

نام پروژه دیگ بخار

تهیه کننده :

امیر منصوری

۱۳۹۱

چکیده

دیگ بخار دستگاهیست که برای تولید بخار از آن استفاده می‌شود. این بخار می‌تواند برای چرخاندن توربین یا گرم کردن برخی کوره‌ها استفاده شود. در دیگهای بخاری که در نیروگاهها کار میکنند به دلیل نیاز به فشار بالاتر بخار به صورت سوپرهیت (مافوق گرم) است. آب در این دیگهای بخار از لوله هایی که در میان شعله های مشعل محصور شده‌اند عبور می‌کند اما در دیگهای بخار کوچکتر بخار به صورت اشباع خواهد بود و در این مشعل‌ها شعله در داخل لوله و آب در اطراف لوله قرار دارد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
.....	چکیده.....
	✓ فصل اول
۲.....	مقدمه.....
۳.....	انواع دیگ های بخار و طبقه بندی آنها.....
۱۱.....	آب رسانی برای دیگ بخار.....
۱۳.....	سیستم گازرسانی برای دیگ بخار.....
۱۴.....	مشعل.....
	✓ فصل دوم
۱۶.....	انتخاب نوع دیگ.....
۱۸.....	دیگ لوله - آتشی.....
۱۸.....	محدودیت دیگ لوله - آتشی.....
۲۱.....	راهنمای راه اندازی دیگ های بخار لوله آتشی (فایر تیوب).....
۲۲.....	مختصری در خصوص مراحل ساخت دیگ بخار.....
۲۳.....	وجود دریچه های بازرسی در دیگ بخار.....
۲۳.....	مکان و شرایط نصب.....
۲۴.....	شرایط نصب دودکش.....

✓ فصل سوم

- ۲۷.....رسوبات تشکیل شده از آب و بخار.....
- ۳۱.....آزمایش آب تغذیه و آب دیگ بخار.....
- ۳۳.....تمیز کردن سطوح داخلی (سمت آب).....
- ۳۴.....دمیدن بخار.....
- ۳۵.....پاره ای از فرصت های صرفه جویی در دیگ های بخار.....
- ۳۵.....دمای دودکش.....
- ۳۶.....پیش گرمایش آب تغذیه با استفاده از پیش گرمکن.....
- ۳۶.....پیش گرمایش هوای احتراق.....
- ۳۶.....جلوگیری از احتراق ناقص.....
- ۳۷.....کنترل هوای اضافی.....
- ۳۹.....عوامل بحرانی.....
- ۴۳.....شناسایی.....
- ۴۴.....اکسیدهای آهن.....
- ۴۸.....دیگرفلزات واکسیدهایشان.....
- ۴۹.....نمک ها.....
- ۴۹.....رسوبات تشکیل شده از آب و بخار.....
- ۵۰.....مرفولوژی رسوب.....

۵۰.....هدف

۵۱.....موارد احتیاطی

۵۲.....مایع

✓ فصل چهارم

۶۱.....چگالی گازها

۶۳.....چگالی مخلوط گازها

۶۵.....ترکیب شیمیایی سوخت ها

۶۸.....محاسبات احتراق

۶۸.....سوخت های گاز

۷۴.....سوخت های جامد و مایع

۷۸.....ارزش گرمایی (انرژی ویژه)

✓ منابع

۸۰.....فهرست منابع

فصل اول

مقدمه

مقدمه

امروزه از دیگ های بخار در صنایع غذایی، سیستمهای گرمایشی و نیروگاهها استفاده میگردد و آنچه مشخص میباشد این است که استفاده از دیگ های بخار از اوایل قرن هجدهم میلادی با پیدایش ماشین های بخار در صنعت رایج گردیده است دیگ های اولیه از ظرف سر بسته ای از ورقهای آهنی که بر روی هم برگردانده شده و پرچ شده بودند در اشکال کروی ساده تا انواعی پیچیده تر نظیر دیگ های واگن وات که شبیه واگن سر پوشیده ای بود ساخته میشدند .

این ظروف بر روی دیواره ای از آجر بر روی آتش قرار داشتند و برای رساندن حرارت به نقاطی از ظرف که مقابل آتش نبودن از کانال های آجری استفاده می شد این دیگ ها را بیرون سوز می نامند و بزرگترین اشکال آنها ایجاد رسوب و لجن در پایین ترین نقطه یعنی بالای سطح داغ آتش بود که سبب جلوگیری تماس فلز و آب می شد که نتیجه آن بالا رفتن درجه حرارت فلز (حدود ۵۰۰ درجه سلسیوس) و تغییر شکل و در نهایت سوختن آن بود و هر چند فشار کاری دیگ های آنزمان در حدود فشار اتمسفر بود ولیکن این مشکل با عث خراب شدن و یا مواردی ترکیدن دیگ می شد .

