

بررسی اثربخشی سندبلاست کویل‌های سوپرهیترهای بویلر نیروگاه حرارتی شازند

محمود رحیمی^۱

شرکت مدیریت تولید برق شازند

mahmoodrahimi45@gmail.com

چکیده

سوپر هیترها و ری هیترها از اجزای اصلی و بسیار مهم در بویلرهای صنعتی به شمار می روند. وظیفه اصلی این المانهای حرارتی انتقال انرژی حرارتی به بخار اصلی است که با توجه به طراحی بویلر بخشی از این انتقال حرارت به صورت تشعشعی و بخشی دیگر به صورت کنوکسیون منتقل می شود. در اکثر نیروگاههای حرارتی کشور از سوخت مازوت به صورت عمده استفاده می شود که در صورت مداومت استفاده تبعات جبران ناپذیری بواسطه ی خوردگی های حاصل از احتراق این سوخت در بویلرها صورت می پذیرد. یکی از تبعات مهم استفاده از این سوخت علی رغم استفاده بهینه از سیستم دوده زدا، رسوب محصولات احتراق بر روی کویل‌های سوپر هیترها و ری هیترهاست که بویلر را با دو چالش جدی مواجه می کند: ۱- کاهش ضریب انتقال حرارت به واسطه انباشت محصولات احتراق روی کویلها و ۲- پدیده خوردگی داغ در این المانها به واسطه وجود نمکهای مذاب نظیر پنتا اکسید وانادیم. به منظور کاهش اثرات ذکر شده به روشهای مختلف سعی می شود رسوبات خارجی انباشت شده روی این المانها حذف گردد. سندبلاست این کویلها یکی از روشهای معمول است که در نیروگاه حرارتی شازند انجام شده و نتایج حاصل از آن رضایت بخش بوده است.

واژه های کلیدی: سوپر هیتر، ری هیتر، نمکهای مذاب، خوردگی داغ

^۱ کارشناس مدیریت انرژی و کارایی تجهیزات بویلر

۱- مقدمه

سوپر هیترها و ری هیترها از اجزای اصلی و بسیار مهم در بویلرهای صنعتی به شمار می روند. وظیفه اصلی این المانهای حرارتی انتقال انرژی حرارتی به بخار اصلی خروجی بویلر به سمت توربین است که با توجه به طراحی بویلر بخشی از این انتقال حرارت به صورت تشعشعی و بخشی دیگر به صورت کنوکسیون منتقل می شود. در اکثر نیروگاههای حرارتی کشور از سوخت مازوت به صورت عمده استفاده می شود که در صورت مداومت استفاده تبعات جبران ناپذیری بواسطه ی خوردگی های حاصل از احتراق این سوخت در بویلرها صورت می پذیرد. یکی از تبعات مهم استفاده از این سوخت علی رغم استفاده بهینه از سیستم دوده زدا، رسوب محصولات احتراق بر روی کویلهای سوپر هیترها و ری هیترهاست که بویلر را با دو چالش جدی مواجه می کند: ۱- کاهش ضریب انتقال حرارت به واسطه انباشت محصولات احتراق روی کویلها و ۲- پدیده خوردگی داغ^۱ در این المانها به واسطه وجود نمکهای مذاب نظیر پنتا اکسید وانادیم و سولفات های سدیم. به منظور کاهش اثرات ذکر شده به روشهای مختلف سعی می شود رسوبات خارجی انباشت شده روی این المانها حذف گردد. سندنابلست این کویلها یکی از روشهای معمول است که در نیروگاه حرارتی شازند انجام شده و نتایج حاصل از آن رضایت بخش بوده است.

سندنابلست مذکور با حدود ۱۰ تن مس باره گرید 2mm و در حدود ۲.۵ تن مس باره گرید 3mm و در سه نوبت انجام شده است.

