخ

جدول ۵. نتایج آزمون تافل و میزان pH نمونه‌ها در محلول‌های ۳/۵٪ NaCl، آب مقطر خالص و مخلوط آب و ضدیخ

I _{corr} (A)	E _{corr} (v)	pH	
$6/47 \times 10^{-6}$	-۶۹۱	۶/۸	محلول ۳/۵٪ NaCl
$4/25 \times 10^{-6}$	-۴۰۶	۷	آب مقطر خالص
$1/2 \times 10^{-6}$	-۲۱۲	۸/۱	مخلوط آب و ضدیخ

با توجه به نتایج آزمون‌ها و بررسی‌ها می‌توان گفت، فلز و آب استفاده شده، کیفیت لازم را داشته و باعث ایجاد شرایط خوردگی نمی‌شوند، پس می‌توان نتیجه گرفت که علت تخریب‌ها، تشکیل رسوبات است. سیستم گرمکن‌ها و به طور کلی مبدل‌های حرارتی، تک فاز بوده و فقط دارای فاز مایع هستند. این تک فاز بودن در شرایطی عوض می‌شود که حلالیت تغییر کند. حلالیت به دو دلیل تغییر می‌کند، کاهش دما و تبخیر زیاد. در لوله‌های مشعل گرمکن، دما در بدو ورود بالاست و با مسافت کاهش پیدا می‌کند. همان‌طور که آقای هیرو [۱۲] اشاره نموده است، اجزایی که در آنها دمای آب به طور ناگهانی با مسافت تغییر می‌کند، مانند مبدل‌های حرارتی، تمایل به انباشتن مواد نامحلول دارند. در نقاط دورتر از ابتدای مشعل با کاهش دما، حلالیت کم شده و رسوبات تشکیل می‌شوند. در ابتدای لوله مشعل نیز چون دما بالاست تبخیر زیادی اتفاق می‌افتد. فاز مایع به بخار تبدیل شده و حلالیت آن به شدت کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه رسوباتی از خود به جا می‌گذارد. رسوبات تشکیل شده، عامل خوردگی خواهند بود که به آن خوردگی زیر رسوبی^۵ گفته می‌شود. مقایسه نتایج آزمون‌های خوردگی با نظریه ارائه شده نشان می‌دهد که آب مورد استفاده در شرایط غوطه‌وری کامل و در شرایط معمول نرخ خوردگی کمتری نسبت به آب مقطر و یا حتی آب حاوی کلرید سدیم دارد. اما امکان تشکیل رسوب و به تبع آن تشکیل پیل اختلاف دمشی^۶ عامل تشدید خوردگی در مناطق موضعی می‌گردد. علاوه بر این، حضور یون‌های کلرید به میزان بیش از حد مجاز در آب مصرفی نیز می‌تواند بر شدت خوردگی در زیر رسوبات بیفزاید [۱۲].

مهم‌ترین مسئله‌ای که در مورد مبدل‌های حرارتی تاکید می‌شود، این است که آب درون گرمکن نباید هیچ‌وقت خالی یا نصف شود. چون وقتی پر باشد، تبخیر چندانی رخ نمی‌دهد اما با پایین آمدن سطح آب،

⁵ under deposit corrosion

⁶ oxygen concentration cell

بخارات روی سقف گرمکن می نشینند و دوباره تبخیر می شوند و به اصطلاح شبنم رخ می دهد. هنگام تبخیر مجدد رسوباتی به جا می ماندند و تجمع این رسوبات به مرور زمان، عامل خوردگی خواهد بود و این مسئله، تشکیل برآمدگی و تاول های روی سقف را توجیه می کند.

• تشکر و قدردانی

در پایان از شرکت گاز استان اصفهان، بابت حمایت از این پروژه و دانشگاه صنعتی اصفهان بابت تامین امکانات مورد نیاز، تقدیر و تشکر می نمایم.

• نتیجه گیری

با توجه به آزمایشات انجام شده و نتایج به دست آمده، عوامل رسوب گذار و خورنده در سیستم گرمکن به شرح زیر است که برای کاهش آن روش هایی ارائه شده است:

۱. نتایج تصویربرداری SEM نشان دهنده ی ناخالصی و آخال در سطح فولاد نبود. حفرات دیده شده نیز ترجیحی برای پیشروی روی فریت ها یا پرلیت ها نداشتند. با توجه به اینکه فقط در بعضی نقاط روی لوله ها خوردگی مشاهده شده، می توان نتیجه گرفت که ممکن است محیط ایجاد کننده ی شرایط خوردگی باشد. با توجه به آنالیز شیمیایی آب و مقادیر مجاز، مقدار یون HCO_3 و TDS بالا بود ولی نتایج آزمون خوردگی مشکلی را در این ارتباط نشان نداد.
۲. نتایج آزمون تافل نشان داد که مخلوط آب و ضد یخ استفاده شده در گرمکن، کمترین میزان خوردگی و کمترین تمایل به خوردگی را نسبت به آب مقطر خالص و محلول ۳/۵٪ NaCl نشان می دهد. که بر این مبنا می توان گفت، آب گرمکن از لحاظ خوردگی، خورندگی کمتری در فولاد ایجاد می کند.
۳. با توجه به آزمایشات مختلف، فلز و آب مورد استفاده کیفیت لازم را داشتند. بنابراین استنباط شد که رسوبات علت این تخریب هستند. این رسوبات در سقف ایجاد شده و به روی لوله های کویل و مشعل سقوط می کنند و به علت سنگین بودن و عدم حرکت زیاد در آب، این پوسته های سقوط کرده تقریباً ثابت می ماندند و باعث ایجاد خوردگی زیر رسوبی می شوند. در نقاط دورتر از ابتدای مشعل با کاهش دما، حلالیت کم شده و رسوبات تشکیل می شوند. در ابتدای لوله مشعل نیز چون دما بالاست تبخیر زیادی اتفاق می افتد. فاز مایع به بخار تبدیل شده و حلالیت آن به شدت کاهش پیدا می کند. در نتیجه رسوباتی از خود به جا می گذارد.

