بررسی شرایط بهینه شیمیایی و ترمودینامیکی جهت افزایش راندمان رسوبزدایی لوله های کندانسور در نیروگاه حرارتی رامین

راضیه اسراریان سارا حق طلب ، محمد ابوعلی

شرکت مدیریت تولید برق اهواز، نیروگاه رامین

چکیده

کندانسور از اجزای اصلی سیستم خنک کن در نیروگاههای حرارتی به شمار می رود . وجود شرایط محیطی نامساعد مانند تماس با آب خنک کن دارای املاح بالا و شرایط بهره برداری نامناسب از جمله عوامل رسوبگذاری در لوله های کندانسور محسوب می شود . شستشوی شیمیایی کندانسور در بازه های زمانی معین می تواند موجب طول عمر بیشتر و عملکرد بهتر آن گردد. جهت شستشوی شیمیایی مبدلهای حرارتی ترکیبات آلی و معدنی اغلب اسیدی نظیر اسید سیتریک و اسید کلریدریک توصیه شده است . در این تحقیق، رسوبزدایی از لوله های کندانسور و عوامل موثر بر راندمان آن مانند انتخاب محلول شوینده مناسب که حداکثر رسوبزدایی و حداقل خورندگی را داشته باشد (مقایسه محلولهای اسیدکلریدریک/ MBT،اسید سیتریک/ MBT (مرکاپتوبنزوتیازول) و ...)و شرایط بهینه ترمودینامیکی مانند دما و دبی آب مورد بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: کندانسور، شستشوی شیمیایی،بازدارنده خوردگی، آب خنک کن

Archive of SID

www.SID.ir

1- مقدمه

سیستم های موجود در خطوط بهره برداری صنایع مختلف از قبیل نیروگاه ها ، پالایشگاه ها ، پتروشیمی ها ، عملیات حفاری و اسیدی کردن چاه های نفتی و ... که در محیط های آبی و مرطوب مشغول به کار می باشند ؛ در شرایط گوناگونی از قبیل دما ، فشار و درجه خلوص آب مصرفی فرآیند پس از مدتی در جداره داخلی تجهیزات آنها لایه های رسوباتی وجود می آیند که در اغلب موارد از جنس اکسیدهای آهن یا رسوبات چسبنده کربناتی و سیلیکاتی می باشند که باعث افت راندمان دستگاه ها و یا از کار افتادن آنها می گردند. از این جهت در بازه های زمانی معین عملیات زدایش این لایه ها یا رسوبات انجام می گیرد که در اصطلاح به این عملیات رسوب زدائی یا اسیدشوئی گفته می شود[1] . فرآیند شستشوی شیمیایی با اسیدها و دیگر حلالها، یکی از روشهای اصلی شست وشو و تمیزکاری است ولی هنوز موارد زیادی از تمیزکاری، با استفاده از روشهای مکانیکی یا روشهای جت‌زنی با آب فشار قوی انجام می‌شود[2].

در سال 1995 مالک و همکارانش خصوصیات رسوبزدایی اسید سولفامیک،اسید سولفوریک و اسید هیدروکلریک در لوله های بازیافت حرارت را با یکدیگر مورد مقایسه قرار دادند . نتایج بدست آمده نشان می دهد اسید کلریدریک در حذف رسوب $CaCO_3$ از سطح آلیاژ کوپرنیکل موفق تر عمل می کند . استفاده از سولفامیک اسید نیز مناسب است اما استفاده از اسید سولفوریک به دلیل تشکیل رسوب چسبنده $CaSO_4$ اثر معکوس دارد . برای رسوبات $Mg(OH)_2$ به ترتیب اسیدهای سولفوریک،هیدروکلریک و سولفامیک مناسب هستند . نتایج این تحقیق همچنین نشان می دهد برای حذف رسوب $CaCO_3$ از این لوله ها ترکیبHCl 2 % با 0/3% از ممانعت کننده خوردگی تجاری با نام IBIT بیشترین راندمان را دارد[3] . در سال 2011 زائری و همکارانش ، مناسب ترین بازدارنده شست و شوی شیمیایی تیوپهای آستینیتی سوپر هیترها را مورد بررسی قراردادند. آزمایش های انجام گرفته بر روی اسیدهایی مانند سیتریک اسید، سولفوریک اسید و کلریدریک اسید و ماده آمونیوم بی فلوراید نشان می دهد رسوب زدایی تیوبهای آستنیتی بدون استفاده از آمونیم بی فلوراید راندمان کمی دارد. اما در صورت تماس آمونیم بی فلوراید با فولاد آستنیتی به مدت طولانی در محیط ساکن, خوردگی حفره ای اتفاق می افتد. حداکثر میزان آمونیم بی فلوراید به عنوان کمک شوینده , 1/5 % می باشد.در مقادیر بیشتر با وجود راندمان بیشتر، تخریب سطحی و خوردگی حفره ای تشدید می گردد. در نهایت محلولهای ایده آل شستشو بدین شرح می باشند : سیتریک اسید 2% به همراه آمونیوم بی فلوراید ،1%آمونیاک به همراه بازدارنده [4] .

