راهکارهای جلوگیری از اورهیت شدن لوله‌های سوپرهیتر یک بویلر صنعتی

محسن مهدی‌زاده

پژوهشگاه نیرو

چکیده

پس از گاز سوز شدن یک بویلر صنعتی مشاهده گردید که لوله‌های سوپرهیتر ثانویه دچار آسیب شده و پس از مدتی گسیختگی در آنها اتفاق می‌افتد. آنالیز لوله‌های آسیب دیده نشان داد که افزایش دمای فلز عامل تخریب آنها می‌باشد. جهت بررسی و شناسایی عوامل افزایش دمای فلز آزمایشهای مختلفی همچون آنالیز رسوب، آنالیز دود خروجی، تست عملکرد، اندازه‌گیری دمای گاز داخل بویلر صورت گرفت. نتایج آزمایشها و بررسی‌ها نشان داد اندر کنش برخورد شعله با لوله‌ها و ایجاد رسوب در داخل لوله‌ها عوامل آسیب‌دیدگی لوله‌های سوپرهیتر ثانویه می‌باشند. جهت رفع و جلوگیری از اورهیت شدن لوله‌ها روشهای مختلفی همچون تنظیم مشخصات مشعل، کاهش سطوح حرارتی سوپرهیتر، بهبود رژیم شیمیایی و تغییر آلیاژ مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته تغییر جنس لوله‌های روبروی مشعل‌ها به فولاد آستنیتی، کاهش سطح حرارتی لوله‌های سوپرهیتر ثانویه (کاهش تعداد لوپ) و اصلاح رژیم شیمیایی مهم‌ترین راهکارهای جلوگیری از اورهیت شدن لوله‌های سوپرهیتر ثانویه می‌باشد.

واژه های کلیدی: بویلر، سوپرهیتر، اورهیت، مشعل، راهکار

۱- مقدمه

بویلر ۱۹۰ تنی مورد بررسی بر اساس مدارک طراحی برای دو حالت مازوت‌سوز و گازسوز طراحی شده است، به دلیل در دسترس نبودن سوخت گاز طبیعی در زمان راه‌اندازی اولیه، بویلر با سوخت گاز مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است. پس از گازسوز شدن بویلر در سالهای اخیر، لوله‌های بویلر با مشکل تخریب در بخش لوله‌های سوپرهیتر ثانویه مواجه گردیده است.

جنس لوله‌های سوپرهیتر ثانویه فولاد ASME SA-213-T22 می‌باشد که از فولادهای متداول مورد استفاده در لوله‌های سوپرهیتر است. ابعاد اولیه لوله‌ها، ۵۰/۸ میلیمتر قطر خارجی و ۴/۱۹ میلیمتر ضخامت می‌باشد. بهره‌برداری از بویلر بصورت مداوم نبوده بلکه بر اساس شرایط کارخانه خاموش و روشن می‌شود. براساس اطلاعات دریافتی ساعات کارکرد معادل بویلر ۷۰۰۰۰ ساعت می‌باشد [۱].

دما و فشار بخار خروجی از بویلر به ترتیب ۳۸۰°C و ۳ Mpa می‌باشد. اما دماهای ورودی و خروجی به سوپرهیتر یک به ترتیب حدوداً ۲۶۰ °C و ۳۴۰-۳۲۰ °C و برای سوپرهیتر ثانویه به ترتیب ۲۸۰ و ۳۸۰ می‌باشد. دمای گاز ورودی به مجموعه سوپرهیترها ۱۲۷۴ °C است.

بر اساس نتایج آزمایشها و بررسی‌های انجام شده لوله‌های سوپرهیتر ثانویه تحت مکانیزم اورهیت طولانی مدت و یا خزش قرار دارند. به عبارت دیگر دمای کاری آنها بیش از مقدار مجاز می‌باشد. جهت تعیین علل اورهیت شدن لوله‌های سوپرهیتر آزمایشها و بررسی‌هایی از جمله بازرسی چشمی، اندازه‌گیری دمای فلز و دمای گاز، آنالیز رسوب داخل لوله، آنالیز دود و تست عملکرد صورت گرفت. مهم‌ترین نتایج بدست آمده به شرح زیر می‌باشد.

- بررسی متالوگرافی لوله‌های آسیب دیده نشان داد که مکانیزم خزش عامل تخریب لوله‌ها است.
- بازرسی چشمی از داخل هدر ورودی سوپرهیتر اولیه نشان داد که در داخل هدر رسوب تشکیل شده است.
- آنالیز رسوب داخل لوله‌های سوپرهیتر بیانگر وجود عناصر مضر می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

- کیفیت آب مصرفی و رژیم شیمیایی بویلر اشکال دارد.
- کیفیت دود خروجی از بویلر، میزان مصرف سوخت گاز، راندمان بویلر و دمای گاز در محفظه احتراق تقریباً مشابه طراحی است.
- در حالت سوخت گاز شعله به شدت با لوله‌های سوپرهیتر برخورد می‌کند.
- بر اساس بررسی‌های انجام شده برخورد شعله به لوله‌ها در اثر عملکرد نامناسب مشعل‌ها و ایجاد رسوب و اخلال در جریان آب و بخار در اثر آلودگی‌های موجود در آب مصرفی بویلر و آب اسپری دو عامل آسیب‌دیدگی لوله‌ها می‌باشند.

