

بررسی علل اورهیت شدن دیواره آبی بویلر های یکبار گذری که تحت خلاء کار می کنند(نمونه موردی بویلر اصلی واحد 6 نیروگاه رامین اهواز)

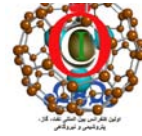
میثم دیناروند¹، کارشناسی بهره بردای نیروگاه، دانشگاه علمی کاربردی واحد اهواز

میثم دیناروند

چکیده

امروزه در اکثر دیگ های بخاری، که فعالیت آنها تحت خلاء نیست، بصورت معمولی و رایج دمای بهره برداری از آنها در مقایسه با دمای قابل تحمل آلیاژ لوله های دیواره آبی آنها فاصله نسبتاً خوبی داشته و مشکلی برای استفاده از سوخت های مختلف از لحاظ درجه حرارت تولیدی از سوختن سوخت ایجاد نکرده، اما در دیگ بخار یکبارگذر نیروگاه رامین که فعالیت آن تحت خلاء بوده است و بهره برداری از آن در درجه حرارتی نزدیک به دمای قابل تحمل آلیاژ لوله های دیواری آن صورت می گیرد. تغییر در نوع سوخت از لحاظ وزن مخصوص، درجه تقطیر و کیفیت سوخت از نظر مرغوبیت برای تولید حرارت در این دیگ بخار تاثیر بسزایی در بروز خطر سوختن لوله های دیواره آبی این دیگ بخار دارد. در این مقاله به کمک روش پژوهش تحلیلی و توصیفی به جمع آوری اطلاعات پرداخته ایم. یافته های این مقاله حاکی از آن است که دیگ بخار یکبارگذر نیروگاه رامین تحت خلاء فعالیت می کند و نحوه انتقال حرارت این دیگ بخار بصورتی است که گرمای حاصل از احتراق سوخت فقط بصورت تشعشع حرارتی به جداره لوله ها انتقال داده می شود. اینگونه انتقال حرارت باعث متمایز شدن دیگ بخار یکبارگذر نیروگاه رامین نسبت به سایر نیروگاه های کشور شده است پس در نتیجه، رخداد پدیده اورهیت در لوله های دیگ بخار روز به روز افزایش یافته و جلوگیری از آن امری اجتناب ناپذیر می باشد و فقط با اعمال عملکرد بهتر برنامه ریزی در چگونگی رژیم شیمیایی دیگ بخار، بهره برداری و نگهداری از آن می توان از رشد سریع اورهیت شدن لوله های این دیگ بخار جلوگیری کرد.

¹ - شهرستان شوش، خیابان نصرت، پلاک 10، Two_windows@yahoo.com



1- مقدمه

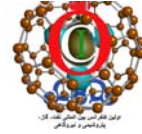
همانطور که می دانیم سرعت حرکت سیال مایع هرچه بالاتر رود قدرت جذب حرارت جابجایی را بسیار بالا می برد و برای تبدیل آب به بخار فوق گرم باید بیش از پیش درجه حرارت تولیدی احتراق سوخت این دیگ بخار را بالا ببریم، که باعث می شود دمای بهره برداری بسیار نزدیک به دمای قابل تحمل آلیاژ (T_m) لوله های دیواره آبی شده و تحدید جدی برای بروز خسارت های مرزانه ای و رخداد اورهیت شدن لوله ها را به همراه داشته باشد. دیگ بخار یکبار گذر نیروگاه رامین در مقابل تغییر در سوخت ها از لحاظ وزن مخصوص و درجه تقطیر آسیب پذیر بوده و یک سوخت با نداشتن استاندارد های استفاده در این دیگ بخار سهم بزرگی در خسارت های اورهیت شدن لوله های آن دارد. رشد رسوب در جداره داخلی لوله باعث کاهش حجم عبوری سیال و همچنین زبری 2 بیشتر سطح داخلی لوله شده و این امر باعث تلاطم جریان سیال در اثر کم شدن دبی عبوری سیال مایع شده و این آشفتگی کمک به کاهش سرعت سیال مایع نموده است و جوشش نامناسب آن را به همراه دارد. در این مقاله ابتدا به شرح مختصری از فعالیت دیگ بخار یکبار گذر نیروگاه رامین پرداخته و رسوب گرفتگی، حمله اسیدی و گسیختگی های لبه نازک آن مورد بررسی قرار گرفته و به شرح تخریب خستگی ناشی از ارتعاش و خوردگی سایشی آن پرداخته شده و در نهایت نتایج و پیشنهادات لازم جهت رفع این نقایص ارائه شده است.