نحوه قرارگیری سوپر هیترهای بویلر نیروگاه شازند:

به منظور خشک کردن بخار خروجی از درام، آن را وارد سوپر هیتر می کنند. قابل ذکر است به منظور استفاده بهتر از محصولات احتراق و در نتیجه افزایش راندمان سیستم، بویلر را به دو پاس (pass) تقسیم می کنند. این دو

پاس بویلر را به دو قسمت عمودی تقسیم می کند. در پاس یک دمای محصولات احتراق نسبت به پاس دو بیشتر است.

بخار پس از خارج شدن از درام وارد سوپر هیتر روف (Roof S.H) می شود و همانطور که از اسم آن مشخص است در سقف کوره قرار دارد. بخار پس از گرمایش در این سوپر هیتر وارد سوپر هیتر (Rear pass Wall S.H) می شود که در پاس ۲ بویلر قرار دارد. این سوپر هیتر شامل لوله هایی است که از سوپر هیتر روف تا پائین بویلر که به سوپر هیتر دما پائین متصل است کشیده شده اند.

سوپر هیتر دما پائین (Low Temperature S.H) نیز در پاس دو قرار دارد و شامل ۵ بخش است. پس از خروج بخار از سوپر هیتر دما پائین بخار وارد سوپر هیتر پلاتن (Platen) می شود که تنها سوپر هیتر تشعشعی در بویلر نیروگاه شازند است. این سوپر هیتر نیز شامل ۲ بخش است و دقیقاً در بالای محفظه ی احتراق قرار دارد. پس از خروج بخار از این سوپر هیتر بخار وارد آخرین بخش سوپر هیترها می شود که سوپر هیتر فاینال (Final) می شود. در انتهای بخش سوپر هیترها بخار با دمای ۵۴۰ درجه سانتیگراد و فشار ۱۷/۱ مگاپاسکال از بویلر خارج می شود. همچنین بویلر نیروگاه شازند دارای سیکل ری هیت است که شامل دو بخش ری هیت اولیه و ثانویه است که هر دو در پاس ۱ بویلر قرار دارند.

طرح مسأله

با توجه به آزمایشها و مطالعات انجام شده در نیروگاه حرارتی شازند بخشی از رسوبات انباشت شده روی المانهای حرارتی از ترکیبات وانادیم به صورت V_2O_5 (پنتا اکسید وانادیم) و Na_2SO_4 (سولفات سدیم) هستند. عامل بوجود آورنده این رسوبات وجود ناخالصیهایی نظیر وانادیم، سدیم و گوگرد در ترکیبات سوخت مازوت است. این عناصر پس از حضور در محفظه ی احتراق و شرکت در فرایند احتراق به صورت V_2O_5 و Na_2SO_4 در محصولات احتراق ظاهر می شوند. این ترکیبات در دمای ۵۴۵ درجه سانتیگراد به نقطه ذوب می رسند و تشکیل یک ترکیب مایع می دهند به صورت چسب می دهند. این ترکیب به سطح لوله چسبیده و باعث جذب سایر ناخالصیها روی سطوح مسطح می شوند. ترکیبات دارای وانادیم نیز در دمای ۶۷۰ درجه

افزایش دما در کلیه متالهای المانهای حرارتی (به جز ری هیترا اولیه) دیده می شود. این افزایش دما در متال المانهای حرارتی به دلیل انجام سندبلاست پیش بینی می شد. این مورد به دلیل افزایش انتقال حرارت کنوکسیون است و اثربخشی مفید سند بلاست بوده است. دیتاهای ثبت شده در جدول شماره یک دیده می شود.

