اولین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع
ایران، تهران، خرداد ۱۳۸۸

طراحی وساخت سوپر هیتر تشعشعی در دیگهای بخار فایر تیوب از نوع عقب تر[1]

محمد میرموسوی[1]، اصغر دانشور پاشاکی[2]، مهران خلیلی[3]

[1]کارشناس ارشد مکانیک(تبدیل انرژی) و کارشناس طراحی گروه دیگ بخار ،ماشین سازی اراک؛ mir۱۳۸۲@gmail.com
[2]کارشناس مهندسی مکانیک(ساخت و تولید) و رئیس ساخت گروه دیگ بخار ، ماشین سازی اراک؛ adaneshvar۸۴@gmail.com
[3]کارشناس مهندسی مکانیک (سیالات) و مدیر مهندسی گروه دیگ بخار، ماشین سازی اراک؛ mkboiler@msa.ir

چکیده

در این مقاله جهت سوپر هیت نمودن بخار اشباع در دیگهای بخار (هر جا صحبت از دیگ بخار شد منظور نوع فایر تیوب عقب تر[1] میباشد) روشی دقیق و تکنیکی جدید ارائه شده است و مقایسه ای کامل با انواع سوپرهیترهای کنوکسیونی که در جعبه دود جلوی این دیگها نصب میشوند و در ایران معمولاً مورد استفاده قرار میگیرند به عمل آمده و نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفته اند. دقت این روش به گونه ای است که به دلیل نصب این سوپرهیتر در محفظه برگشت احتراق[2] که اصطلاحاً راپر نامیده میشود از ۳۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد سوپرهیت را میتوان با تضمین وبدون صرف هیچگونه هزینه گزاف تامین نمود. در صورتیکه در نوع کنوکسیونی عموماً رسیدن به میزان دمای فوق نیازمند صرف هزینه های زیاد و مهارت بالا در طراحی و ساخت میباشد. تکنیک ارائه شده در ساخت و عبور این کویها از تیوب پلیت عقب و تیوب پلیت راپر که در این مقاله تکنیک "تونل لوبیایی" نام گرفته موجب میشود با صرف کمترین هزینه در ساخت و نصب بتوان تغییرات در نقشه های اصلی دیگ بخار را اعمال نموده و مورد اجرا گذاشت.

کلمات کلیدی: فایر تیوب[3]، سوپرهیتر[4]، عقب تر[1]،تشعشع[5]

مقدمه

سوپرهیترهای کنوکسیونی که در جعبه دود جلوی دیگهای بخار قرار میگیرند دارای معایبی در مراحل طراحی ، ساخت ، تامین مواد ، نصب و تعمیر و نگهداری میباشد که در صورت عدم مهارت در زمینه طراحی و ساخت گاهاً کاملاً بلااستفاده مینمایند . مشکلات فوق که نویسندگان این مقاله سالهاست در صنعت کشور درگیر آنها هستند و از نزدیک با صاحبان شرکتها و مشتریان این سوپرهیترها در ارتباط هستند موجب شده است تا ایده جدید سوپر هیتری که وابستگی کمی به کنوکسیون داشته باشد شکل بگیرد و آن نوع تشعشعی است که در راپر این نوع دیگها قرار میگیرد . تکنیک استفاده شده جهت نصب و ساخت در نوع خود منحصر به فرد است و نویسندگان تا کنون این طرح را جایی مشاهده نکرده اند. البته سوپرهیترهای تشعشعی کاربرد زیادی در دیگهای فایر تیوب از نوع عقب خشک[6] دارند که دما را حتی تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد هم بالا میبرند و در کشورمان تاکنون اقدام به ساخت چنین دیگهایی نشده است ولیکن اخیراً شرکت ماشین سازی اراک اقدام به این امر نموده است که این دیگ هم اکنون مراحل ساخت را طی میکند و بزودی آماده ارائه به بازار میشود. اما در این نوع دیگ هیچگونه مشکلی جهت اتصال کویلهای سوپرهیت به بخش راپر نمیباشد و از آنجا که راپر دیگهای مربوطه به شکل مجموعه ای از لوله هاست به راحتی میتوان کویل سوپر هیتر را از میان این لوله ها عبور داد.