2- شرح فعالیت دیگ بخار یکبار گذر نیروگاه رامین

دیگ بخار یکبار گذر نیروگاه رامین تحت خلاء فعالیت می کند و نحوه انتقال حرارت این دیگ بخار بصورتی است که گرمای حاصل از احتراق سوخت فقط بصورت تشعشع حرارتی به جداره لوله ها انتقال داده می شود و در جداره لوله ها بصورت هدایت حرارتی و از جداره لوله ها به سیال عامل بصورت هدایت و جابجایی منتقل می شود که می توان گفت به دلیل سرعت زیاد سیال عامل از هدایت حرارتی که از لایه مرزی چسبیده لایه محافظ (Fe_3O_4) به جداره لوله در مقایسه با حجم زیاد انتقال حرارت که به طریق جابجایی از آن منتقل می شود چشم پوشی کرد.

اینگونه انتقال حرارت باعث متمایز شدن دیگ بخار یکبار گذر نیروگاه رامین اهواز نسبت به سایر نیروگاه های کشور شده است و به همین خاطر برای انتقال گرمای حاصله از احتراق به سیال عامل و تولید بخار فوق گرم باید محاسبات بسیار دقیقی صورت گرفته باشد تا جذب حرارت کافی به سیال عامل صورت گیرد. چرا که قدرت انتقال تشعشعی حرارتی نسبت به جذب گرما توسط انتقال جابجایی حرارتی بسیار کوچک می باشد و این دلیلی بر بالا رفتن دمای کوره برای ایجاد تعادلی بین گونه های انتقال حرارت در این دیگ بخار شده است.

غیر از متمایز بودن نحوه انتقال حرارت این دیگ بخار، ارتفاع زیاد این دیگ بخار باعث تقویت پدیده روزنانس (تشدید) می شود که خود دلیلی بر خسارت های مکانیکی و سایش لوله ها به یکدیگر می شود، که مهندس طراح این دیگ بخار توانسته با افزایش سرعت سیال مایع و پیش بینی یک اندازه خاص از فین های نگهدارنده لوله ها مانع خوبی برای جلوگیری از این نوع خسارت در لوله های دیگ بخار شده که سرعت زیاد سیال عامل باعث افزایش ویبریشن و صدای شدید در این دیگ



مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

بخار شده ولی هنوز هم می توان خطر این حادثه در شروع راه اندازی دیگ بخار که با مقدار کمتری از دبی اصلی سیال مایع راه اندازی می شود را احساس نمود.

همانطور که می دانیم سرعت حرکت سیال مایع هرچه بالاتر رود قدرت جذب حرارت جابجایی را بسیار بالا می برد و برای تبدیل آب به بخار سوپرهیت باید بیش از پیش درجه حرارت تولیدی از احتراق سوخت در این دیگ بخار را بالا ببریم و این باعث می شود که دمای بهره برداری بسیار نزدیک به T_m لوله های دیواره آبی شده و تحدید جدی برای بروز خسارت های مرزانه ای و رخداد اورهیت شدن لوله ها را به همراه داشته باشد.

در این دیگ بخار، لوله های دیگ بخار باید دارای ویژگی های خاصی همچون: T_m بالاتر 3، کربن بیشتر 4، ضریب هدایت حرارتی بالاتر 5، انعطاف ارتعاشی بیشتر 6 و مرزانه های ریزتر 7 باشد تا بتواند در مقابل خسارت های خستگی حرارتی، خزش، رسوب گذاری و خوردگی سایشی لوله ها به یکدیگر، خوردگی اسیدی، گسیختگی های لبه نازک و خوردگی سایشی جامد و مایع مقاومت بیشتری از خود نشان دهد.

حال می توانیم بگوییم که مهندس طراح این دیگ بخار با محاسبات دشواری توانسته هماهنگی میان این همه فعل و انفعالات گوناگون را بوجود آورد و همین امر باعث شده که این دیگ بخار بحالت ظریف و فانتزی طراحی شود و هرگونه تغییر بسیار، بسیاری ناچیزی در این محاسبات می تواند این تعادل فیزیکی دیگ بخار را بهم زده و باعث بوجود آمدن اورهیت در دیواره آبی این دیگ بخار شود.