KKS	پارامتر	واحد	قبل از تعمیرات			بعد از تعمیرات		
			Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
HNAO0FT952-QX01	LT SH Metal Temp. Max.	°C	386.2	392.7	389.5	395.6	398.4	397.4
HNAO0FT956-QX11	HT RH Metal Temp. Avg.	°C	535.5	551.2	545.1	552.1	556	553.9
HNAO0FT956-QX01	HT RH Metal Temp. Max.	°C	528	542	536.5	541.6	545.6	543.2
HNAO0FT954-QX11	HT SH Metal Temp. Avg.	°C	544.5	550	546.7	542.9	547.9	545.5
HNAO0FT954-QX01	HT SH Metal Temp. Max.	°C	563.7	571.6	566	562.5	566	563.9
HNAO0FT953-QX11	Platen SH Metal Temp. Avg.	°C	437	445.7	442	450.2	453.5	452
HNAO0FT953-QX01	Platen SH Metal Temp. Max.	°C	469.5	480	474.7	466.5	470.8	468.9

جدول شماره یک

با توجه به اینکه پروسه کنترل دما از مهمترین و پیچیده ترین لوپ های کنترلی است، افزایش دما در المانهای حرارتی که منجر به افزایش دمای بخار می شود با سیستم اسپری کنترل می شود و نقش کاهش سوخت در این پروسه بسیار کم رنگ است. با توجه به اینکه در سیستم کنترل دمای بخار اصلی که یک سیستم کنترل آبشاری است، در زمان بهره برداری نرمال هرگونه اثر افزایش دما با افزایش دبی آب اسپری کنترل می شود مگر در زمانهای غیرنرمال از جمله رانیکها و Fast Cut Back که فرمان کاهش سوخت به صورت یک سیگنال فید فوروارد وارد عمل شده و به لوپ کنترل دما کمک می کند. توضیحات بیشتر در خصوص لاجیک سیستم اسپری و لوپ کنترل دما در این مقوله نمی گنجد. افزایش دبی آب اسپری سوپر هیترا در جدول زیر دیده می شود:

KKS	پارامتر	واحد	قبل از تعمیرات			بعد از تعمیرات		
			Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
PDT LAE05A-QX01	High Temperature Left Inlet Spray Water Flow	t/h	5.29	9.87	7.27	6.27	10.12	7.7
PDT LAE05B-QX01	High Temperature Right Inlet Spray Water Flow	t/h	6.56	11.32	8.88	8.08	11.37	9.42
PDT LAE04A-QX01	Platen SH Left Inlet Water Spray Flow	t/h	40.28	64.72	50.93	50.51	64.75	59.11
PDT LAE04B-QX01	Platen SH Right Inlet Water Spray Flow	t/h	39.72	65.57	50.57	51.25	66.93	61.17

جدول شماره دو

سانتیگراد به نقطه ذوب می رسند و روی مایع چسبناک حاوی سولفات سدیم جذب می شوند.

مایع تشکیل شده به واسطه ی اینکه خاصیت خوردندگی شدیدی دارند مگنتیت محافظ لوله را ذوب کرده و زیر آن را در معرض اکسیداسیون شدید قرار می دهد که در دراز مدت اکسیداسیون رخ داده ضخامت دیواره ی لوله را کاهش داده و منجر به کاهش سطحی در لوله می شود که تحمل فشار سیال داخل لوله را ندارد بنابراین لوله در ناحیه ی فوق دچار ترکیدگی می شود.

همچنین به دلیل انباشت رسوبات روی المانها، ضریب انتقال حرارت از محصولات احتراق به بخار کاهش پیدا می کند که این موضوع باعث راندان حرارتی بویلر می شود.

به منظور حذف آثار ذکر شده و جلوگیری از پیامدهای ناشی از انباشت رسوبات روی المانهای حرارتی به روشهای گوناگونی نظیر اسیدشویی و سند بلاست این رسوبات را حذف می کنند. در نیروگاه حرارتی شانزد و در بویلر واحد چهار در جریان تعمیرات اساسی این واحد سندبلاست مذکور در سوپر هیتراهای پلاتن و نهایی صورت گرفت که بررسی آن از دیدگاه مسائل جذب حرارتی و کاهش سوخت مصرفی مورد بررسی قرار گرفته است.