سوپرهیترهای کنوکسیونی

نمونه رایج سوپرهیتر دیگهای بخار که در ایران ساخته میشود نوع کنوکسیونی میباشد . جهت گرمایش بخار آب تا حدود ۳۰ درجه سانتیگراد از این نوع سوپرهیتر استفاده میشود که در بخش جعبه دود جلوی دیگ بخار جاسازی میشود تا حرارت مورد نیاز از طریق کنوکسیون به کویلها منتقل شود و بر اساس نیاز مشتری آرایش، تعداد و ابعاد آن مشخص میگردد. اشکالات زیادی بر این طرح وارد است که منجر میشود نتوان دمای مورد نیاز مشتری را که علت اصلی طراحی سوپر هیتر است تحویل داد . بعضی از اشکالات طراحی حرارتی به شرح ذیل میباشد:

الف) آرایش غیر منظم لوله های پاس دوم (محل قرارگیری سوپرهیتر) به دلیل گرد بودن مقاطع شل ، محفظه راپر و کوره موجب میشود که نتوان لوله های سوپرهیتر را مستقیماً در جلوی خروجی لوله های پاس دوم و محل خروج محصولات احتراق با دمای بالا قرار داد فلذا عبور محصولات احتراق از روی لوله ها به خوبی صورت نمیگیرد و انتقال حرارت پایین خواهد آمد.

ب) شکل غیر منتظم جعبه دود محل قرار گیری سوپرهیتر موجب خواهد شد طراح جهت استفاده ماکزیمم از فضای جعبه دود مجبور به استفاده از لوله های با طول متفاوت جهت کویلها نماید که به دلیل تغییر در افت فشار و دبی ، انتقال حرارت هم متفاوت شده و نتوان برآورد دقیقی از سطح مورد نیاز و آرایش مربوطه به عمل آورد.

ج) وجود فضاهای خالی بین سوپرهیتر و داخل جعبه دود که منجر به فرار محصولات احتراق از کویلها و ورود به این نواحی میشود و در نهایت منجر به کاهش انتقال حرارت کل میگردد.

---

[1] Wet back
[2] Combustion chamber
[3] Fire tube
[4] Superheater
[5] radiation
[6] Dry back