در سال 2007 براون و همکارانش یک سیستم پلیمری متشکل از پلیمر آنیونی ایزو پروپونیک را جهت تمیزکاری آنلاین بویلرها ،بجای استفاده از سیستمهای اسیدی معرفی کردند. نتایج نشان میدهد این سیستم دست کم برای بویلرهایی که رسوبات غالب آنها از نوع ترکیبات آهنی نظیر زنگ آهن است می تواند کارآمد باشد . از مزایای این روش انجام عملیات تمیزکاری در حین بهره برداری از بویلر و بدون نیاز به از مدار خارج شدن بویلر می باشد . اما این پلیمر در حذف رسوبات کربناته موثر نیست[5].

در سال 1986 سیگل و همکارانش، بررسی جهت مشخص کردن الگوهایی برای تشخیص و انتخاب بهترین روش شستشوی انواع مبدلهای حرارتی ارائه دادند .از دیدگاه این محققین ملاک کلی قضاوت جهت انتخاب شوینده مناسب کاهش زمان لازم برای شستشو و رسیدن به حداکثر ظرفیت تبادل حرارت پس از اعمال شستشوی شیمیایی می باشد [6].

در انتخاب حلال شوینده دانستن جنس رسوبات اهمیت دارد. سطح داخلی لوله های کندانسور در معرض آب در گردش سیکل آب خنک کن قرار دارد و با توجه به بالا بودن قلیائیت و میزان یونهای کلسیم و منیزیم دراغلب آبهای گردشی، رسوبات تشکیل شده در سطح داخلی لوله ها غالبا از جنس کربنات های کلسیم و منیزیم است. حلالیت اغلب این مواد با افزایش دما کاهش می‌یابد. ترکیب بکار رفته در یک محلول شستشو اغلب شامل یک عامل شوینده به همراه یک بازدارنده خوردگی می باشد . از آن‌جا که انتخاب حلال تا حدی تجربی است، به تستهای آزمایشگاهی نیاز است تا کارایی آن را بر روی نمونه‌های مربوط تعیین کرده و موثرترین حلال را مشخص کند. این موضوع به نوع مبدل، ساختمان شیمیایی رسوبات، ایمنی ، مسائل زیست محیطی و غیره بستگی دارد.

از مشکلات عمده ی شیمی آب و بخار نیروگاه رامین طی سالهای گذشته بالا بودن میزان سختی کندانسور و هدایت الکتریکی آب تغذیه دیگ بخار واحدها بوده است .

Archive of SID

www.SID.ir

2- مواد و روشها

جهت بررسی اثرات شوینده های شیمیایی مختلف، پایلوت شبیه سازی گردش آب در سیکل خنک کن نیروگاه تهیه گردید. اجزای مورد نیاز جهت ساخت پایلوت لوپ خوردگی و انجام آزمایشات شامل موارد زیر است :