در خصوص بررسی اثربخشی سند بلاست انجام شده در سوپر هیتراها و ری هیتراهای بویلر واحد چهار؛ پس از تجزیه و تحلیل مسأله و بررسی اینکه چه پارامترهایی باید مورد بررسی قرار گیرند، در حدود ۱۱۰ پارامتر بویلر مورد بررسی قرار گرفت که پس از استخراج اطلاعات لازم، تعدادی از آنها که تأثیر کمتری در آنالیز اطلاعات داشته است حذف گردید. در مجموع در حدود ۶۶۰۰ دیتا مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن به شرح زیر است. در جداول ارائه شده مقادیر در دو حالت قبل از انجام سند بلاست تحت عنوان قبل از تعمیرات و حالت بعد از سندبلاست تحت عنوان بعد از تعمیرات ذکر گردیده است.

همچنین به منظور تحلیل دقیق تر اطلاعات استخراج شده، شرایط واحد به نزدیک ترین شرایط بعد از انجام تعمیرات رسانده شده و دیتاها به صورت حد پائین، حد بالا و متوسط در هر آیتم ثبت گردیده است.

افزایش دما در المانهای سندبلاست شده:

افزایش راندمان حرارتی در المانهای سوپرهیتر و ری هیتر به وضوح دیده میشود. با حذف رسوبات خارجی سرعت حرکت محصولات احتراق در المانهای حرارتی افزایش یافته که نتیجه آن افزایش انتقال حرارت است.

KKS	پارامتر	واحد	قبل از تعمیرات			بعد از تعمیرات		
			Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
HBK10FQQ01P-ZQ02	SH THERMAL POWER	MW	519.3	610.5	570.6	577	596.9	586.9
HBK10FQQ01P-ZQ03	RH THERMAL PWR	MW	99.06	132.1	116.2	121.6	133.2	127.1

افزایش راندمان حرارتی در المانهای سوپرهیتر و ری هیتر

چنانچه ملاحظه می گردد میزان جذب انرژی حرارتی در سوپر هیترها از 370.6MW به 386.9MW افزایش داشته است.

کاهش دمای دود ورودی به دودکش و کاهش تلفات حرارتی محصولات احتراق خروجی نیز دیده میشود:

KKS	پارامتر	واحد	قبل از تعمیرات			بعد از تعمیرات		
			Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
HBK10FQQ01P-ZQ01	BLR HEAT LOSS FLUE GAS	%	8.85	10.2	9.64	8.49	8.85	8.68
TE HNA01-XQ01	Stack Inlet Flue Gas Temp.	°C	154.5	160	157.5	138.8	142.2	140.7

کاهش دمای دود ورودی به دودکش و کاهش تلفات

حرارتی محصولات احتراق خروجی

کاهش مصرف سوخت ناشی از انجام سندبلاست کویل‌های سوپر هیترها:

با توجه به اینکه پایش مقدار دقیق سوخت از روی فلومترهای سوخت به صورت مستقیم امکان پذیر نبود، بنابراین برای محاسبه کاهش مصرف سوخت به روش معکوس استفاده شده است.

از آنجایی که مصرف میزان سوخت برای تولید هر تن بخار مشخص است، لذا آب اسپری اضافه شده در بخار اصلی که بصورت مستقیم وارد بخار اصلی شده است، نهایتاً در توربین به بار تبدیل می شود و خطای ناشی از بار تولیدی و بار درخواستی در قالب کاهش بار و کاهش سوخت در بویلر ظاهر می گردد.

باتوجه به اینکه با سندبلاست انجام شده رسوبات انباشت روی کویلها که دارای ضریب انتقال حرارت بسیار پائینی هستند حذف شده اند، ضریب انتقال حرارت بهبود یافته و باعث افزایش دما در تمام قسمتهای سوپرهیترها شده است.