چ) به دلیل دور زدن محصولات احتراق از پاس دوم به پاس سوم و گاهاً مکش دودکش در قسمت پاس سوم تمایل عبور میانبر از پاس دوم به پاس سوم زیاد بوده و امکان عبور گازهای احتراق بصورت مستقیم از روی لوله ها کاهش مییابد و لذا شاهد کاهش انتقال حرارت و عدم طراحی درست میزان انتقال حرارت خواهیم بود.
با توجه به نقایص فوق طراح مجبور میشود ضریبی را در سطح حرارتی مورد نیاز به خاطر هر کدام از اشکالات بالا اعمال نماید که این خود منجر به بالا رفتن سطح حرارتی به میزان زیادی میشود و گاهاً مجبور میشویم جهت نیل به مقاصد خود حتی از لوله های پره دار استفاده نماییم که وزن تمام شده این تجهیز را به شدت افزایش میدهد . بر فرض مثال وزن سوپرهیتر یک دیگ بزرگ حتی ممکن است به بیش از ۵ تن جهت لوله های صاف و به بیش از ۸ تن در لوله های پره دار برسد. وزن زیاد سوپرهیتر موجب اشکالات و تغییراتی در طراحی مکانیکال دیگ به شرح ذیل میگردد که بطور خلاصه به بعضی از آنها اشاره میکنیم.
ح) ابعاد بزرگ این سوپرهیتر موجب میشود شکل ظاهری دیگ به همراه سوپرهیتر از حالت تناسب خارج شود و زیبایی این تجهیز ، که یک پارامتر مهم در طراحی میباشد شدیداً زیر سوال رود.
خ) نیاز به تغییر طراحی فونداسیون و ساپورتهای مربوطه به دلیل افزوده شدن یک وزن اضافه بر دیگ که در خصوص کوئلهای با لوله پره دار مجبور به استفاده از پایه های مستقل میشویم تا وزن زیاد حاصل از سوپرهیتر را تحمل نماید که خود نیازمند طراحی و صرف هزینه های خرید ، ساخت ، حمل و نصب میباشد.
د) نیاز به ساپورت نمودن این سازه نسبتاً سنگین ما را مجبور به استفاده از تیوب پلیت و شل مینماید که بارهای موضعی[۷] زیادی را بر این قسمتها وارد مینماید .
ذ) افت حرارتی زیاد ناشی از بزرگ نمود جعبه دود جلوی دیگ نیز از جمله اشکالاتی است که به کاهش بازهی این دیگها منجر میشود ینماید.
ر) همانگونه که میدانیم سوپرهیترهای کنوکسیونی دارای خمهای زیاد و با زوایای ۱۸۰ درجه میباشند که این امر تولید را با مشکلاتی روبرو میکند که دو پهن شدن این لوله ها عمده ترین آنهاست.تولیدگنندگان جهت جلوگیری از دو پهن شدن شعاع لوله را افزایش میدهند که لازمه آن درگیر شدن فضای زیادتری است که در نوع تشعشعی این مشکل وجود ندارد.
با توجه به مشکلات فوق و مناسب نبودن این طرح نیاز به طرح جدیدی که مستقل از کنوکسیون عمل نماید ضروری به نظر میرسد که ذیلاً به تشریح آن میپردازیم.

سوپرهیترهای تشعشعی

سوپر هیتر تشعشعی تشکیل شده است از مجموعه ای از تیوبها که در معرض تشعشع محصولات احتراق قرار گرفته و ماکزیمم حرارت جذب شده در سیال حامل انرژی از طریق تشعشع خواهد بود. نصب سوپر هیتر در محفظه برگشت راپر راه حلی است که علاوه بر رفع بسیاری از مشکلات سوپرهیترهای کنوکسیونی مزایای زیاد دیگری نیز دارد که به بیان چند مورد از آنها میپردازیم:
الف) میزان سطح حرارتی مورد نیاز در بعضی از سایزها تا حدود ۷۰ در صد کاهش میابد.
ب) نیازی به ایجاد تغییرات در جعبه دود نمیباشد .
ج) تعویض لوله ها بسیار آسان و هزینه های تعمیر و نگهداری کم میباشد.
د) میزان دما بصورت تضمینی تا۳۰ درجه و در بعضی سایزها حتی تا ۶۰ درجه سانتیگراد قابل افزایش میباشد .
ذ) کمترین بار خارجی اضافه بر دیگ اعمال میشود.
ر) بازده دیگ افزایش میابد ، چون سطح حرارتی مرتبط با هوای آزاد کاهش میابد و از سمت جعبه دود هیچگونه نشتی حرارت به صورت آنتالپی و کنوکسیون وجود نخواهد داشت.
ز) جلوگیری از صرف هزینه جهت خمکاری زیاد.
س) و بالاخره اینکه به دلیل جذب درصدی از حرارت موجود در محصولات احتراق در قسمت راپر ، با کاهش درجه حرارت ورودی به پاس دوم مواجه میشویم که خود عامل مهمی در جلوگیری از سوختن سر لوله های سمت راپر است.لازم به ذکر است این مورد یکی از عمده ترین دلایل تعمیرات اساسی دیگهای بخار است که صرف هزینه های گزاف تعمیرات ، تعویض لوله و توقف کاری شرکتها و کارخانجات و یا توقف دیگ خانه و شوفاژ خانه را در پی خواهد داشت.