در این تحقیق جهت رفع و جلوگیری از اورهیت شدن لوله‌ها آزمایشها و بررسی‌های مختلفی انجام گردید که در ادامه آمده است [۲-۷].

۲- تنظیم ایررجیستر مشعل‌ها

یکی از متغیرهای اصلی در تنظیم فرایند احتراق زاویهٔ پره‌های ایررجیستر اولیه و ثانویه می‌باشد که کنترل کنندهٔ میزان اختلاط سوخت و هوا، شکل شعله و نهایتاً دمای شعله است. با تغییر در این زاویه‌ها، مولفه‌های مماسی و نرمال سرعت هوا تغییر کرده و این می‌تواند سبب تغییراتی در اختلاط هوا و شکل شعله شود. در مورد بویلر مورد بررسی مشاهدات تجربی صورت گرفته حاکی از وجود شعله‌های بزرگ و کشیده‌ای بوده که زبانه‌های شعله در جاهایی به لوله‌های سوپرهیتر برخورد می‌کنند. یک راهکار می‌تواند تغییر پارامترهای احتراقی بگونه‌ای باشد که قطر شعله را بزرگ و طول آن را کوتاه نماید، در این صورت تا حدودی حرارت تولیدی را در محدودهٔ مورد نیاز نگهداشته و از افت راندمان بویلر جلوگیری شده و از طرف دیگر مانع از برخورد مستقیم شعله‌ها به لوله‌های سوپرهیتر می‌شود. برای دست‌یابی به این مهم، تغییر در زاویهٔ ایررجیسترها می‌تواند یک پارامتر مهم باشد. با بسته کردن زاویهٔ پره‌های ایررجیستر به دلیل افزایش مؤلفهٔ مماسی سرعت انتظار می‌رود که قطر شعله بزرگ و از طول آن کاسته شده و نهایتاً دمای اندازه‌گیری شده روی لوله‌های سوپرهیتر ثانویه افت کند. برای بررسی و اثبات این ادعا یکسری کارهای شبیه‌سازی کامپیوتری روی واحد مربوطه انجام گرفت و در آن‌ها نتایج تغییرات در دمای لوله‌ها با تغییر در زاویهٔ پره‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

به طور کلی در طراحی مشعل، هوای ورودی از جعبه هوا با عبور از ورق مشبکی که در دهانه ورودی هوا به مشعل تعبیه می‌شود، هوا را بدون چرخش و با کمترین نوسانات وارد مشعل می‌کند. پس از این مرحله، هوای اولیه و ثانویه هر کدام از روی پره‌هایی می‌گذرند تا مقدار چرخش مورد نظر طراح به جریان هوا اعمال شود. چرخش جریان‌های هوا در اثر زاویه پره‌های مسیر هوای اولیه و ثانویه نقش عمده‌ای بر کنترل شکل شعله دارد و با تغییر آن، طول و قطر شعله تغییر می‌کنند. در جدول (۱) و برای بار ۱۴۰ تن بر ساعت بخار تولیدی در حالت سوخت گاز، نتایج شبیه‌سازی تغییر زاویه ایررجیستر در سه حالت آورده شده است. حالت اول مربوط به کارکرد عادی بویلر و حالت‌های دیگر تغییر داده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با بستن بیشتر زاویه پره‌های داخلی و بیرونی هم دمای گاز ورودی به لوله‌های سوپرهیتر کاهش می‌یابد و هم مقدار حرارت جذب شده در محفظه احتراق افزایش خواهد داشت.

جدول ۱- نتایج تغییر زاویه ایررجیسترهای داخلی و بیرونی

حالت	زاویه پره‌های بیرونی	زاویه پره‌های داخلی	دمای ورودی به لوله‌های سوپرهیتر، °C	Total Absorption, MW
۱	۴۶	۳۶	۱۲۰۹	۳۸/۵
۲	۵۶	۴۶	۱۱۹۷	۳۹/۳
۳	۳۶	۳۶	۱۲۲۵	۳۷/۸

۲-۱- اندازه‌گیری دمای گاز

در حال حاضر برای ارزیابی وضعیت احتراق بویلر فقط آنالیز دود خروجی از بویلر صورت می‌گیرد. چون نقطه اندازه‌گیری در بیرون بویلر و در ورودی دودکش قرار دارد بنابراین اطلاعی دقیقی از وضعیت احتراق و دمای گاز در داخل بویلر در دسترس نمی‌باشد. در صورتی جهت ارزیابی وضعیت احتراق و هم چنین پیشگیری از اورهیت شدن لوله ها به آنالیز دقیق محصولات احتراق در داخل بویلر و هم چنین توزیع دمای گاز نیاز می‌باشد.

در بویلرهای موجود کشور به دلیل شرایط کاری آنها سنسوری در داخل بویلر جهت اخذ داده وجود ندارد. جهت بر طرف نمودن این محدویت سنسوری به نام ترموکوپل سرعت بالا (HVT) ساخته شده است. این سنسور قادر است دمای گاز داخل بویلر را در نواحی

Archive of SID
www.SID.ir

مختلف اندازه‌گیری نماید. علاوه بر اندازه‌گیری دمای گـاز همچنـین قادر به خارج نمودن محصولات احتـراق از داخـل بـویلر و آنـالیز آن (همچون O_2، CO و NO_X) می‌باشد (شکل ۱).