پمپ مدل E- TECH- THREE PHASE MOTOR- MS90L-2 ، ترموستات مدل ARIA INDUSTRIAL SYSTEM – EMTC SERIES ، دبی سنج مدل WATER SAFE- LIQUID-SP.GR.1.O، دما سنج، تانک 200 لیتری جهت محلول سازی، ترازوی مدل JB1003 ساخت کمپانی METTLER TOLEDO کشور سویس با دقت 0/0001 گرم، لوله ها وشیرهای رابط، شیشه الات پیرکس از قبیل بالن ژوژه، ارلن مایر، پیپت و... طراحی پایلوت به گونه ایست که امکان ایزوله کردن تانک از مسیر اسیدشویی و انجام رسیرکوله در آن جهت محلول سازی وجود دارد. با باز و بسته کردن شیرهای بای پس می توان سرعت عبور محلول درون لوله را کنترل نمود . دبی سنج مقدار دبی محلول در هر زمان را نشان می دهد . یک سیستم ترموستات جهت کنترل دمایی محلول در نظر گرفته شده است . لوله های گرم کن مستقیماً درون تانک اسیدشدیی قرار داده شده اند سنسورهای دمایی که مستقیماً بر روی لوله های رابط پایلوت خوردگی قرار گرفته اند نیز میزان دما را نشان می دهند . بطور کلی کاربرد این پایلوت ارزیابی اثرات و قدرت محلولهای اسیدشویی و بازدارنده های خوردگی بر روی نمونه لوله های مبدل حرارتی می باشد . با تغییر درصد محلول شستشو، تغییر دما و دبی محلول میتوان بهترین شرایط جهت شستشوی شیمیایی لوله های رسوبدار مورد نظر را تعیین نمود بطوریکه حداکثر راندمان پاکسازی و حداقل میزان خوردگی ایجاد شود . جهت این کار نمونه ی لوله ی حقیقی کندانسور نیروگاه رامین که با قشر یکنواختی از رسوب به ضخامت 2 میلیمتر پوشیده شده بود انتخاب گردید و در ابعاد 35 سانتی متری برش داده شد. دوانتهای لوله ها با واشرهایی از جنس PVC بوسیله عملیات حرارتی و چسبکاری پوشش داده شد . لوله مورد نظر درون سیستم لوپ جاگذاری گردید . در مرحله اول لوله بوسیله آب مقطر و با برقراری سیکل سیستم لوپ آبشویی گردید . پس از آن محلول اسید موردنظر درون مخزن 200 لیتری تهیه و رسیرکوله گردید به گونه ای که با لوله مورد نظر تماسی نداشته باشد (در این حالت مسیر رسیرکوله مخزن باز و مسیر ورود محلول به لوله بسته بود). پس از اینکه غلظت اسید و بازدارنده به حد مورد نظر رسید ابتدا از نمونه آب خروجی از لوله به عنوان داده مبنا آنالیز گرفته شد و سپس مسیر ورود محلول به لوله باز و سیکل اسید شویی برقرار گردید . در حالت نرمال دبی محلول شستشو 1/5 m^3/h و دمای آن 3±25 درجه سانتی گراد بود . سپس از آب آنالیزهای مربوطه(سختی و مس) در بازه های زمانی مشخص گرفته شد . در ابتدای آزمایش اسید شروع به شستن رسوبات به درون آب می کند و چون جنس رسوبات لوله های کندانسور عمدتاً از نوع کربناتها و سولفاتهای کلسیم و منیزیم است لذا با انحلال این رسوبات، سختی آب به تدریج افزایش می یابد. با اتمام لایه رسوب یا نازک شدن آن، سختی آب تقریباً ثابت می ماند . در این مرحله و همزمان با نازک شدن لایه رسوبات و در اثر تماس اسید با سطح لخت لوله ها مقداری از آلیاژ لوله نیز که عمدتاً از جنس مس است به درون آب شسته می شود در این حالت اگر از نمونه آب آنالیز مس گرفته شود . مقدار خوردگی مس مشخص خواهد شد . در هنگام اسید شویی کندانسورهای اصلی خوردگی مس تا حدود 200 ppm مجاز شناخته می شود . در شرایط آزمایش این تحقیق خوردگی مس تا حدود 80-90 ppm مشکلی ایجاد نمی کرد ولی بابالاتر رفتن مس از این مقدار، پس از خارج کردن لوله از پایلوت، آثار خوردگی حفره ای بر روی آن مشاهده می گردید لذا حد مجاز خوردگی مس حین اسیدشویی در شرایط این آزمایش 80-90 ppm درنظرگرفته شد .بنابراین ثابت شدن مقدار سختی و یا رسیدن مقدار مس آب به 80-90 ppm به عنوان پایان هر واکنش درنظر گرفته شد .همچنین در بهترین شرایط و شسته شدن کامل درون لوله از رسوبات مقدار سختی بر روی55-57 ppm ثابت می ماند بنابر این با توجه به یکنواخت بودن رسوبات درون لوله های نمونه، این مقدار سختی به عنوان حد ایده آل در پاکسازی رسوبات در نظر گرفته شد . پس از اتمام واکنش پمپ خاموش و مخزن درین داده می شد و مجدداً با آب پر می شد و آبشویی صورت می گرفت و این سیکل (خالی و پر کردن مخزن با آب و آبشویی) تا زمان خنثی شدن pH آب خروجی تکرار می گردید . سپس لوله از سیستم لوپ خارج و درون لوله از نظر وجود آثار خوردگی و یا باقیماندن رسوبات بر روی آن بررسی می شد . وزن لوله قبل و بعد از اسیدشویی نیز اندازه گیری می گردید .

Archive of SID

www.SID.ir

تمامی مواد شیمیایی استفاده شده در طی آزمایشات از کمپانی مرک بوده و محلولهای مورد نیاز از ماده جامد تهیه و درصورت لزوم رقیق سازی گردید.

3- نتایج و بحث

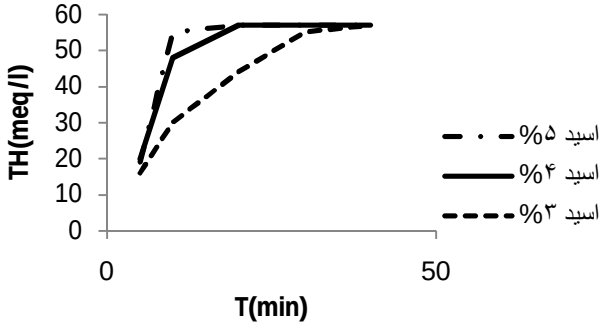
در این تحقیق ابتدا اسیدشویی در غلظتهای مختلف اسید کلریدریک بدون حضور بازدارنده انجام و پارامترهای سختی و میزان مس آب در زمانهای مختلف اندازه گیری شد . سپس آزمایش مشابهی بر روی ترکیب درصدهای مختلف اسید سیتریک صورت و نتایج این دو با یکدیگر مقایسه گردید تا نوع اسید و غلظت بهینه آن تعیین گردد . پس از آن بهینه سازی پرامترهای دیگر (دما و دبی محلول) در حضور بازدارنده MBT انجام شد .