طریقه ساخت سوپرهیترهای تشعشعی

سوپر هیترهای تشعشعی در واقع بیشتر انرژی مورد نیاز سوپرهیت را (حدود ۸۰٪) از طریق تشعشع میگیرند و تنها حدود ۲۰٪ این انرژی از طریق کنوکسیون منتقل میشود و دلیل آین امر هم این است که محل قرار گیری کویلها در محفظه برگشت راپر میباشد. با ایجاد دو عدد حفره که در اینجا "تونل لوبیایی" نام گرفته است و توسط برشکاری و بدون هیچگونه ماشین کاری در تیوب پلیت عقب و تیوب پلیت راپر ایجاد میگردد این امکان بوجود میاید که کویلها را از قسمت عقب دیگ در داخل راپر قرار داد.. نام این حفره ها از آنجایی که بین تیوب پلیت عقب و تیوب پلیت عقب راپر را آب موجود در دیگ بخار احاطه نموده است و لازم است کوئلها از این فضا عبور کنند و همچنین شکل آن نیز بصورت لوبیایی است "تونل لوبیایی" لقب گرفته است. پس از ایجاد حفره های مربوطه کویلهای سوپرهیتر را از آنهاعبور میدهیم. این کار را بدون اینکه نیاز باشد کارگر به داخل دیگ برود میتوان انجام داد. پس از عبور کویها از داخل این حفره ها نیاز است که فاصله لوله ها از همدیگر حفظ شود و بین کوره و خارج از دیگ توسط حایلی عایق کردد. این کار توسط درپوشی بصورت شکل(۳) انجام میگیرد . سپس کویلها به هدر جوشکاری میشوند و جهت جلوگیری از نفوذ محصولات احتراق از طریق درپوش مربوطه به خارج ، میتوان از واشر آببندی استفاده

[۷] Local load

نمود. کویلها با دو عدد خم (شکل ۴) وبدون انجام خمکاریهای اضافی دیگر که منجر به صرف هزینه های زیاد میگردد قابل تبدیل به شکل مورد نظر میباشد فلذا از هزینه های هنگفت بوجود آمده جهت خمکاری و اسقاط قطعه به خاطر دو پهن شدن میتوان جلوگیری نمود.

تعمیر و نگهداری

طراحی به گونه ای است که تعمیر و نگهداری سوپرهیتر تشعشعی بسیار ساده و آسان میباشد و کارگر بدون هیچگونه سختی و ورود به داخل کوره ، از همان قسمت عقب و بیرون از دیگ با بر داشتن در پوشها (شکل ۳) و کشیدن کویل و هدرها به سمت عقب میتوان بسادگی اقدام به برشکاری ، تعویض و سپس جوشکاری کویلها نمود و سپس کویل را جا زده و درپوش را با پیچ و مهره محکم بست. لذا بر خلاف تصور که این کوئلها چون در محفظه برگشت هستند پس به سختی قابل تعمیر و نگهداری میباشند مردود میباشد.

مواد

مواد مورد استفاده در سوپرهیترهای تشعشعی ، تیوبهایی است که تحمل دمایی آنها کمی بالاتر از نوع کنوکسیونی است ، که دلیل اصلی آن هم مشخص است ، یعنی قرار گرفتن کویلها در محفظه احتراق که منجر به جذب حرارت به صورت تشعشعی میشود. البته استفاده از مواد کربن استیل هم از جنبه تئوری بلامانع مینماید ولیکن جهت اطمینان بیشتر میتوان از لوله های فولادی با آلیاژ کم[۸] نیز استفاده نمود. پیشنهاد این مقاله A۳۳۵-P۱۱ میباشد که جزء فولادهایی است که میزان آلیاژهای آن به شکل زیر است:

Cr ۱-۱,۵ ٪

Mn ۰,۳-۰,۶ ٪

Mo ۰,۴۴-۰,۶۵٪

همانگونه که مشاهده میشود مواد مورد استفاده در سوپرهیترهای تشعشعی از نوع خیلی خاص نمیباشد و جهت تامین صرف هزینه زیادی را نمی طلبد.