شکل۱ - ترموکوپل سرعت بالا جهت اندازه‌گیری دمای گاز بویلر

جهت صحه‌سنجی نتایج شبیه‌سـازی و بررسـی دقیـق‌تـر تـاثیر تغییر زوایای ایررجیسترها از ترموکوپل سرعت بالا جهت اندازه‌گیری دمای گاز در محـل ورود بـه لولـه‌هـای سـوپر هیتـر اسـتفاده شـد. ترموکوپل از چشمی بازدیـد وارد کـوره شـده و دمـا در تناژهـا و در فواصل مختلف اندازه‌گیری گردید. نتایج در جـدول (۲) آورده شـده است. اندازه‌گیری در سه حالـت عـادی، کـاهش ۱۰ درجـه‌ای زاویـه پره‌های بیرونی و کاهش ۱۰ درجه‌ای زاویه پره‌های داخلی و بیرونـی صورت گرفت. ملاحظه می‌گردد که بـا کـاهش زوایـه ایررجیسـترها دمای گاز کاهش قابل توجهی می‌یابد.

۳- نسوزکاری اطراف مشعل

شکل نسوزکاری اطراف مشعل تأثیر بسیار قابـل ملاحظـه‌ای بـر شکل شعله خواهد داشت. ایـن نسـوزکاری در واقـع هـدایت کننـدهٔ مشعل به درون محفظهٔ کوره بوده و با کنترل ابعاد هندسی نسـوزها به نوعی می‌توان شـکل شـعله را تغییـر داد. قطـر و طـول شـعله از پارامترهایی هستند که تا حدودی با کمک نسوزکاری اطراف مشعل قابل کنترل می‌باشند. به صورت خیلی سـاده بـا تنظـیم نسـوزکاری بگونه‌ای که دهانهٔ آن بسته‌تر باشد (کاهش شیب سطح درون نسوز) می‌توان تا حدودی قطر شعله را کم کرده ولـی طـول آن را افـزایش داد یا بعبارت دیگر شعله بسته‌تر خواهد شد و بالعکس. در این مورد خاص یعنی بحث اورهیت شدن لولـه‌هـای سـوپرهیتر طویـل شـدن شعله می‌توانند تا حدودی تأثیر معکوس داشته باشد و سبب برخورد شعله‌ها به لوله‌های سوپرهیتر شود. بنابراین، بهتر اسـت بـرای دوری از این موضوع و رفع مشکل، تنظیمـات را بگونـه‌ای تغییـر داد مـثلاً دهانه را بازتر نمود که قطر شعله افزایش یافته و از طول آن کاسـته شـود و بـدین ترتیـب تـا حـدودی از برخـورد شـعله بـه لولـه‌هـای سوپرهیتر و اورهیت شدن آن‌ها جلوگیری نمود. بنابراین نسـوزکاری اطراف مشعل یک پـارامتر کلیـدی و همچنـین قابـل تغییـر و قابـل کنترل جهت رفع نمودن مشکل بیش گرمایش لوله‌هـای سـوپرهیتر بوده و مناسب نبودن آن می‌تواند سبب اورهیت شدن لوله‌ها شـود و یا در صورت اورهیـت شـدن لولـه‌هـا بـا تغییراتـی در تنظیمـات آن می‌توان مشکل را برطرف نمود.

شرکت سازنده بویلر نقشـه هندسـی خاصـی جهـت نسـوزکاری اطراف مشعل‌ها ارائه کرده است. مطابقت ابعاد و طرح داده شـده در نقشه و نسوزکاری فعلی مشعل‌ها نشان می‌دهد که تفاوت آشـکاری وجود دارد. با توجه به اینکـه در حـال حاضـر شـعله مشـعل‌هـا بـه لولـه‌هـای سـوپرهیتر برخـورد مـی‌نمایـد یکـی از روشـهای رفـع و جلوگیری از برخورد، اصلاح هندسـه نسـوزکاری اطـراف مشـعل‌هـا مطابق دستورالعمل سازنده می‌باشد (شکل ۲).

شکل ۲- نسوزکاری اطراف مشعل

۴- نشت هوا از مسیرهای خارج از ایررجیستر

یکی از مسائل دیگری که به تنظیمات مکانیکی مشعل‌ها مرتبط بوده و می‌تواند تـا حـدود روی فراینـدهای احتراقـی درون محفظـه کوره تأثیرگذار باشد نشت هوا از مسیرهای خارج از ایررجیسترها به درون محفظه می‌باشد. این موضوع به دلیل عدم سید بودن مناسـب

www.SID.ir

مشعل‌ها رخ داده و در اثر آن هوا از درزهای بین مشعل و تونل باد وارد محفظهٔ کوره می‌شود. این هوا بدین دلیل اینکه از مسیرهایی خارج از مسیر ایررجیسترها به محفظه کوره وارد می‌گردد، می‌تواند مشکلاتی را بوجود آورد. برای رفع این مشکل همانگونه که مشخص است باید از سیدبندی درست مشعل در موقعیت مناسب و عدم نشت هوا از مجاری اطراف مشعل به درون محفظه اطمینان حاصل نمود. برای اطمینان حاصل شدن از حذف تأثیر این پارامتر باید مشعل بطور مناسب در موقعیت خود قرار گیرد و از نشت هوا در مسیرهای فرعی جلوگیری گردد.