3-1- بهینه سازی نوع و غلظت اسید

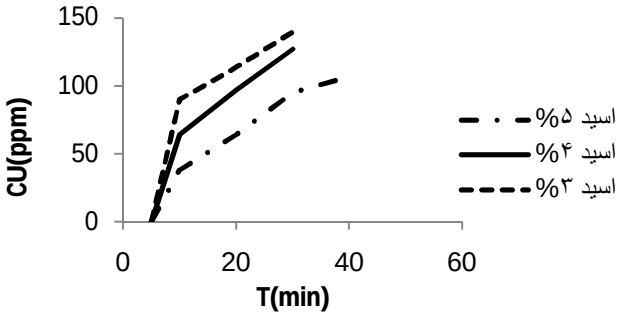
محلولهای اسیدی مناسبترین محلولها برای حل کردن اکسیدهای معدنی و نمکهای اسیدهای ضعیف هستند . معمولاً از اسیدها با ترکیب درصد 3-5 درصد برای شستشوی شیمیایی مبدلهای حرارتی استفاده می شود. اکثر رسوبات ناشی از آب و فولینگ بوسیله اسیدهیدرو کلریک برطرف می شود و اسید هیدروکلریک (HCl) معمولاً برای اسید شویی فلزات و آلیاژ ها استفاده می شود زیرا اسید هیدروکلریک قابلیت بسزایی در زدودن لایه های رسوبی و اکسیدهای سطحی دارد [1-2]. از اسید سیتریک با غلظت 3-5 درصد برای شستشوی دیگهای بخار استفاده شده است [2].

برای بهینه سازی نوع حلال شستشوی رسوبات لوله های کندانسور نیروگاه رامین دو اسید هیدرو کلریک و اسید سیتریک که معمولاً جهت انحلال رسوبات مبدل های حرارتی استفاده می شوند در غلظتهای مختلف مورد استفاده قرار گرفتند و تغییرات میزان سختی و مس محلول بر حسب زمان بررسی شد. در این آزمایش دبی محلول شستشو $1/5\ m^3/h$ و دمای آن 3±25 درجه سانتی گراد بود .

3-1-1- اسید کلریدریک



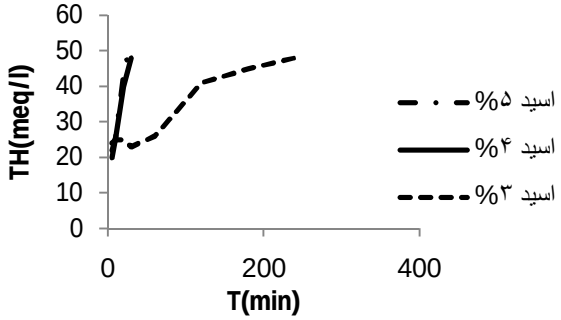
نمودار(1) تغییرات سختی بر حسب زمان در اسیدشویی لوله کندانسور با HCl باغلظتهای 3 تا 5 درصد



نمودار(2) تغییرات مس بر حسب زمان در اسیدشویی لوله کندانسور با HCl باغلظتهای 3 تا 5 درصد

با توجه به نمودارهای 1و 2 می توان نتیجه گرفت بهترین غلظت اسیدهیدروکلریک جهت اسیدشویی لوله کندانسور نیروگاه رامین اسیدهیدروکلریک 3% بوده که عملیات اسیدشویی توسط آن در بازه زمانی معقول و قابل کنترل و همراه با نرخ پایین خوردگی مس صورت گرفته است . در مراحل بعد عملیات مشابهی با استفاده از اسیدسیتریک در غلظتهای مختلف بر روی نمونه لوله های کندانسور انجام و نتایج آن با نتایج بدست آمده از اسیدشویی لوله با اسیدهیدروکلریک مقایسه گردید.

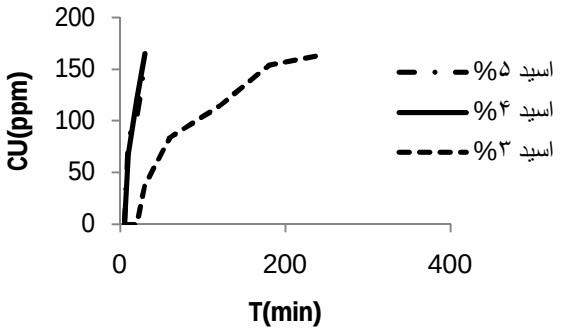
3-1-2-اسید سیتریک



نمودار(3) تغییرات سختی بر حسب زمان در اسیدشویی لوله کندانسور با اسید سیتریک باغلظتهای 3 تا 5 درصد

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار(4) تغییرات مس بر حسب زمان در اسیدشویی لوله کندانسور با اسید سیتریک باغلظتهای 3 تا 5 درصد