با افزایش تقاضا برای تولید دیگ های با فشار بالا تر ، ساخت دیگ هایی که درون سوز بودند آغاز شد که از استوانه های فلزی ساخته می شدند و کوره نیز به شکل استوانه در درون مخزن استوانه ای قرار میگرفت و محصولات احتراقی که در آن زمان بیشتر به صورت جامد (زغال سنگ) بودند از روی صفحه ای مشبک به درون کوره انتقال می یافتند و درون کوره می سوختند .

در این دیگ های بخار اولیه برای بهره برداری از دمای گازهای خروجی دودکش ، از طریق انتقال آنها از کوره به کانالهای تعبیه شده در زیر مخزن استوانه ای و در نهایت هدایت به سمت دودکش خروجی دیگ بخار اقدام به بالا بردن راندمان می نمودند ولیکن با توجه به اینکه فلز مخزن زیر کوره که به دلیل جمع شدن گل ولای حاصل از آب و کاهش تماس آن با آب مخزن دیگ بخار دارای دمای بیشتری می شد ، همان مشکل تغییر خاصیت فلز تا حدودی وجود داشت هرچند دمای گازهای کانال خیلی کمتر از قبل بود. در ادامه فرآیند پیشرفت تولید دیگ های بخار صنعتی ، دیگ های معروف به لوله آتشی عقب خشک (FireTube & DryBack) طراحی و ساخته شدند که در این دیگ ها با قراردادن لوله های متعدد داخل مخزن دیگ بخار، گازهای داغ انتهای کوره را از داخل آنها عبور داده و در نهایت از قسمت دودکش دیگ بخار خارج می شدند ولی از مشکلات این دیگ ها وجود سطح عایقکاری شده در انتهای کوره بود که علاوه بر اتلاف انرژی حرارتی ، حین کار ویا انتقال در اثر لرزش و ضربه های ایجاد شده در کوره باعث صدمه دیدن عایقکاری و در نتیجه سوختن فلز انتهای کوره میگردد که این مشکل در نسل بعدی دیگ های بخار صنعتی با قرار دادن انتهای کوره در داخل آب تا حدود زیادی مرتفع گردید و سطح حرارتی دیگ افزایش یافت در این طرح که به نام طرح لوله آتشی و عقب تر (FierTube & WetBack) معروف میباشد به طور معمول بسته به ظرفیت دیگ بخار از لحاظ انرژی حرارتی ورودی ، به دو صورت : دوپاس و سه پاس ، طراحی و ساخته میشوند راندمان حرارتی در دیگ های جدید با اعمال سطح حرارتی قابل قبول و عایق کاری مناسب به حدود ۸۵٪ قابل دستیابی میباشد



انواع دیگ های بخار و طبقه بندی آنها:

دیگ بخار پرفشار به دیگی اطلاق می شود که بخار آب را در فشاری بالاتر از ۱۵ psig تولید نماید. در پایین تر از فشار مذکور دیگ در گروه دیگ بخار کم فشار قرار می گیرد. دیگ های کوچک پرفشار در گروه دیگ های کوچک قرار می گیرند.

مطابق بخش یک آیین نامه دیگ و مخازن تحت فشار مربوط به انجمن آمریکایی مهندسی مکانیک یا به طور اختصار ASME دیگ پرفشار کوچک به دیگ پرفشاری اطلاق می شود که از محدوده های زیر تجاوز ننماید:

قطر داخلی پوسته ۱۶ in , حجم کلی بدون روکش و عایقکاری ۳۵ Ft³ , و فشار ۱۰۰ psig .

چنانچه دیگ از هر یک از محدوده های مذکور تجاوز نماید، به آن دیگ نیرو می گویند. مقرارت مربوط به جوشکاری در اینگونه دیگ های کوچک به سختی دیگ های بزرگ نیست.

دیگ نیرو یک دیگ بخار آب یا بخار می باشد که در بالاتر از فشار ۱۵ psig کار کرده و ابعادهای آن از ابعاد دیگ کوچک تجاوز نماید. این تعریف شامل دیگ های آب گرم گرمایشی یا آب گرم مصرفی که در فشار بالاتر از ۱۶۰ psig و دمای ۲۵۰۰ F کار کند، اطلاق می شود.