کاهش دردمای محصولات احتراق ورودی به اکونومایزر:

در دمای محصولات احتراق ورودی به اکونومایزر در شرایط مشابه کاهش دیده می شود. این مورد بیانگر جذب انرژی حرارتی موجود در محصولات احتراق خروجی است که توسط المانهای قبل از اکونومایزر جذب شده است و با توجه به اینکه در سوپرهیتر low temp فعالیت خاصی صورت نگرفته است، می توانیم نتیجه بگیریم جذب انرژی حرارتی در المانهای سندبلاست شده بیشتر شده است. نتیجه این برداشت در جدول شماره ۳ دیده می شود:

KKS	پارامتر	واحد	قبل از تعمیرات			بعد از تعمیرات		
			Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
TE HNA05A-XQ01	Eco. Flue Gas Inlet Temp. (A)	°C	383.9	401.5	394.1	387.5	389.9	388.7
TE HNA05B-XQ01	Eco. Flue Gas Inlet Temp. (B)	°C	382.3	399.2	391.8	386.7	389.1	387.9

جدول شماره سه

کاهش دما در محصولات احتراق ورودی به اکونومایزر در صورتی کاهش داشته است که دمای آب تغذیه در اکونومایزر نسبت به حالت قبل از سندبلاست ثابت بوده است. در جدول زیر دمای آب ورودی به اکونومایزر دیده می شود:

KKS	پارامتر	واحد	قبل از تعمیرات			بعد از تعمیرات		
			Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
TE LAB05-XQ01	Economizer Inlet Water Temperature	°C	237.6	247	242.7	242.9	245.4	244

ثابت بودن دمای آب در اکونومایزر

افزایش راندمان حرارتی در المانهای سوپرهیتر:



کویل‌های حرارتی پس از سندبلاست



کویل‌های حرارتی پس از سندبلاست

کاهش سوخت محاسبه شده با این روش برابر ۳۴۷۲۵ کیلوگرم در هر ۲۴ ساعت در مصرف سوخت صرفه جویی خواهد شد.

در شکلهای زیر المانهای حرارتی بویلر قبل از سند بلاست نمایش داده می شود:



کویل‌های حرارتی قبل از انجام سند بلاست



کویل‌های حرارتی قبل از انجام سند بلاست

در شکلهای زیر المانهای حرارتی بویلر بعد از سند بلاست نمایش داده می شود:

نتیجه گیری:

با استناد به پارامترها و دیتاهای استخراج شده، انجام سندبلاست در بویلرها با در نظر گرفتن ملاحظات ذکر شده در بالا برای بویلر مفید است و باعث افزایش راندمان حرارتی در المانهای سوپرهیتر و ری هیتر و کاهش تلفات دودکش و همچنین کاهش مصرف سوخت خواهد شد. چنانچه ملاحظه گردید افزایش دما به صورت محسوس در مثال سوپرهیترها اتفاق افتاده است به نحوی که باعث افزایش دبی آب اسپری در سوپرهیترها شده است. همچنین افت دما در محصولات احتراق ورودی به اکونومایزر نشانه جذب بیشتر حرارت از محصولات احتراق در المانهای حرارتی سندبلاست شده می باشد.

رسوب زدایی از دیدگاه مباحث مربوط به خوردگی های شیمیایی و Long Over Heat نیز تا حد امکان مورد بررسی قرار گرفت و آنچه مسلم است سوراخ شدن و ترکیدگی لوله ها در ناحیه سوپر هیتر ها به خصوص سوپرهیترهای تشعشی و در جاهایی که انباشت رسوبات در قالب نمکهای مذاب حاوی سولفات سدیم و پنتا اکسید وانادیم به کرات در نیروگاهها دیده شده که این مسأله در نیروگاه شازند نیز می تواند مورد بررسی دقیق تر قرار بگیرد، بنابراین لازم است چنانچه حجم رسوبات از مقدار مجاز بیشتر شود نسبت به رفع آن اقدام گردد.

مرجع و مستندات:

- مدارک طراحی و بهره برداری بویلرهای نیروگاه حرارتی شازند.
- North American Combustion Handbook
- نیروگاه های حرارتی؛ محمد محمد الوکیل
- CORROSION OF BOILER TUBES SOME CASE STUDIES
- Anees U. Malik, Ismail Andijani, Mohammad Mobin, Fahd Al-Muaili and Mohammad Al-Hajri Saline Water Desalination Research Institute
- Saline Water Conversion Corporation (SWCC)