با توجه به نتایج به دست آمده در این آزمایش و مقایسه آن با نتایج حاصل از اسیدشویی با اسید هیدروکلریک ، متوجه زمان طولانی تر اسیدشویی با استفاده از اسیدسیتریک می شویم بطوریکه با گذشت 240 دقیقه از آغاز واکنش هنوز میزان سختی آب روند افزایشی داشته و به حد نهایی خود(حدود ppm 57-55) نرسیده است.این امر نشان می دهد که با گذشت این زمان طولانی همچنان رسوبات در درون لوله باقیمانده و بطور کامل شسته نشده اند. بازرسی لوله پس از اسیدشویی نیز نشان داد که کنده شده رسوبات بصورت نقطه ای بوده و مناطق پراکنده ای از لوله همچنان دارای رسوب می باشد . نکته قابل توجه اینکه علی رغم باقی ماندن رسوب در درون لوله ، خوردگی مس نیز به شدت خود را نشان می دهد بطوریکه ناچار هستیم قبل از پایان تمیزکاری کامل لوله عملیات شستشو را قطع نماییم که دلیل آن بالارفتن شدید نرخ خوردگی مس از 60 دقیقه پس از شروع واکنش می باشد. در عملیات بازرسی چشمی پس از پایان این اسیدشویی، خوردگیهای سطحی و حفره ای کاملاً بر روی لوله مشهود بوده و سطح لوله با لایه ای سبزرنگ که نشاندهنده خوردگی شدید مس می باشد کاملاً پوشیده شده بود. درحالی که اینچنین خوردگی با این وسعت در عملیات اسیدشویی با اسید کلریک حتی با غلظت بالاتر مشاهده نگردید . رنگ سبز ناشی از خوردگی مس و تولید رسوب سبزرنگ کاربومات می باشد:

$$2Cu + O_2 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Cu_2(OH)_2CO_3 \quad (1)$$

لازم به ذکر است که این ترکیب توانایی زدودن رسوبات سخت چسبنده درون لوله را نداشته و خوردگی های حفره ای یا تنشی پدید می آورد [7].بروز پدیده خوردگی حفره ای ناشی از اسیدسیتریک در آزمایشات این تحقیق نیز عملاً مشاهده گردید(پیوست).

به منظور بررسی اثر قدرت اسیدی محلول بر عملکرد اسیدسیتریک در مراحل بعدی آزمایش ، اسیدشویی با ترکیب درصدهای بالاتر (4% و 5%) از اسید سیتریک انجام شد.

نتایج آزمایش نشان می دهد که اسید سیتریک 5% تا حد زیادی موفق به پاکسازی رسوبات از درون نمونه لوله شده است (رسیدن به سختیmeq/l 52). هرچند که این کار در بازه زمانی طولانی 180 دقیقه ای انجام شده است یعنی سه برابر زمان مورد نیاز برای اسیدشویی نمونه لوله با اسیدهیدروکلریک با قدرت کمتر(3%). از سوی دیگر نرخ خوردگی مس برای اسیدسیتریک 5% از اسیدهیدروکلریک 3% بالاتر است . که دلیل آن می تواند زمان طولانی تماس اسید با لوله باشد . از آنجا که استفاده از اسیدسیتریک با غلظتهای بالاتر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست به این بررسی در همینجا خاتمه داده و از بررسی غلظتهای بالاتر این اسید صرفنظر می شود . بطور کلی با توجه به مشاهدات و نتایج آزمایشات به دست آمده از اسیدشویی نمونه لوله های 1 تا 6 می توان نتیجه گرفت که اسید هیدروکلریک در مقایسه با اسید سیتریک برای شستشوی شیمیایی لوله های کندانسور نیروگاه رامین مناسبتر بوده و علاوه بر داشتن راندمان بالاتر در حذف رسوبات خاص این لوله ها ، میزان خوردگی کمتری نیز ایجاد می کند . در صورتیکه اسیدسیتریک حتی در غلظتهای بالا نیز نه تنها از نظر شستشوی رسوبات چندان ایده آل نیست بلکه خوردگی های بیش از حد مجاز نیز ایجاد می کند . بطور کلی اسید سیتریک بیشتر جهت شستشوی رسوبات نرم مانند بقایای ناشی از خوردگی و فولینگ در لوله های از جنس آلیاژهای آهنی که چسبنده نیستند مناسبتر است . از سوی دیگر ازمیان غلظتهای مختلف اسید هیدروکلریک به نظر می رسد اسید هیدروکلریک 3% و تا حدودی 4% نتایج مناسبتری به دست داده باشند زیرا علاوه بر انجام شستشوی شیمیایی در زمان معقول، ریسک خوردگی کمتری نیز ایجاد کرده اند که این امر در بازرسی چشمی از لوله های مربوطه پس از پایان اسیدشویی ها نیز مشهود می باشد. از بین دو غلظت 3%و 4 % نیز با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی می توان غلظت 3% را به عنوان غلظت بهینه جهت انجام اسیدشویی در نظر گرفت. با توجه به این نکته که اسیدشویی با اسیدهیدروکلریک3% از نظر زمان انجام فرایند چندان وقتگیر نبوده و عملیات تمیزکاری را در زمان قابل قبولی(30 دقیقه) انجام داده است . بنابر این در آزمایشات بعدی