۵- بررسی کاهش سطح حرارتی لوله‌های سوپرهیتر

شعله سوخت مایع شدیداً تشعشعی است و حدود ۶۵ درصد انرژی تشعشعی دارد در حالیکه شعله گازی، شعله‌ای دارای ۳۰ درصد انرژی تشعشعی است. به همین دلیل دمای محصولات خروجی سوخت گاز بیش از سوخت مایع می‌باشد. این عامل خود در اورهیت شدن لوله‌ها تاثیرگذار است. لذا یکی از روشهای جلوگیری از اورهیت شدن لوله‌های بویلر افزایش حجم سیال عبوری از لوله‌ها است. بدین صورت که افزایش حجم سیال باعث می‌گردد که گرمای بیشتری از فلز لوله جذب سیال شده و از بالا رفتن دمای فلز لوله جلوگیری نماید. جهت بررسی تاثیر کاهش سطح حرارتی لوله‌ها از دو روش محاسباتی و شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده گردید. لوله‌های سوپرهیتر ثانویه بویلر مورد بررسی از ۲۶ لوپ تشکیل شده که هر لوپ شامل دو لوله مجزا می‌باشد. در شبیه‌سازی کامپیوتری و برای بار ۱۴۰ تن سوخت گاز، سه حالت به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت که در آنها قطر و تعداد لوله‌ها تغییر داده شده است.

حالت اول: قطر لوله‌ها ۶۰/۳ میلیمتر و تعداد ۲۶ لوپ

حالت دوم: قطر لوله‌ها ۵۰/۸ میلیمتر و تعداد ۲۶ لوپ

حالت سوم: قطر لوله‌ها ۵۰/۸ میلیمتر و تعداد ۲۳ لوپ

میانگین دمای فلز لوله‌های سوپرهیتر در سه حالت مذکور، در جدول (۳) آورده شده است. با افزایش قطر لوله‌ها به ۶۰/۳ میلیمتر، سرعت بخار در داخل لوله‌ها کاهش یافته و نرخ خنک کاری لوله به تبع آن کاهش می‌یابد. در صورتی که مشاهده می‌شود با کاهش تعداد لوپ و افزایش دبی بخار در لوله‌های باقیمانده دمای فلز کاهش یافته است. پروفیل دمای فلز در حالت سوم در شکل (۳) و دمای ماکزیموم فلز سوپرهیتر ثانویه برای حالت فوق در شکل (۴) نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که با کاهش ۱۲ درصدی سطح حرارتی دمای فلز لوله‌های سوپرهیتر حدود ۱۱ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد.

جدول ۳- برآورد اثر قطر لوله و تعداد آن بر دمای ماکزیموم فلز سوپرهیترها

قطر اسمی لوله (میلیمتر)	۶۰/۳	۵۰/۸	۵۰/۸
تعداد لوله‌ها	۲۶	۲۶	۲۳
دمای سوپرهیتر اولیه، ^{o}C	۳۷۱	۳۴۱/۸	۳۳۹/۹
دمای سوپرهیتر ثانویه، ^{o}C	۴۰۷/۶	۳۸۳/۴	۳۷۲/۸

علاوه بر روش کامپیوتری از روش محاسباتی نیز جهت بررسی تاثیر کاهش حرارتی استفاده گردید. در جدول (۴) نتایج محاسبات کاهش سطح حرارتی لوله‌های سوپرهیتر ثانویه در دو تناژ ۱۴۰ و ۷۰ تن آورده شده است. از محاسبات انجام شده موارد زیر حاصل می‌گردد.

۱- در اثر کاهش دادن تعداد لوپ دمای سطح مبدل حدود ۲۰ درجه سانتیگراد در حالت با لایه اکسیدی داخلی و حدود ۱۲ درجه در حالت بدون لایه اکسیدی کاهش می‌یابد.

۲- در اثر کاهش دادن تعداد لوپ دبی آب پاششی کاهش می‌یابد.

۳- در اثر کاهش دادن تعداد لوپ دمای بخار ورودی به سوپر هیتر ثانویه افزایش می‌یابد.

۶- تغییر جنس لوله‌ها

با توجه به اینکه آلیاژهای مختلف محدوده‌های دمایی سرویس مجاز متفاوتی دارند، بنابراین قطعاً یک عامل مؤثر در عمر سرویس آلیاژهای مختلف در دماهای بالا ترکیب شیمیایی آن‌ها می‌باشد. بدین صورت که ممکن است برای یک آلیاژ در دمای ۴۵۰ سانتیگراد اورهیت موضعی و انهدام زود هنگام رخ دهد ولی اگر همین آلیاژ را با آلیاژ دیگری که دارای ۵۰ درجه سانتیگراد دمای