دیگ اب گرم گرمایشی عبارتست از دیگی که در آن هیچگونه بخار آبی تولید نمی شود، لیکن ابگرم ان به منظور گرمایش در یک مدار به گردش درآمده و مجدداً به دیگ باز می گردد. فشار آب در اینگونه دیگ ها را در نقطه خروجی آن نباید از ۱۶۰ psig و دمای آن از ۲۵۰۰ F تجاوز نماید. اینگونه دیگ ها را دیگ گرمایشی کم فشار می نامند، که مطابق بخش ۵ آیین نامه دیگ های گرمایشی از آیین نامه ASME ساخته می شوند. چنانچه فشار یا دما، از این حدود تجاوز نماید، دیگ باید به مانند دیگ های پرفشار و طبق آیین نامه ASME طرح شود.

دیگ آبگرم مصرفی به دیگی گفته می شود که بطور کامل پر از آب بوده، و برای استفاده خارجی، آبگرم تولید می نماید. (آبگرم دیگر به دیگ باز نمی گردد) فشار آن از ۱۶۰ psig و دمای آن از ۲۵۰۰ F تجاوز نمی کند. این نوع دیگ ها را نیز در زمره دیگ کم فشار قرار می دهند و آنها را مطابق بخش چهار (دیگ های گرمایشی) آیین نامه ASME می سازند. چنانچه فشار یا دما از این حد تجاوز نماید این دیگ ها باید مطابق دیگ های پرفشار طراحی شوند.

دیگ استفاده کننده ضایعات حرارتی از ضایعات حرارتی که محصول فرعی پاره ای از فرآیند های صنعتی است، از قبیل گازهای داغ ناشی از کوره بلند کارخانه ذوب آهن یا محصولات ناشی از احتراق خروجی از یک توربین گازی، یا محصولات فرعی یک فرآیند صنعتی، استفاده می کند. ضایعات حرارتی از روی سطوح تبادل کننده گرما عبور نموده و آبگرم یا بخار آب تولید می شود.

برای ساخت این نوع دیگ ها، همان مقررات ساخت آیین نامه ASME استفاده شده برای دیگ های آتش شده بکار برده می شوند. قطعات کمکی و ایمنی مربوط به این دیگ ها بطور معمول مطابق آیین قطعات در دیگ های دیگر می باشند.

دیگ یکپارچه به دیگی اطلاق می شود که بطور کامل در کارخانه ساخته و سوار شده باشد. این دیگ دارای انواع لوله آبی و لوله دودی یا چدنی بوده و دستگاه های احتراق، تجهیزات کنترل و ایمنی را نیز به همراه خود دارد. دیگی که در کارخانه ساخته شده و سوار می شود نسبت به دیگ مشابه ای که دارای همان ظرفیت بخاردهی بوده و در خارج از کارخانه و در محل بهره برداری، نصب و سوار می شود، ارزاتر است. گرچه دیگ ساخته و سوار شده در کارخانه به طور معمول حاضر و آماده تحویل نمی باشد، ولی نسبت به دیگی که در محل بهره برداری ساخته و سوار می شود دارای زمان ساخت و تحویل کمتری است. زمان نصب و راه اندازی آن نیز نسبتاً کمتر است. در کل می توان گفت که کار در کارگاه بطور معمول بهتر و قابل رسیدگی بوده و هزینه کمتری دارد.

دیگ فوق بحرانی به دیگی اطلاق می شود که در فشاری بالاتر از فشار بحرانی یعنی $psig 320.6.2$ و دمای اشباع $770.5.40$ کار کند. بخار آب و خود آب دارای فشار بحرانی $psig 320.6.2$ می باشند. در این فشار، بخار آب، دارای جرم ویژه یکسانی هستند و به معنای این است که بخار، تا حد آب فشرده شده است. هنگامی که این مخلوط در بالاتر از دمای اشباع $770.5.40$ دما ببیند، بخار خشک فوق داغ تولید شده که برای کار در فشارهای بالا مناسب است. این بخار خشک به ویژه برای به حرکت درآوردن مولدهای توربینی مناسب است.

دیگ فوق بحرانی به دو نوع یکسره و باز چرخشی تقسیم می شوند. هر دو نوع در محدوده فوق بحرانی یهنی بالاتر از $psig 320.6.2$ و $770.5.4$ کار می کنند. در این محدوده خواص مایع و بخار اشباع یکسان است. هیچگونه تغییری در فاز مایع-بخار صورت نمی گیرد و از اینرو چیزی بنام سطح آب وجود نداشته و به استوانه بخار (steam drum) احتیاجی نیست.