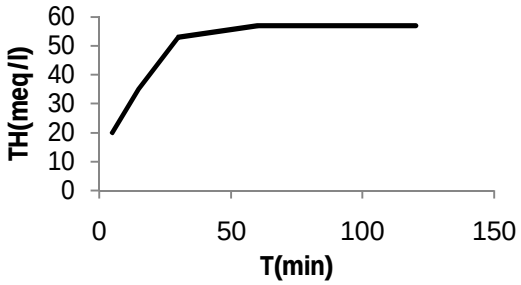
Archive of SID

www.SID.ir

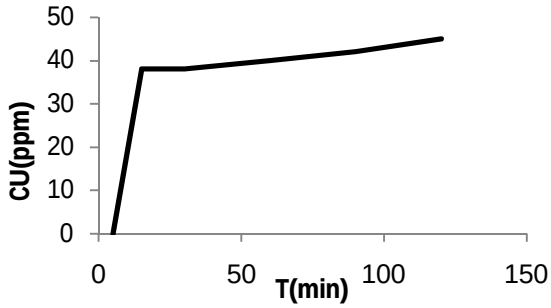
اسیدهیدروکلریک با غلظت 3% به عنوان اسید و غلظت بهینه درنظرگرفته می شود .

3-2- بررسی اثر حضور بازدارنده

در این مرحله عملیات اسیدشویی با اسید بهینه یعنی اسیدهیدروکلریک با غلظت 3% در حضور بازدارنده خوردگی مس(مرکاپتوبنزوتیازول MBT) انجام گرفت و نتایج آزمایش با شرایط بدون حضور بازدارنده خوردگی مقایسه گردید . مقادیر مورد نیاز از اسید و بازدارنده به تانک اسیدشویی که با 50 لیتر آب مقطر پر شده بود افزوده شد و پس ار رسیرکوله به مدت کافی ، سیکل اسید شویی بسته شد . دبی محلول شستشو 1/5 m^3/h و دمای آن 3±25 درجه سانتی گراد بود .



نمودار (5): تغییرات سختی بر حسب زمان در اسیدشویی لوله کندانسور با اسید HCl 3% و بازدارنده 0/02 %

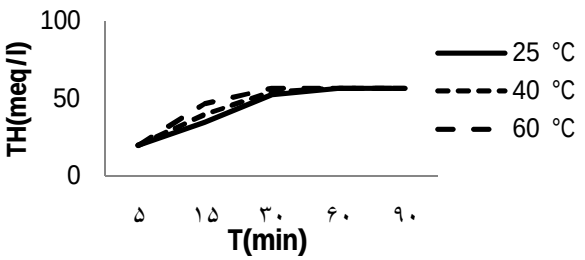


نمودار (6): تغییرات مس بر حسب زمان در اسیدشویی لوله کندانسور با اسید HCl 3% و بازدارنده 0/02 %

نتایج آزمایش نشان می دهد که حضور بازدارنده تاثیری بر قدرت کندن رسوبات توسط اسید ندارد ولی همزمان نرخ خوردگی مس را به شدت کاهش می دهد بطوریکه در غیاب بازدارنده با گذشت 40 دقیقه از زمان شستشو نرخ خوردگی مس به 107 ppm رسیده ولی در حضور بازدارنده پس از گذشت 120 دقیقه خوردگی مس از 45 ppm تجاوز نکرده است . بنابراین برای انجام ایمن تر اسیدشویی حضور بازدارنده خوردگی مس توصیه می شود . مقدار دوز موثر MBT جهت تامین خاصیت بازدارندگی برای این ترکیب می باشد[11-8] . در بخش 4-1 ملاحظه گردید زمان مورد نیاز جهت اسیدشویی لوله کندانسور توسط HCl 3% حدود 30 دقیقه است . در این آزمایش می بینیم که در حضور بازدارنده خوردگی ادامه اسیدشویی با این اسید به مدت چهاربرابر زمان مورد نیاز نیز خوردگی و آسیبی در لوله ایجاد نمی کند . از آنجا که استفاده از اسید قوی هیدروکلریک جهت شستشو و رسوبزدایی از مبدلهای حرارتی همواره با تردید و نگرانی همراه بوده این آزمایش دلیل مستندی از حفاظت کامل آلیاژ کندانسور در حضور HCl 3% می باشد. از اسیدکلریدریک جهت شستشوی آلیاژهای با پایه آهن معمولاً در حضور بازدارنده خوردگی با نام تجاری آرموهیب استفاده می شود که از دیرباز به همراه اسید کلریدریک جهت رسوبزدایی از مبدلهای حرارتی مورد استفاده قرارگرفته است و سرعت خوردگی آهن در حضور اسیدکلریدریک را کند می کند. از آنجا که استفاده از آرموهیب تنها برای آلیاژهای با پایه آهن کارایی دارد و جنس لوله های کندانسور نبروگاه رامین عمدتاً مس است تصمیم گرفته شد بجای استفاده از بازدارنده های خوردگی تجاری از ممانعت کننده خوردگی مس یعنی MBT جهت حفاظت لوله استفاده شود . آزمایش فوق نشان می دهد استفاده از ممانعت کننده خوردگی مس در حضور اسیدکلریدریک 3% کارایی مناسب و قابل قبولی دارد.