Archive of SID

www.SID.ir

مجاز کاری بالاتر است جایگزین نمائیم مشکل فوق رفع گردد. پس تغییر جنس لوله‌های سوپرهیتر می‌تواند به عنوان یک راهکار جهت رفع مشکل اورهیت این لوله‌ها مدنظر قرار گیرد. تنها مسئله‌ای که می‌تواند موضوع فوق را محدود نماید مسائل اقتصادی است زیرا آلیاژهایی که محدودهٔ دمایی مجاز بالاتری دارند اکثراً گرانتر بوده و تعویض کل سیستم شامل هزینه‌های بالایی خواهد شد. در این خصوص چند نکته را می‌توان لحاظ نمود. یک نکته این است که صرف هزینهٔ فراوان و تغییر ترکیب شیمیایی تا چه حدود می‌توان زمان سرویس‌دهی را بهبود بخشد و آیا برای این میزان افزایش عمر سرویس صرف این هزینه معقول است یا خیر، و نکتهٔ دیگر اینکه در بسیاری از موارد نیاز نیست که کل مجموعه تغییر جنس داده شوند و تنها در نواحی خاص لوله‌های سوپرهیتر که در معرض مستقیم شعله هستند و آن هم اغلب در زانویی‌ها تغییر جنس لوله می‌تواند بسیار مفید واقع گردد که در این حالت می‌توان یک قسمت کوچکی از لوله‌های سوپرهیتر را با لوله‌های با دمای مجاز کاری بالاتر تعویض نمود که این هم معمولاً شامل صرف هزینهٔ گزافی نخواهد شد.

مواد رایج در ساخت لوله‌های سوپرهیتر را می توان به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

۱- فولادهای کربنی

۲- فولادهای کربن-مولیبدن

۳- فولادهای کم آلیاژ مقاوم در برابر خزش

۴- فولادهای زنگ نزن

در حال حاضر جنس لوله‌های سوپرهیتر مورد استفاده فولاد کروم-مولی ASME SA213 T22 می‌باشد که از فولادهای معمول جهت استفاده در بویلر می‌باشد. اگر بتوان این فولادها را با فولادهای سوپرکروم یا فولادهای آستنیتی جایگزین نمود عمر سرویس‌دهی آن‌ها به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت، زیرا فولادهای آستنیتی به عنوان نمونه دمای مجاز کاریشان حدود ۱۶۰ درجهٔ سانتیگراد بیشتر از فولادهای سادهٔ کرم-مولی است که این مقدار تفاوت دمای مجاز بسیار چشمگیر و حائز اهمیت است. ولی قیمت این فولادها نیز بسیار بالاتر از فولادهای کرم-مولی می‌باشد. برای اینکه بتوان در این واحد بخصوص از مزایای فولادهای آستنیتی و سوپرکروم استفاده نمود ضمن اینکه هزینه‌ها را نیز خیلی افزایش نداد، در قسمت‌های که اورهیت شدن موضعی از این مناطق رخ می‌دهد می‌توان لوله‌های کرم-مولی را با لوله‌های مذکور جایگزین نمود. نکته قابل توجه بحث جوشکاری فلزات غیرهمجنس است. لازم است تا مطابق دستورالعمل و با دقت کافی صورت پذیرد. بر اساس خواص متالورژیکی و مکانیکی آلیاژهای مختلف، فولادهای آستنیتی SA-213-TP347H و SA213-TP321H جایگزنی‌های مناسبی برای فولاد SA213-T22 می‌باشند.

۷- تغییر و یا اصلاح رژیم شیمیایی

وجود ناخالصی‌ها در آب مورد استفاده منجر به تشکیل رسوب‌هایی درون درام‌ها، لوله‌های واتروال، لوله‌های سوپرهیتر اولیه و ثانویه خواهد شد که این رسوب‌ها روی سیکل آب و بخار درون لوله‌ها و انتقال حرارت از محفظهٔ کوره به لوله‌ها به شدت تأثیرگذار خواهد بود. تأثیر آن بر سیکل بدین صورت که رسوب گرفتگی درون لوله‌ها از جریان یافتن پایا و یکنواخت درون لوله‌ها جلوگیری خواهد نمود. اگر میزان رسوب گرفتگی خیلی زیاد باشد می‌تواند بکلی جریان بخار درون لوله‌ها قطع شود که این موضوع منجر به اورهیت در سیستم خواهد شد. اگر میزان رسوب گرفتگی موضعی بوده و خیلی شدید نباشد، می‌تواند الگوی جریان را تغییر دهد و دبی و جریان بخار در نواحی مختلف را تغییر دهد و در برخی مناطق نزدیک به نواحی رسوب گرفته مناطق مرده یا بحرانی ایجاد نماید که با ادامهٔ عملکرد در شرایط فوق، این نواحی بحرانی دچار اورهیت موضعی و انهدام زود هنگام خواهند گردید. تأثیر رسوب‌گذاری درون لوله‌ها بر سیکل انتقال حرارت هم بدین صورت است که از قابلیت انتقال حرارت سمت آتش به بخار درون لوله‌ها کاسته خواهد شد زیرا لایهٔ رسوب داخلی به صورت یک عایق در این میان عمل خواهد نمود و یک گرادیان بالای دمایی در جدارهٔ لوله‌ها ایجاد می‌گردد.