هرچه از عمر این دیگ بخار سپری شود این تغییرات افزایش پیدا کرده و رخداد اورهیت، بیشتر از قبل لوله های این دیگ بخار را تحدید می کند. از آنجا که در زمان ساخت این دیگ بخار علم ساخت فولادهای آلیاژی به مانند امروزه پیشرفته نبوده نقص دیگری در این دیگ بخار بوجود آورده و آن نیز ضعف در برابر میزان حرارت تولیدی از سوخت های گوناگون می باشد. همانطور که میدانیم هرچقدر سوخت سنگین تر باشد حرارت تولیدی از سوخت آن بیشتر خواهد بود.⁹

با توجه به ضعف آلیاژی و اثبات این گفته در بررسی زمان وقوع حادثه اورهیت در زمانهایی که از سوخت مازوت که سنگین تر از گاز طبیعی بوده بجای گاز طبیعی در این نیروگاه استفاده شده، زمان کمتری برای بروز اورهیت به خود اختصاص داده است. پس در اینجا پی به این موضوع می بریم که چرا در زمانی که سوخت مازوت استفاده می کنیم بروز حادثه اورهیت شدن لوله ها افزایش می یابد.

³- دمای تحمل حرارتی فلز که با افزایش آن می توان در دمای بالاتری از فلز بهره برداری نمود.

⁴- کربن در حرارت بالا باعث ایجاد خشن شدن سطح لوله می شود و این امر چسبیدن بهتر لایه محافظ (Fe_3O_4) بر روی جداره لوله را به همراه می آورد.

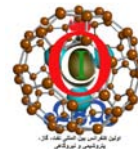
⁵- هر چقدر میزان K (ضریب هدایت حرارتی) بالاتر باشد حرارت را بهتر از خود عبور میدهد.

⁶- انعطاف پذیری بیشتر فلز باعث تاخیر در بوجود آمدن پدیده روزنانس (تشدید) می شود.

⁷- مرزانه ها هرچه به یکدیگر نزدیکتر و ریزتر باشند باعث صافتر شدن سطح لوله می شود.

⁸- منظور از تغییرات بروز اولین حادثه در دیگ بخار یکبار گذر نیروگاه رامین می باشد.

⁹- حرارت تولید شده از سوخت بستگی به نوع سوخت از نظر سبکی و سنگینی سوخت که با توجه به درجه تقطیر و وزن مخصوص سوخت تعیین می شود دارد و هرچقدر که سوخت سنگین باشد درجه حرارت تولیدی از اشتعال آن بیشتر است.



دیگ بخار یکبارگذر نیروگاه رامین در مقابل حرارت تولیدی از سوخت های سنگین تر از گاز طبیعی آسیب پذیری بیشتری داشته و یک سوخت با نداشتن استاندارد های استفاده در این دیگ بخار سهم بزرگی در خسارت های اورهیت شدن لوله های آن دارد. که به این نتیجه می رسیم که سوخت هایی که کیفیت پایینی دارند ممکن است حرارت تولید شده از سوختن آنها دارای حرارت تولیدی بالاتر یا نوساناتی داشته باشد که نه تنها باعث آسیب رساندن به لوله های دیواره آبی این دیگ بخار می باشد بلکه باعث تغییر در رژیم آب گردشی و مصرف سوخت بیشتر می شود. حتی تاثیراتی نیز بر تغییر در شکل گیری شعله تشعشعی که از مجموع شعله ها بوجود می آید نیز داشته که در بروز جریان های گردابی، جوشش نامناسب، ارتعاشات و ... عاملی تاثیر گذار خواهد بود. پس به این نتیجه می رسیم که رخداد پدیده اورهیت در لوله های این دیگ بخار روز به روز افزایش یافته و جلوگیری از آن امری امکان ناپذیر می باشد و فقط با اعمال عملکرد بهتر برنامه ریزی در چگونگی رژیم شیمیایی بویلر و بهره برداری و نگهداری آن می توان از رشد سریع اورهیت شدن لوله های این دیگ بخار جلوگیری کرد و حتی در شرایط بهتر می توان زمان بروز این حادثه را تشخیص داد و از خسارت های شدید جلوگیری نمود. در این زمان به توضیح چند نمونه از دلایل اورهیت شدن لوله های دیواره آبی این دیگ بخار می پردازیم:

3- رسوب گرفتگی

همانگونه که می دانیم دلایل زیادی برای بروز رسوب گذاری داخل لوله ها وجود دارد که نمونه هایی از این دلایل عبارتند از: تغییر در PH آب گردشی ۱۰، وجود ناخالصی در اثر جوشش نامناسب آب بخصوص در هنگام راه اندازی دیگ بخار، جمع شدن نخاله ها در اثر جوشکاری لوله ها به یکدیگر، تخریب لایه محافظ Fe_3O_4 و ... [4]. می توان میزان رسوب گرفتگی را از جزیی تا گرفتگی کامل در خم لوله ها و مناطق دیگر لوله ها پیش بینی کرد. این رسوب گرفتگی خود نیز به دلایل گوناگونی باعث اورهیت شدن لوله های دیواره آبی می شود [6]. رشد رسوب در جداره داخلی لوله باعث کاهش حجم عبوری سیال و همچنین زبری 11 بیشتر سطح داخلی لوله شده و این امر باعث تلاطم جریان سیال در اثر کم شدن دبی عبوری سیال مایع شده و این آشفتگی کمک به کاهش سرعت سیال مایع نموده است و جوشش نامناسب آن را به همراه دارد و در نتیجه حباب های هوا در مایع بوجود می آورد که با پیوستن این حباب ها پدیده ای به نام جداشدن حباب های بخار (DNB) 12 بوجود می آید که DNB به گونه های مختلفی مانند یک عایق حرارتی عمل می کند و باعث افزایش دما در جداره لوله شده و در نهایت اورهیت شدن لوله را به همراه دارد [1 و 3].

شکل 1- خوردگی قلبیایی [2]

¹⁰ - تغییر PH در آب خنثی سازی شده می تواند باعث قلبیایی شدن یا اسیدی شدن آن شود.

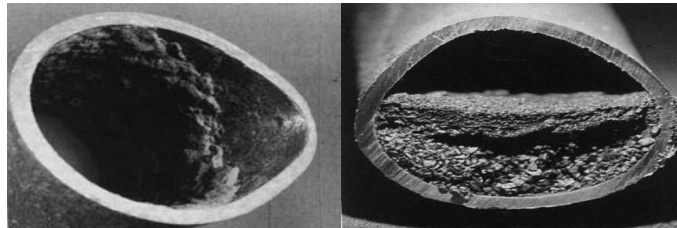
¹¹ - خشن شدن و ناهموار شدن سطح رسوب.



اگر این حباب های بوجود آمده به میزانی نباشند که DNB رخ دهد، با پیمودن مسافت بیشتری در طول لوله در مناطقی که تلاطم جریان کم شده و سرعت فاز مایع افزایش پیدا کرده است، حباب ها به واسطه نیرویی که از جریان سیال به حباب ها وارد می شود باعث ترکیدن آنها در زمانی که به لایه محافظ Fe_3O_4 چسبیده اند، می شود و باعث تخریب این لایه شده و با حمل تک های Fe_3O_4 توسط فاز مایع و تجمع آنها در منطقه ای دیگر از لوله باعث گرفتگی کامل لوله شده که باعث جلوگیری از گردش سیال درون لوله و جلوگیری از عمل خنک کاری لوله توسط سیال شده و همین امر کافی است تا تنش در قسمت بعد از گرفتگی شده و اورهیت شدن لوله را به همراه دارد [1و3].

شکل 3- رسوب گذاری [2]

شکل 2- رسوب گذاری [2]



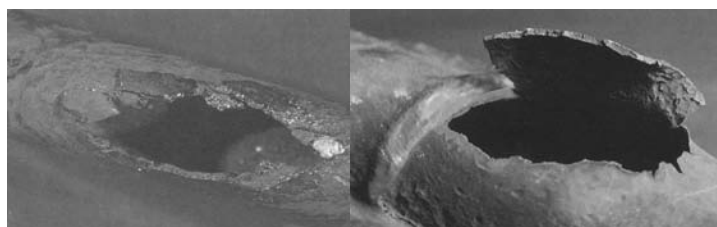
4- حمله اسیدی

بعد از اینکه لایه محافظ Fe_3O_4 در اثر ترکیدن حباب های هوا بر جداره داخلی لوله ها از بین رفته، حفره های کوچکی بوجود می آید که مکان مناسبی را برای ایجاد کوره های کوچکی برای جوشش سریع فاز مایع و تغلیظ ترکیبات آن ایجاد می کند که با اسیدی شدن بیشتر مایع خوردگی جداره لوله را بصورت کروی به همراه می آورد [5].