3-3- بهینه سازی دما

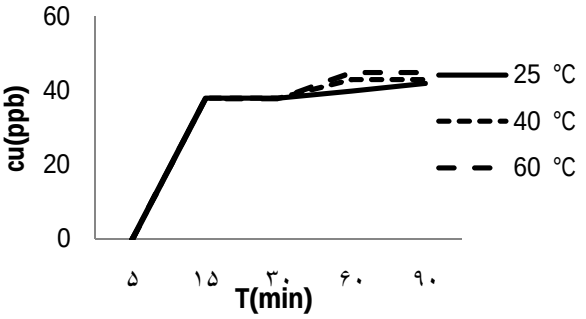
جهت تعیین دمای بهینه جهت انجام اسید شویی کندانسور ، فرایند اسیدشویی در دماهای 25، 40 و 60 درجه سانتی با استفاده از محلول شستشوی بهینه (اسیدهیدروکلریک 3%+ MBT 0.02%) انجام شد.



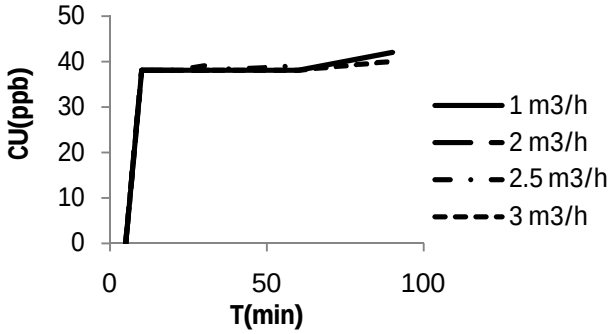
نمودار (7): تغییرات سختی بر حسب زمان در اسیدشویی لوله کندانسور با اسید HCl 3% و بازدارنده 0/02 % در دماهای مختلف

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار (8): تغییرات مس بر حسب زمان در اسیدشویی لوله کندانسور با اسید HCl 3% و بازدارنده 0/02 % در دماهای مختلف



نمودار (10): تغییرات مس بر حسب زمان در اسیدشویی لوله کندانسور با اسید HCl 3% و بازدارنده 0/02 % در دبی های مختلف

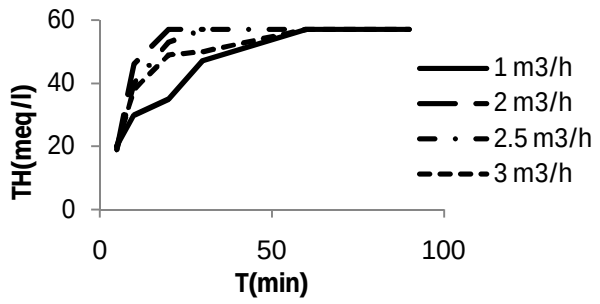
انجام اسیدشویی در دمای بالاتر از 60 درجه سانتی گراد به دو دلیل مقدور نمی باشد:

1- بازدارنده خوردگی MBT در دمای 80-70 درجه سانتی گراد تجزیه می شود.
2- رسیدن به دمای بیش از 60 درجه سانتی گراد در شرایط کاری کندانسور نیروگاه رامین مقدور نمی باشد .

بنابراین بهتر است اسیدشویی در دمای 60-40 درجه سانتی گراد انجام گیرد.از آنجا که افزایش دما تا 60 درجه سانتی گراد اختلاف زیادی در نتایج ایجاد نکرده است، دمای 40 درجه سانتی گراد به عنوان دمای بهینه در نظر گرفته شد .

4-3- بهینه سازی دبی حلال شستشو

در تمامی آزمایشات گذشته دبی محلول بر روی 1/ 5 m^3/h تنظیم گردید. در این بخش از تحقیق تاثیر دبی حلال شستشو بر راندمان اسیدشویی مورد بررسی قرار می گیرد. دبی های 1 و 2، 2/5 و 3 m^3/h در دما و غلظت اسید بهینه بررسی شدند.



نمودار (9): تغییرات سختی بر حسب زمان در اسیدشویی لوله کندانسور با اسید HCl 3% و بازدارنده 0/02 % در دبی های مختلف

نتایج به دست آمده نشان می دهد بهترین دبی حلال شستشوجهت شستشوی شیمیایی رسوبات لوله های کندانسور نیروگاه رامین m^3/h 2-1/5 می باشد .به نظر می رسد در دبی های بالاتر از m^3/h 2، حلال شستشو، زمان کافی جهت برهمکنش با رسوبات را نمی یابد و بدین ترتیب از شدت اثر حلال کاسته می شود .