در مورد بویلر مورد بررسی بازرسی چشمی هدرهای ورودی سوپرهیتر ثانویه، بررسی ریزساختاری لوله‌های سوپرهیتر و هم چنین راسب شدن رسوب در داخل لوله‌های مسدود شده نشان می‌دهند که در داخل هدرها و لوله‌های سوپرهیتر رسوب وجود دارد. وجود رسوب همراه با لایه اکسیدی داخلی به دلیل ضریب انتقال حرارت پایین آن منجر به افزایش دمای فلز و اورهیت شدن لوله‌ها و هم چنین باعث اختلال در جریان بخار می‌گردد. وجود رسوب در لوله‌های سوپرهیتر ثانویه دو دلیل می‌تواند داشته باشد

Archive of SID

www.SID.ir

یکی کیفیت نامناسب آب مورد استفاده در دی‌سوپرهیتر و دیگری وجود Carry over در داخل درام بخار. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته هر دو عامل امکان پذیر می‌باشند. از سوی دیگر آنالیز شیمیایی رسوب داخل لوله‌های مسدود شده نشان می‌دهد که رسوب حاوی عناصر مضر زیادی می‌باشد.

بررسی سابقه موضوع در بویلرهای مشابه در صنایع دیگر، گرفتگی شدید لوله‌های بین دو درام در اکثر واحدها و نتایج آزمایشهای انجام شده نشان می دهند که آب کندانس شده (یا آب برگشتی از فرآیند تولید) دارای آلودگی‌های قابل توجهی است. همچنین بررسی آماری و آنالیز رسوب داخل بین لوله‌های بین دو درام نشان می‌دهد که آلوده بودن آب برگشتی باعث مصرف بیش از اندازه مواد افزودنی گردیده است. مصرف بیش از اندازه مواد افزودنی خود باعث مشکلات دیگر و رسوب بیشتر در لوله‌ها می‌شود. در مجموع این نتیجه حاصل می‌گردد که وجود آلودگی در آب ورودی به بویلر، نامناسب بودن کیفیت آب مصرفی در دی‌سوپرهیترها و بالا بودن میزان مصرف مواد افزودنی در رژیم شیمیایی مورد استفاده باعث اختلال در گردش بخار و ایجاد رسوب و لایه اکسیدی در سطح داخلی لوله‌های سوپرهیتر می‌گردد. این پدیده در تشدید و سرعت بخشیدن به رخداد اورهیت شدن لوله‌های سوپرهیتر ثانویه نقش قابل توجهی دارد.لازم به ذکر است که تشکیل لایه اکسیدی داخلی با افزایش دما با هم اندرکنش داشته و همدیگر را تشدید می‌نمایند.

جهت جلوگیری از ورود آلودگی و عناصر مضر به داخل سیکل آب و بخار بویلر و تشکیل رسوب در داخل لوله‌ها، راهکارهای اجرایی استفاده از آب مناسب در بخش دی‌سوپرهیتر و تغییر و یا اصلاح رژیم شیمیایی مورد استفاده است.

۸- راهکارهای اجرایی جهت رفع آسیب‌دیدگی لوله‌های سوپرهیتر

طراحی نامناسب مشعل‌ها برای سوخت گاز باعث کشیدگی شعله به سمت لوله‌های سوپرهیتر و برخورد شعله با لوله‌ها و در نهایت اورهیت شدن آنها می‌گردد. جهت رفع این عیب راه حل اساسی تغییر مشعل‌ها و استفاده از مشعل‌هایی است که با هر دو سوخت مازوت و گاز طبیعی و با توجه به نوسانات شدید بار بویلر، عملکرد مناسبی داشته و پارامترهای تنظیم کننده و کنترلی آن بگونه‌ای باشد که مانع برخورد شعله با لوله‌ها گردد. راه حل ذکر شده گرچه بهترین روش است اما مستلزم هزینه بسیاری است که از لحاظ اقتصادی به صرفه نمی‌باشد مگر اینکه تعداد توقف‌های اجباری و هزینه تعمیرات بسیار افزایش یابد که در آن صورت تعویض مشعل‌ها توجیه اقتصادی دارد. در غیر این صورت جهت کاهش میزان آسیب‌دیدگی، به تعویق انداختن و افزایش زمان بهره‌برداری براساس بررسی‌ها و محاسبات انجام شده به ترتیب اولویت موارد زیر توصیه می‌گردد.

۱- تغییر جنس دو لوله ردیف اول روبروی مشعل‌ها به جنس فولاد آستینتی SA213-TP347H و یا SA213-TP321H
۲- کاهش ۱۲ درصدی سطح حرارتی لوله‌های سوپرهیتر ثانویه (کاهش تعداد لوپ)
۳- بستن ده درجه‌ای زاویه پره‌های ایررجیسترهای بیرونی
۴- استفاده دائمی از هیترها

استفاده از هیترها نه تنها باعث افزایش دمای آب ورودی به بویلر و کاهش دمای گاز در ورودی لوله‌های سوپرهیتر می‌شود؛ بلکه آب با کیفیت مناسب برای دی‌سوپرهیترها تامین می‌نماید.

۵- بازسازی دیرگذارهای اطراف مشعل‌ها مطابق نقشه سازنده جهت بهبود شکل شعله
۶- جلوگیری از نشت هوا غیر از مسیر ایررجیسترها
۷- کالیبره کردن سنسورهای مرتبط با عملکرد مشعل‌ها
۸- تنظیم و تمیزکاری اجزای مشعل‌ها

لازم است سوخت مصرفی در بازه زمانی سه ماهه مورد آنالیز قرار گرفته و در صورت تغییر آن، نسبت به تغییر پارامترهای احتراق اقدام شود.