دیگ ها را همچنین می توان طبق طبیعت مواد استفاده آنها گروه بندی کرد. گروه بندی رایج عبارت است از: دیگ ساکن، قابل حمل، لکوموتیوی (ساخت این گونه دیگ ها امروزه متداول نیست) و دریایی که به صورت زیر تعریف می شوند:

دیگ ساکن به دیگی اطلاق می شود که بطور همیشگی بر روی زمین نصب شده است.

دیگ قابل حمل به دیگی اصلاقی می شود که بر روی کامیون، کشتی کوچک رودخانه ای و یا هر نوع وسیله نقلیه نصب می شود.

دیگ لکوموتیوی دیگی است که بریا کشیدن وسیله نقلیه بروی ریل راه آهن طرح می شود.

دیگ دریایی به دیگی گفته می شود که بطور معمول ارتفاع آن کم بوده و برای کشتی های مسافری و باری اقیانوس پیما طرح می شوند. سرعت بخار دهی این نوع دیگ ها زیاد است.

نوع ساختمان دیگ ها را نیز می توان به ترتیب زیر گروه بندی کرد:

دیگ چدنی، واحدهای گرمایش کم فشاری هستند که قطعات فشاری آن توسط ریختگری از چدن، برنز، یا برنج ساخته می شوند. این دیگ ها را بیشتر بر اساس شیوه ای که محفظه های ریختگری شده آن برهم سوار می شود گروه بندی می کنند. این محفظه ها توسط پستانک های فشاری، سوله های خارجی و پستانک پیچی به همدیگر محکم می شوند. سه نمونه از دیگ های چدنی عبارتند از:

۱- دیگ های پره ای عمودی که پره ها بطور عمودی بروی یکدیگر قرار گرفته و توسط پستانک های فشاری یا پیچی به یکدیگر متصل می شوند.

۲- دیگ های پره ای افقی که پره ها بطور افقی پهلوی هم فرار می گیرند. در این وضعیت طرز فرار گرفتن پره ها نسبت به هم مانند پشت سرهم قرار گرفتن برش هایی از یک قالب نان مکعب مستطیلی است.

۳- دیگ های چدنی کوچک که با ریختگری بصورت یکپارچه ساخته می شوند. این دیگ ها در گذشته جهت تهیه آب گرم بکار می رفتند.

دیگ های فولادی می توانند از نوع پرفشار یا کم فشار باشند و امروزه بطور معمول از ساختمان جوشی برخوردار هستند. این دیگ ها به گروه های زیر تقسیم می شوند:

۱- دیگ لوله دودی که در آنها محصولات احتراق از داخل لوله ها عبور می کنند در حالیکه آب پیرامون لوله ها را دربر می گیرد.

۲- دیگ لوله آبی که در آنها آبل از داخل لوله ها و محمولات احتراق از اطراف آنها عبور خواهد کرد.

دیگ های لوله دودی بطور معمول تا ظرفیت 7000 lb/hr و تا فشار 300 psig ساخته می شوند. در شرایط بالاتر از این حدود، دیگ های لوله آبی مورد استفاده قرار می گیرند. دیگ های لوله دودی به دیگ های پوسته ای نیز معروفند. در اینجا، آب و بخار آب درون پوسته محبوس می باشند.

این نوع دیگ حجم بخاری را که دیگ می تواند تولید نماید محدود می کند. در رابطه با فشار پوسته های بزرگ، ضخامت بسیار زیادی را احتیاج خواهد داشت و این موضوع ساخت آنها را گران می نماید.

گامی هرچند کوتاه به دنبال دیگ بخار کورنیش تک کوره ای برداشته شد و و آن دیگ بخار بزرگتر دو کوره ای لانکاشیر بود که تحت امتیاز FAIRBAIRN و HETHERINGTON در سال ۱۸۴۴ به ثبت رسید (شکل ۱ - ۳) که تا اوایل دهه ۱۹۵۰ میدان دار دیگ های صنعتی بود. احتمالاً بیش از هزار عدد از این دیگ بخار هنوز در انگلستان کار می کنند، گرچه امروزه آنها را با نوع پیرصرفه تر و چند لوله ای به نام "ECONOMICS" جایگزین می نمایند .

باید در نظر داشت که هر چه سطوح در معرض حرارت دیگ بخار زیادتر باشد مقدار حرارت جذب شده از مصرف مقدار معینی سوخت، یعنی بازده بازیافت حرارتی، بیشتر خواهد بود. برای این منظور تعداد بیشماری

لوله های باریک که از آن ها گازهای گرم جریان دارد و در داخل اب فرار دارند عامل ازدیاد سطوح گرم هستند، و در عین حال نیازی به کانال گازهای گرم در پایین دیگ بخار و دو طرف آن نخواهد بود. این نوع دیگ ها یکپارچه می باشند. هر چه لوله ها بلندتر و باریکتر باشند، سطوح انتقال حرارت کارایی بیشتری خواهند داشت. این دیگ های چند لوله ای برای ظرفیت معینی، کم حجم تر از نمونه های پیشین خود هستند و نیازی به آجرکاری ندارند. این دیگ ها در کشتیها و لکوموتیوها که فضا نقش تعیین کننده دارد، کاربرد زیادی دارند .