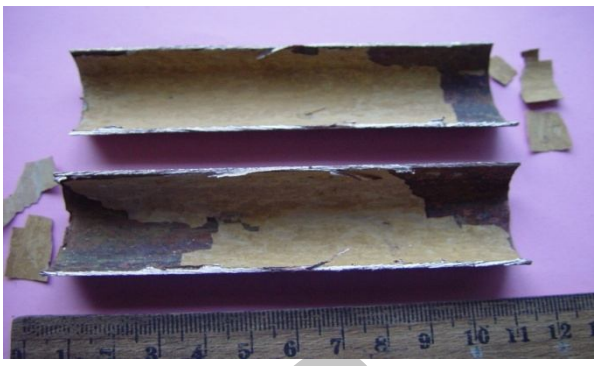
4- نتیجه گیری

کندانسور از اجزای اصلی سیستم خنک کن در نیروگاههای حرارتی به شمار می رود . وجود شرایط محیطی نامساعد مانند تماس با آب خنک کن دارای املاح بالا و شرایط بهره برداری نامناسب از جمله عوامل رسوبگذاری در لوله های کندانسور محسوب می شود . از شستشوی شیمیایی برای تمیز کردن سطوح و حفظ راندمان مطلوب مبدل حرارتی استفاده می شود . اکثر حلالهای تمیز کننده مورد مصرف در شستشوهای شیمیائی حاوی ترکیبات خورنده می باشند، لذا استفاده از مواد بازدارنده خوردگی در حلالها ضروری است . تشخیص نوع رسوب، میزان آن و مواد شیمیایی مورد نیاز برای تمیز کاری و مواد بازدارنده ای که جهت جلوگیری از خوردگی بهمراه مواد شیمیایی مورد مصرف قرار می گیرد از نقطه نظر فنی اقتصادی پر اهمیت است و نیاز به تحقیقات آزمایشگاهی دارد . در این تحقیق کارایی شوینده های شیمیایی در حذف موثر رسوبات از لوله های کندانسور نیروگاه رامین مورد بررسی قرار گرفته است همچنین اثر عواملی مانند دبی محلول شوینده و دمای آن بر بازده شستشوی شیمیایی نیز بررسی شده است. نتایج آزمایشات نشان می دهد اسید سیتریک حلال مناسبی جهت حذف رسوبات لوله های کندانسور نیروگاه رامین نیست. بهترین راندمان حذف رسوبات با محلول اسید هیدروکلریک 3% و دمای 40 درجه سانتی گراد و دبی m^3/h 1/5 اتفاق می افتد

Archive of SID

www.SID.ir

. تزریق بازدارنده خوردگی مس(MBT) به مقدار 0/02 % از خوردگی و آسیب لوله کندانسور در حین اسیدشویی جلوگیری می کند .



شکل 11: رسوبات درون لوله های کندانسور نیروگاه رامین قبل از اسیدشویی

شکل 12: نمای نهایی درون لوله پس از اسید شویی توسط اسید سیتریک 3%

شکل 13: نمای نهایی درون لوله پس از اسید شویی توسط HCl 5 %

شکل 14: نمای نهایی درون لوله پس از اسید شویی توسط HCl 3 % در حضور MBT 0/02 %

مراجع

[1]- Bregman J. I. , and Newman. T. R., 1959, " *Developments in cooling tower system treatments*". Corrosion 15:97t.

[2]- Hantelman W. D., 1972," *Ten years experience in pre-operational chemical cleaning of power plant steam generating systems*", Proc. Int 7.water conf., Eng. Soc. W. Pa. 33:101.

[3]- Malik U., Andijani I. and Al-Mubayaed S. 1995, *" Copparative study on the use of sulfamic acid, sulfuric acid and hydrochloric acid as descalants for brine heater and heat recovery tubes*", Issued as Technical Report No. SWCC (RDC) - 36 .

[4] - محمد رضا زائری، بهینه سازی انتخاب بازدارنده و محلول اسید شویی تیوبهای استینلس آستنیتی به روش الکتروشیمیایی و تیتراسیون، اولین همایش ملی علوم و فناوریهای نوین در صنعت پالایش نفت 1389

[5]- Brown W., Moore A., Al-BenHamad A., 2007 " *On-line Cleaning of Boilers Using A Novel Polymer Technology to Avoid Acid* ", Technical Paper, , General Electric Company

[6]- Siegel H., 1986,"*Optimization of heat exchanger cleaning*", Proceedings from the Eighth Annual Industrial Energy Technology Conference, Houston, TX.

[7]- Kundur P., 1994,*" Power System Stability and Control*", New York: McGraw-Hill.

[8]- Faltermeier B., 1995, " *The Evaluation of Corrosion Inhibitors for Application to Copper and Copper Alloy Archaeological Artefacts*" A Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Science of the University of London.

[9]- Bhatia A.," Cooling Water Problems and Solutions" cedengineering Continuing Education and Development, Inc. 9 Greyridge Farm Court, Stony Point, NY 10980.

[10]- Faltermeier B., *1998*," A Corrosion inhibitor test for copper based artifacts", *Studies in Conservation 44* , 121-128.

[11]-Wissler r.,2004 "*The inhibition of copper corrosion in aqueous environments with heterocyclic compounds*",queensland university of technology school of physical sciences,Science research center.

Archive of SID

www.SID.ir