معادلات

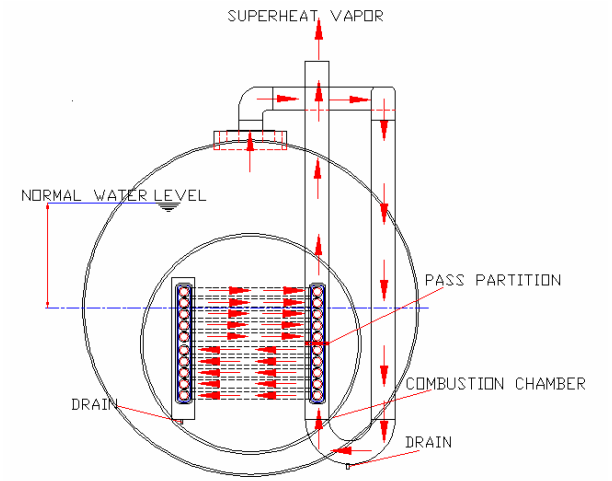
معادلات اصلی حاکم بر این بخش در ذیل ارائه شده اند که شامل معادلات تشعشع (۱) و کنوکسیون (۲) میشوند. البته مشخص است که دیگر معادلات نیز در انجام محاسبات طراحی این پروژه نقش داشته اند که از آنجمله میتوان به معادلات بقای جرم و انرژی و معادله ضریب انتقال حرارت جابجایی نیز اشاره نمود.

$$q_r = \sigma \alpha A_{cp} F (T_g^4 - T_w^4) \quad (۱)$$

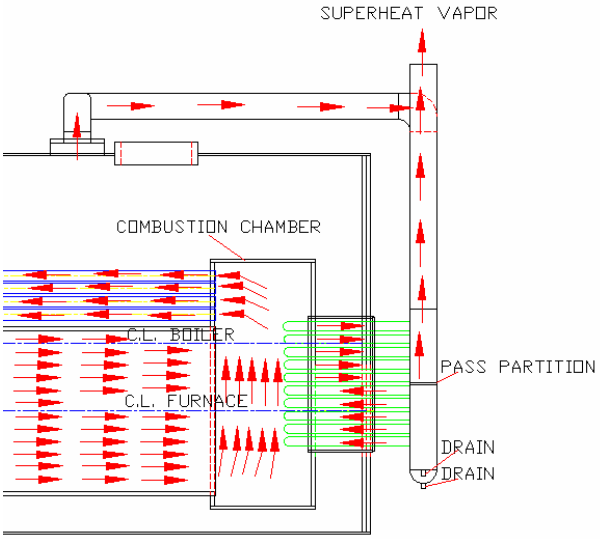
$$q_c = h_c A_c (T_g - T_w) \quad (۲)$$

[۸] Low alloy

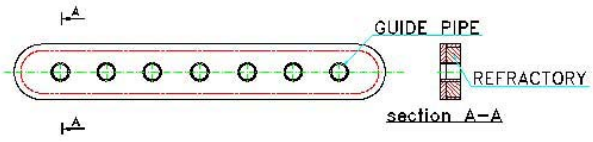
شکل‌ها



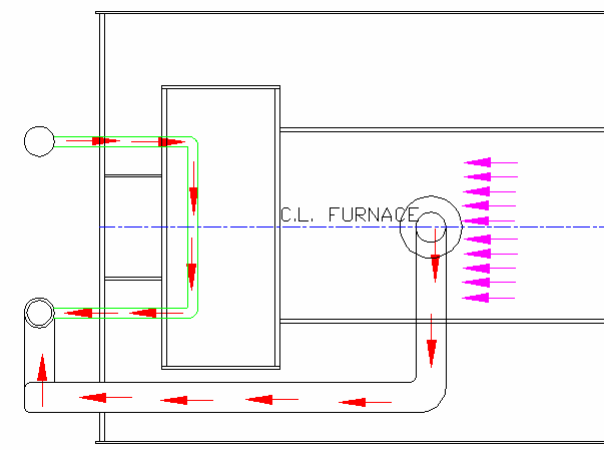
شکل۱ :شماتیک نمای جانبی سوپر هیتر مستقر در محفظه احتراق راپر