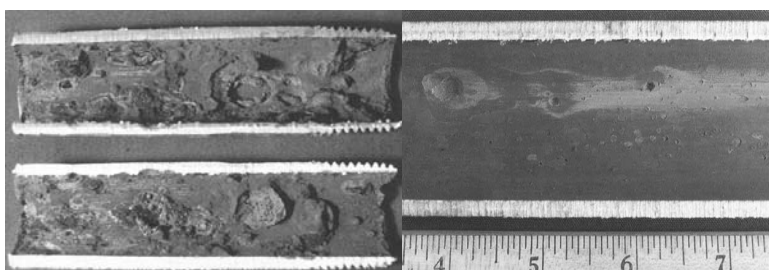
هنگامی که نقاط کاتدی و آندی در کنار یکدیگر قرار گیرند خود باعث تشدید خوردگی از نوع اسیدی می شود و این امر با نفوذ یون کلرید از رسوب غشایی باعث اسیدی تر شدن فاز مایع در محل حفره ها می باشد و امکان هر چه بیشتر شدن آندی و کاتدی شدن سطح لوله را بوجود می آورد [1و7].

همچنین در موارد دیگر ترکیب هیدروژن اسیدی با کربن لوله باعث تولید گازمتان^{۱۳} شده که گاز متان تولید شده باعث ضعف در پیوندهای مرزانه های فلز شده و شکست هیدروژنی بصورت پنجره ای را ایجاد می کند [4و5].

شکل 4- بیش گرمایش بلند مدت [2] شکل 5- حمله هیدروژنی [2]



شکل 6- خوردگی اکسیژنی [2] شکل 7- خوردگی اکسیژنی به همراه حمله اسیدی [2]



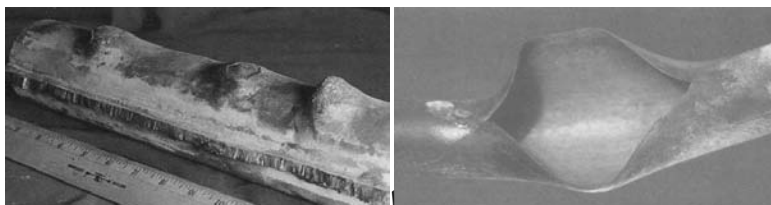
5- گسیختگی های لبه نازک

اصلی ترین عامل این نوع خسارت ها به خاطر افزایش بیش از حد ناگهانی دما جداره لوله می باشد و می توان گفت که بخاطر افزایش سریع دمای جداره لوله در سطح آن وقوع تورم و باد کردگی، در نتیجه نازک شدن جداره و کاهش استقامت لوله را به همراه دارد و ایجاد پارگی بصورت لبه نازک می کند [1و4].

بروز پارگی اجازه خروج سریع بخار را در محل پارگی داده و نیروی همانند نیروی عکس العملی ایجاد می کند که باعث خمیدگی لوله آسیب دیده در محل پارگی شده و می تواند عاملی برای آسیب رساندن به لوله های مجاور نیز باشد [4].

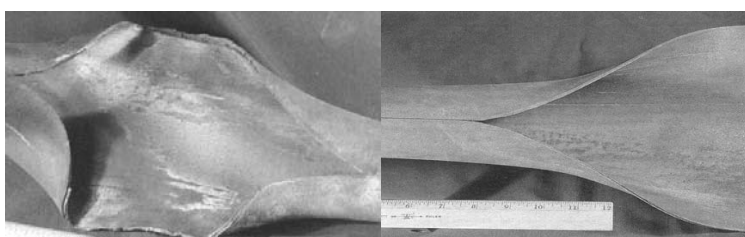
شکل 8- اورهیت کوتاه مدت [2] شکل 9- بیش گرمایش بلند مدت [2]

¹³- این واکنش با استفاده از خاصیت بیشتر شدن کاتدی و آندی سطح فلز و نفوذ هیدروژن اسیدی در مرزانه ها سبب واکنش با کاربیدهای آهن بوجود می آید.