جهت جلوگیری از ورود آلودگی و عناصر مضر به داخل سیکل آب و بخار بویلر و تشکیل رسوب در داخل لوله‌ها راهکارهای زیر به ترتیب اولویت توصیه می‌گردد.

۱- تغییر و یا اصلاح رژیم شیمیایی
۲- استفاده از آب مناسب در بخش دی‌سوپرهیتر
۳- اندازه‌گیری میزان رسوب در واحد سطح لوله‌های واتروال و سوپرهیتر و در صورت نیاز اسیدشویی لوله‌ها

Archive of SID
www.SID.ir

۴- جلوگیری از ایجاد پدیده Carry Over در داخل درام بخار

۹- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به راهکارهای رفع آسیب‌دیدگی لوله‌های سوپرهیتر ثانویهٔ یک بویلر ۱۹۰ تنی صنعتی پرداخته شد. مسئلهٔ بیش‌گرمایش لوله‌ها از سه دیدگاه مورد بررسی قرار گرفت: فرایند احتراقی، جریان بخار و رژیم شیمیایی سیکل آب و بخار. در گروه اول که از اهمیت بسیار بالایی هم برخوردار بودند اشاره شد که در این زمینه تغییر در زاویهٔ پره‌های ایررجیستر اولیه و ثانویه و همچنین هندسهٔ مشعل‌ها از جمله متغیرهای اساسی هستند که با تنظیم آن‌ها می‌توان تا حدودی شکل و دمای شعله‌ها را کنترل نمود تا از برخورد شعله به لوله‌های سوپرهیتر و اورهیت آن‌ها جلوگیری گردد. در دستهٔ دوم با بهسازی در الگوی جریان آب و بخار درون لوله‌های بویلر می‌توان تا حدود زیادی مشکل را مرتفع نمود. در این زمینه متغیرهایی مانند تعداد لوپ‌ها، جنس لوله‌ها و استفادهٔ موضعی از فولادهای با دمای مجاز کاری بالا مانند فولادهای آستنیتی و همچنین تغییر در دبی بخار درون لوله‌ها مطرح می‌باشند. در این خصوص تغییر تعداد لوپ‌ها و همچنین تغییر در جنس در نواحی حرارتی بحرانی از پارامترهای اساسی می‌باشند. در دستهٔ سوم بحث تأثیرات رسوب گرفتگی درون لوله‌های بویلر مطرح بود که این موضوع می‌تواند سیکل انتقال حرارت و سیرکولاسیون درون لوله‌ها را تحت تأثیر خود قرار دهد و رسوب‌ها با اختلال در سیرکولاسیون بخار درون لوله‌ها و همچنین ممانعت از انتقال حرارت مؤثر به بخار درون لوله‌ها به صورت یک لایهٔ عایق سبب بالا رفتن موضعی دما در نواحی رسوب گرفته و نهایتاً اورهیت موضعی می‌شوند. جهت رفع این موضوع می‌توان در رژیم شیمیایی مخلوط آب و بخار ورودی تجدید نظر نمود و برخی ناخالصی‌ها را با عملیات تصفیهٔ تکمیلی قبل از ورود آب و بخار به بویلر حذف کرد.

۱۰- منابع و مراجع

۱- اسناد بویلر مورد بررسی

۲- مهدی‌زاده، محسن و مرادی، مهدی، بررسی علل اورهیت شدن لوله‌های سوپرهیتر یک بویلر صنعتی، بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۹۳.

۳- گزارشهای پروژه بررسی علل آسیب‌دیدگی لوله‌های بویلر، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۳.

4- R.Viswanathan, Damage mechanisms and life assessment of high temperature components, ASM Int., 1989.

4- D.N.French, Metallurgical failures in fossil fired boilers, 1983, Jhon Wiley and Sons.

6- R.D Port and H.M. Herro, The Nalco guide to boiler failure analysis, McGrew-Hill, 1991.

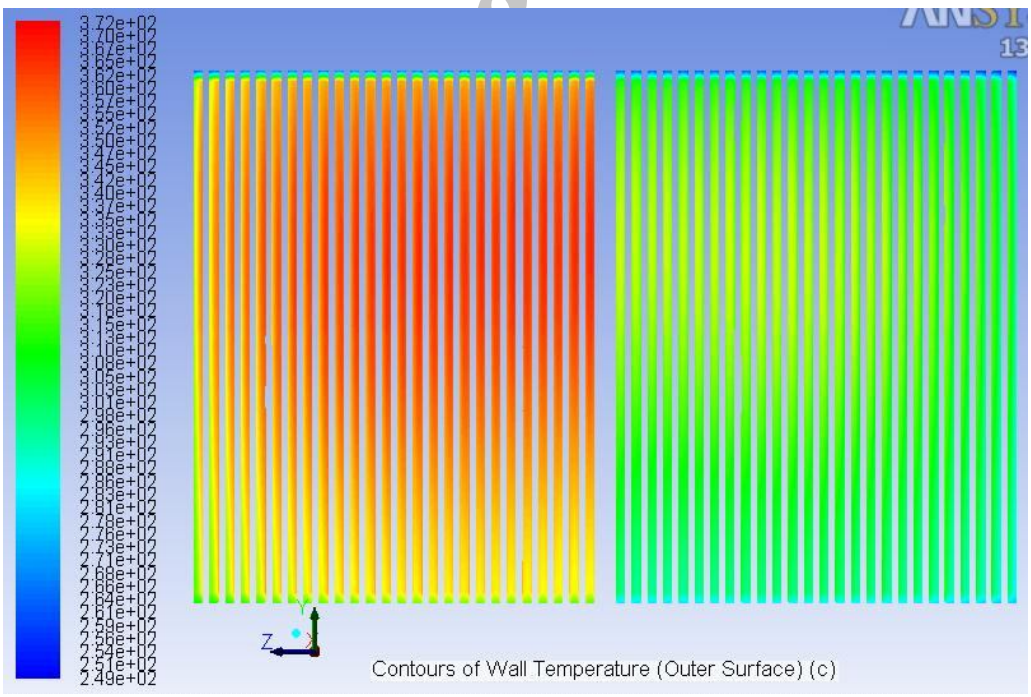
۷- موسوی، سید ابراهیم، سوپرهیترها، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۷.