۴. به منظور جلوگیری از تشکیل این رسوبات، ابتدا باید سعی شود سطح آب داخل گرمکن همیشه تا ارتفاع مشخصی حفظ شود. زیرا با پایین رفتن سطح آب و تشکیل شبنم روی سقف و بخار شدن دوباره ی شبنم، رسوبات برجا می مانند. به این منظور می توان از شناورهای مشابه آنچه در کولرهای آبی استفاده می شود بهره برد تا سطح به صورت خود کار همیشه بالا بماند.
۵. توزیع حرارت در گرمکن باید یکنواخت باشد، یا در مناطقی که حرارت بیشتری می بینند از سیستم های مقاوم تر مانند پوشش مناسب، استفاده شود.

• مراجع

1. Technical specification of Total Gaz industries, (www.totalgaz.ro).
2. Technical specification of SPECO oil and gas technologies, (www.specoilandgas.com).
3. D. Gandy, "Carbon Steel Handbook", Electric Power Research Institute, California, 2007.
4. T. Charn and F. Lansing, "Review of Corrosion Causes and Corrosion Control in a Technical Facility", The Telecommunications and Data Acquisition (TDA) Progress Report, 42-69, 1982, pp.145-156.
5. I. Andijani and S. Turgoose, "Studies on Corrosion of Carbon Steel in Deaerated Saline Solutions in Presence of Scale Inhibitor", Water Sciences and Technology Association (WSTA) Gulf Conference, Bahrain, 1999, pp. 2231-2246.
6. A. Dugstad, "Fundamental Aspects of CO2 Metal Loss Corrosion Part I: Mechanism", Corrosion, texas, 2006, paper No.06111.
7. H. Jung, U. Kim, G. Seo, H. Lee and C. Lee, "Effect of Dissolved Oxygen on Internal Corrosion of Water Pipes", Environmental Engineering Research, Vol.14, No.3, 2009, pp.195-199.
8. M. Riahi, B. Yazdirad, M. Jadidi, F. Berenjkar, S. Khoshnevisan, M. Jamali, M. Safary, "Optimization of combustion efficiency in indirect water bath heaters of Ardabil city gate stations", Seventh Mediterranean Combustion Symposium (MCS-7), Italy, Sep 11-15, 2011.
9. S. H. Azizi, A. Rashidmardani, M. R. Andalibi, "Study of preheating natural gas in gas pressure reduction station by the flue gas of indirect water bath heater", International Journal of Science and Engineering Investigations, Vol. 3, 2014, Issue 27.
10. Technical specification of an Astec Industries Company, (www.heatec.com).
11. S. M. Lesch, D. L. Suarez, "A Short Note on Calculating the Adjusted SAR Index", American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001-2351, Vol. 52(2), 2009, 493-496.
12. H. M. Herro, R.D. Port, "The Nalco Guide to Cooling Water System Failure Analysis", Nalco Chemical Company- McGraw-Hill, 1993, 67-96.

Damage analysis of carbon steel coil and shell in water bath heaters

Sadaf Shabaniyan*, Fakhreddin Ashrafizadeh, Ali Ashrafi, Navid Saeidi, Farzad Abbasian, Mohsen Moslemi

* Corresponding Author Address: Department of Materials Engineering, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran
s.shabaniyan@ma.iut.ac.ir

Abstract

Water bath heaters are designed to heat the gas prior to the pressure reduction. Owing to the initial design of the system and its working conditions, corrosion possibility was supposed to be low; however, in one of the pressure reducing stations severe corrosion and thinning of the walls were observed, in different areas of the heater including the inner surface of the shell, coils and fire tubes. In order to investigate the cause of corrosion, non-destructive and destructive tests including mechanical properties examination, x-ray diffraction, Light and electron microscopy, EDS microanalysis and water analysis were carried out. The results showed that due to the lack of proper regulation of water levels in the heater's tank and poor input water quality, dew point corrosion conditions fulfilled, then after evaporation and remaining of deposits, under deposit corrosion conditions accomplished and through that a blister-like damage and corrosion on the shell roof has been created. After detachment, corrosion products and scales, has fallen and remained on the upper surfaces of the coils and fire tubes through the tank; consequently leading to scale corrosion of the carbon steel coil and fire tubes.

Keywords: water bath heater, carbon steel, corrosion.