شکل۲ : شماتیک نمای روبرو سوپر هیتر مستقر در محفظه احتراق راپر



شکل۳: درپوش و راهنمای کویلهای سوپرهیتر



شکل۴: نمای بالای کویلها که نشانگر استفاده از تنها دو خم در کویلهای سوپرهیتر تشعشعی میباشد.

نتایج

(۱) تکنیک ارائه شده (تونل لوبیایی) راه حلی است بسیار عالی جهت دستیابی به توان تشعشعی موجود در محفظه احتراق راپر دیگهای بخار فایر تیوب از نوع عقب تر[1] که دمای خروجی مورد نیاز مشتری را تضمین مینماید.

(۲) گرفتن دمای مورد نیاز در سوپرهیترهای کنوکسیونی نیاز به مهارت زیاد طراحی و ساخت دارد.

(۳) سوپرهیترهای تشعشعی جایگزین بسیار خوبی برای انواع کنوکسیونی است.

نتیجه گیری و جمع بندی

به نظر میرسد با جایگزینی سوپرهیترهای تشعشعی به جای کنوکسیونی میل مشتریان برای خریداری و استفاده از سوپرهیترها افزایش یابد چرا که سوپرهیترها فواید زیادی جهت بهبود کارکرد تجهیزات پایین دستی دارد. برای مثال میتوان به حذف تعداد زیادی از تله های بخار در مسیرهای پس از دیگ بخار ، کاهش افت فشار ناشی از تشکیل بخار و مایع بصورت دو فاز ، کاهش ضربه قوچ در سیستمهای پایپینگ ، عدم نیاز به استفاده از فشار شکن در بعضی جاها که به این روش قصد سوپرهیت کردن سیال را دارند. همچنین میتوان به حذف هزینه های زیاد ساخت و تعمیر و نگهداری اشاره نمود که هر دوی مشتری و سازنده در مزایای آن ذینفع هستند. ازآنجا که قیمت سوپرهیتر قابل توجه میباشد لذا در صورتیکه ما بتوانیم توسط سوپرهیتر تشعشعی به نیازهای مشتری پاسخ دهیم مسلماً افزایش چشمگیری با توجه به کاربردهای زیاد آن در سفارش مشتریها خواهیم داشت.

تشکر و قدردانی

جا دارد نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مدیر عامل محترم گروه تولیدی دیگهای بخار ماشین سازی اراک جناب آقای مهندس معمارزاده که موجبات تحقیق و تفحص را در این مجموعه فراهم نموده اند اعلام دارند.

فهرست علائم

علائم بکار رفته در این مقاله به شرح ذیل میباشد:

A_{cp}	مساحت معادل جاذب انرژی، m^2
A_c	مساحت جاذب انرژی کنوکسیون ، m^2
h_c	ضریب انتقال حرارت ، $W/m^2.^\circ k$
F	ضریب انتقال تشعشع
T_g	دمای موثر گاز در محفظه، $^\circ k$
T_w	دمای متوسط دیواره، $^\circ k$

علائم یونانی

α	ضریب سطح
σ	ضریب استفان بولتزمن

مراجع

[۱]- BS ۲۷۹۰-۱۹۹۲

[۲]- BS ۱۱۱۳

[۳]-Mc.Adams ,W.H. , Heat Transmision , ۳rd ed. , McGraw Hill , New York , ۱۹۵۴.

[۴]- ‘‘Rules For Construction Of Power Boilers‘‘ ASME Boiler And Pressure Vessel Code Sec. ۱, ۲۰۰۴.

[۵]- استاندارد دیگهای بخار