Archive of SID

www.SID.ir

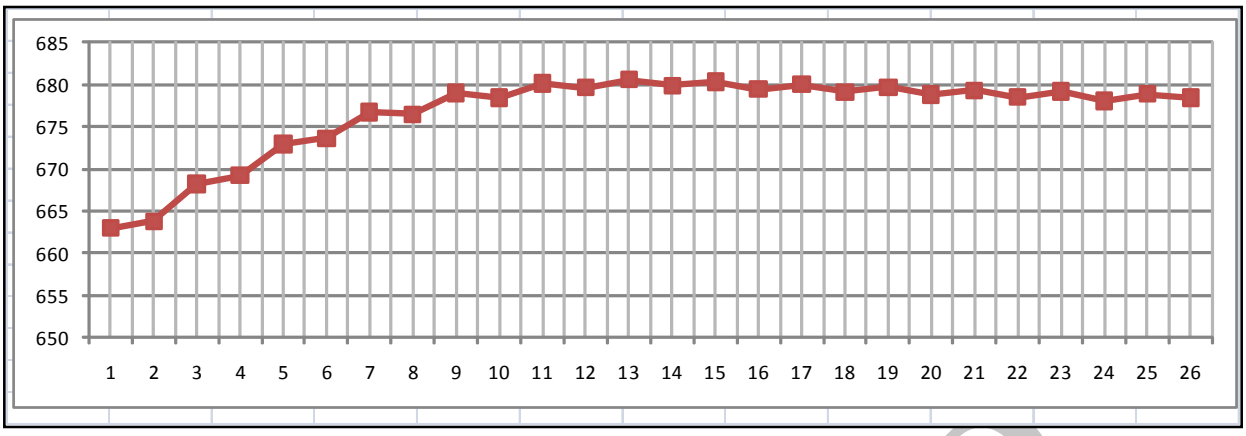
جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری دمای گاز بویلر در تناژهای مختلف (درجه سانتیگراد)

تناژ بخار ton/h	تعداد برنر	ایررجیستر	نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳	نقطه ۴	نقطه ۵	نقطه ۶	میانگین دما
			سوپرهیتر ثانویه		وسط		سوپرهیتر اولیه		
80	3	عادی	1034	1104	1161	1169	1172	1082	1120
	3	بیرونی ۱۰-	1032	1093	1112	1150	1167	1137	1115
	3	بیرونی ۱۰- داخلی ۱۰-	1028	1031	1053	1091	1113	1063	1063
100	4	عادی	1106	1163	1198	1196	1177	1105	1158
	4	بیرونی ۱۰-	1126	1181	1184	1176	1126	1065	1143
	4	بیرونی ۱۰- داخلی ۱۰-	1073	1134	1161	1148	1122	1119	1126
140	4	عادی	1212	1225	1253	1231	1179	1220	1212
	4	بیرونی ۱۰-	1159	1210	1233	1250	1225	1150	1205
	4	بیرونی ۱۰- داخلی ۱۰-	1157	1194	1229	1232	1231	1182	1204



شکل ۳- پروفیل دمای فلز لوله‌های سوپرهیترهای اولیه و ثانویه برای حالت سوم

www.SID.ir



شکل ۴- دمای ماکزیموم فلز لوله سوپرهیتر ثانویه در حالت سوم (کلوین)

جدول ۴- نتایج محاسبات کاهش دادن تعداد لوله‌ها در سوپرهیتر ثانویه

بار بویلر Ton/h	تعداد لوپ	بار حرارتی Kw/m^2	دمای بخار ورودی، °C	ضریب انتقال حرارت داخلی، $W/m^2.°C$	متوسط دمای سطح با لایه اکسیدی داخلی، °C	متوسط دمای سطح بدون لایه اکسیدی داخلی، °C	دبی آب پاششی Ton/h
140	26	58.5	275.0	1018.0	533.7	383.3	8.45
140	25	56.5	278.7	1115.5	526.2	377.7	7.79
140	24	54.0	282.4	1152.5	518.5	375.8	7.20
140	23	51.0	294.1	1192.4	515.2	370.8	4.20
70	26	29.3	275.0	621.50	450.8	374.6	4.22
70	25	28.2	278.7	641.30	446.7	370.8	4.00
70	24	26.0	282.4	662.60	438.0	365.4	3.60
70	23	23.0	294.1	685.90	430.4	362.8	2.11

Archive of SID

www.SID.ir