این حادثه می تواند به دلیل گرفتگی و انسداد لوله در یک مقطع خاص، سوراخ یا نشتی ریز در سطح لوله یا در محل برخورد مستقیم شعله مشعل ها با لوله بوجود آید که در مورد گرفتگی لوله باعث جلوگیری از عبور سیال و در نتیجه مانع از خنک کاری جداره لوله شده و با افزایش دمای لوله تا بیش از دمای T_m لوله باعث اورهیت شدن لوله می شود [4].

شکل 10- بیش گرمایش کوتاه مدت [2] شکل 11- بیش گرمایش کوتاه مدت [2]



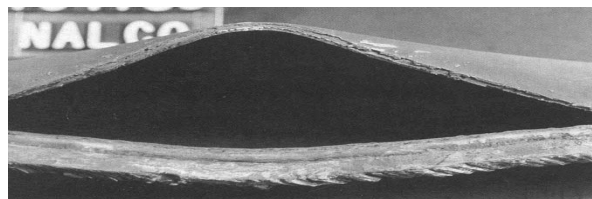
سوراخ یا نشتی ریز و برخورد مستقیم شعله باعث جوشش سریع و نامناسب سیال و بروز پدیده DNB بصورت یک حباب بزرگ در بین فاز مایع شده که مانند یک عایق حرارتی عمل کرده و دمای لوله بصورت آنی افزایش یافته است و در نهایت اورهیت شدن لوله را به همراه دارد [1].

6- تخریب خستگی ناشی از ارتعاش

بروز جریان گردابی درون لوله ها یکی از مضرترین رویدادهایی است که در جریان آب سیکل رخ می دهد و مشکلاتی از جمله DNB را به همراه دارد، که یکی از عوامل موثر در رویداد خستگی ناشی از ارتعاش بصورت غیر مستقیم می باشد و دلیل اصلی بروز تخریب خستگی ناشی از ارتعاش برخورد شدید فلوی گاز به جداره لوله می باشد که ایجاد پارگی لبه کلفت در نزدیکی مسیر خط جوش و اتصالات لوله ها به یکدیگر می باشد. این اتفاق می تواند در لوله هایی که بصورت عمودی و یا بصورت افقی نصب شده اند رخ دهد [1].

پیدا کردن عوامل این نوع شکست کاری بسیار دشوار است و برای تشخیص بهتر این موضوع با بازدید از محل حادثه که تمیز کاری سطح آن کار را برای تشخیص آسان می کند صورت می گیرد [1].

شکل 12- بیش گرمایش بلند مدت [2]



برای جلوگیری از خسارت های وارده بیشتر از این نوع تخریب بعد از وقوع اولین تخریب با استفاده از مایع نافذ، ذرات مغناطیسی و تست آلتراسونیک بر روی لوله های مجاور لوله تخریب شده که در کدام لوله ها ترک های ضخیم وجود دارد و باید تعویض شوند و کدام لوله ها ترک های با عمق کم دارند و می شود تحت شرایط بهتری دوباره از آنها بهره برداری نمود تا در یک زمان بهتر اقدام به تعویض آنها نمود [1].

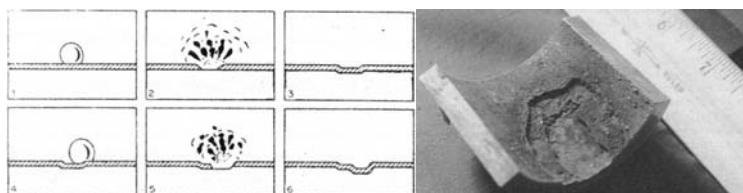
شکل ظاهری این نوع شکست که بصورت پارگی لبه کلفت و بصورت دایره ای نزدیک به محل جوشکاری و اتصالات لوله ها به یکدیگر می باشد، بسیار شبیه به شکست های ناشی از خستگی حرارتی می باشد که در لوله هایی که توسط آب اسپری خنک کاری می شوند و لوله هایی که نزدیک به ورودی اکونومایزر و سوپرهیترها هستند رخ می دهند است [1 و 4].

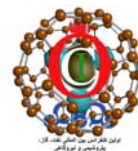
7- خوردگی سایشی

در این قسمت می خواهیم در مورد اینکه آشفته گی چگونه می تواند در نحوه بروز مشکلات و خسارت هایی همچون تلاطم (توربولانس) و خسارت های حبابی و در آخر تاثیر آنها بر شدت بخشیدن به خوردگی سایشی صحبت کنیم [1]. تلاطم یا همان آشفته گی جریان باعث برخورد بیشتر جریان مایع به جداره لوله می باشد که عاملی برای تشدید خوردگی از نوع سایشی می باشد. در واقع تلاطم (توربولانس) ظاهری شبیه خوردگی سایشی دارد با این تفاوت که وقوع آن در چند اینچ ابتدایی لوله های دیواره آبی، کندانسورها و مبدل ها می باشد [1].

آشفته گی بوجود آمده در جریان مایع می تواند باعث بروز حباب هایی در مایع شده و این حباب ها زمانی که بر روی سطح لوله نشستند و در اثر نیروی وارده از طرف سیال مایع باعث ترکیدن این حباب ها در چند مرحله بر روی یک ناحیه خاص شده و بصورتی که در هر مرحله بعد از تشکیل لایه محافظ Fe_3O_4 آن را در هر مرحله با ترکیدن حباب از بین می برد و باعث ایجاد حفره هایی با عمق مختلف بر روی سطح لوله شده که این حفره ها ایجاد سطحی خشن بر روی لوله کرده و باعث ضعیف شدن لایه Fe_3O_4 بر روی جداره لوله می شود و این امکان را به مایع می دهد تا در صورت تغییر در PH آب باعث خوردگی شدید یا بروز رسوبات بسیار چسبنده ای بر روی جداره لوله کند و در نهایت می توان گفت هر کدام از این عوامل خود به تنهایی یا به کمک هم می توانند اورهیت شدن لوله را بوجود آورند [1 و 3].

شکل 13- خوردگی قلیایی [2] شکل 14- مراحل خوردگی حبابی [3]





برای جلوگیری از بروز این نوع مشکلات می توانیم با استفاده از فولادهای مقاوم تر همچنین فولادهایی که سطح صاف تری دارند و با جلوگیری از تغییر فشار سیال مایع در لوله که باعث جلوگیری از آشفتنگی بیشتر جریان می شود و بوجود آمدن حباب در سیال مایع می توان این نوع خسارت ها را کاهش داد [3].

8- نتیجه گیری

دیگ بخار یکبارگذر واحد 6 نیروگاه رامین اهواز که دمای بهره برداری از آن نزدیک به دمای قابل تحمل آلیاژ لوله های دیواره آبی آن می باشد، تاثیر گذارترین پارامتر بر اورهیت شدن لوله های آن، نسبت به نوع سوخت مصرفی برای ایجاد احتراق در کوره این دیگ بخار از نظر درجه تقطیر، وزن مخصوص و همچنین نداشتن کیفیت مناسب و استاندارد سوخت می باشد. پارامتر های موثر بعدی آن محاسبه دقیق اندازه شعله تشعشی، که از مجموع 16 شعله مشعل آن بدست می آید و همچنین خنثی بودن آب گردشی از لحاظ PH می باشد.

9- پیشنهادات

- استفاده از سوخت گاز طبیعی و جلوگیری از استفاده سوخت مازوت به عنوان سوخت جایگزین.
- بهبود کیفیت گاز مصرفی از نظر درجه تقطیر و وزن مخصوص.
- در صورت امکان سبک سازی بیشتر گاز طبیعی مصرفی از نظر وزن مخصوص و درجه تقطیر سوخت.
- بهبود هرچه بیشتر رژیم شیمیایی آب گردشی در خنثی سازی PH آن.

مراجع

- [1] رحمانی، خسرو، (9-1388)، متالوژی شیمی و خوردگی در بویلر، چاپ اول، تهران.
- [2] سید موسوی ترشیزی ابراهیم، (1383)، بویلر و خرابی های آن، چاپ اول، تهران، شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر).
- [3] مارس، ج فونتانا، ترجمه دکتر ساعتچی احمد، (1385)، مهندسی خوردگی، چاپ سوم، تهران.
- [4] Ninth Edition, (1992), ASM Handbook Vol 11, Failure Analysis and Prevention.
- [5] EPRIREPORT, Volv, www.epri.com.
- [6] Purbolaksono J, Hong YW. NerSSM, (2009; 16:533 -537), Othman H. Ahmad B.Evaluation on reheater tube failure, Engineering Failurc Analysis.
- [7] Robert D. Port & Harvey M. Herro, (1994), the Nalco Guide to Boiler Failure Analysis, McGrew-Hill Inc.