تعدادی از دیگهای اولیه کشتیها جهت استفاده بیشتر از فضا، دارای سطح مقطع چهار گوش بودند که بر اثر پارگی گوشه ها، منجر به انفجارات شدید این دیگها گردید.

ظروف تحت فشار داخلی، تمایل دارند که به حالت کروی درآیند و بنابراین مکانهای غیر کروی ظروف، تحت تنش شدید قرار دارند. نزدیکترین شکل عملی و ممکن دیگ های بخار، به خصوص اگر انتهای دیگ ها گنبدی شکل باشد، استوانه است. طرحی از دیگ استوانه ای در اوایل سالهای ۱۸۰۰ به ثبت رسید که هدف آن تحمل فشار 200 bar بود. در این طرح پیشنهاد شده بود که چنین استوانه ای باید از جنس مس و با ضخامت 46 mm ساخته شود، ولی سابقه ای از ساخت این نوع دیگ در دست نیست . همچنین قرار بود این دیگ برون سوز باشد که به نوبه خود موجب مشکلاتی می گردید، ولی شکل کروی دیگ، برون سوز بودن دیگ را توجیه نمی کند. امروزه نیز با داشتن آلیاژهای فولادی مختلف، در سطح جهانی از ساخت دیگهای لوله- آتشی با ضخامت بیش از 22mm که در معرض آتش یا گازهای داغ باشد، خودداری می شود . این امر به منظور جلوگیری از تنشهای حرارتی فوق العاده در فلز می باشد .

سرانجام همه دیگ های کشتیها را استوانه ای ساختند ولی به علت محدودیت وزن و اندازه، از آجر کاری و ساخت کانالهای جانبی خودداری گردید و از دیگهای چند لوله ای و کوره های درون سوز- تا چهار کوره - استفاده شد. گازهای داغ کوره ها وارد محفظه های جداگانه ای با دیواره های لوله - ای در عقب کوره می گردید و از آنجا با یک چرخش 180 ° وارد یک سری لوله های با قطر حدود 75 mm می شد. بعد از

عبور از داخل این لوله ها، کازها وارد دودکش فیفی شکل می شدند. این دیکهای بخار را دیک های بخار دوکاناله می نامیدند .

بعدها، دیک های سه کاناله ساخته شد که در آن، گازها از طریق یک سری لوله های دیگر به قسمت عقب کوره برمی گشت. این دیک ها را دیک های اسکاچ دریایی می نامیدند که از سالهای ۱۸۵۰ تا پیدایش موتورهای دیزل و جایگزینی آنها کاربرد داشتند .

به تدریج دیک های اسکاچ را در خشکی به کار بردند و چون محدودیت جا نبود از آجر کاری نیز استفاده شد و آنها را بلند تر ساختند. این دیک ها را در انگلستان به نام اقتصادی و در آمریکا هنوز به نام اسکاچ می شناسند .

این دیک ها به علت ارزانتر، با صرفه تر و کوچکتر بودن از دیگهای لانکاشیر تا اوایل سالهای ۱۹۳۰ با آن به رقابت پرداختند . دیک های اسکاچ فوق ابتدا داری قسمتهای عقبی عایق کاری شده بودند، ولی بعدها این دیواره ها را با دیواره های لوله - آبی پوشاندند . شکل های ۱ - ۴ / الف و ۱ - ۴ / ب به ترتیب دیگهای اقتصادی دو کاناله با محفظه های عقبی عایقکاری شده که به نام دیگهای DRY-BACK معروفند را نشان می دهند .

دیک های سه کاناله اقتصادی دارای مشکل عمده ناشی از استفاده صفحه لوله مشترکی جهت کانل دوم و سوم بودند. گازهای ورودی به کانال دوم داری دمای $1000^{\circ}C$ بود که پس از خروج از کانال سوم تا $250^{\circ}C$ تقلیل می یافت. بنابراین، صفحه لوله در معرض دو اختلاف دمای شدید قرار داشت که باعث تنش و در نهایت نشتی انتهای لوله ها می شد .

در ۱۹۳۵ شرکت لینکلن در **Hornsby و Ruston** ساخت دیک سه معبره جدیدی را بر اساس دیک های سه کاناله دریایی اسکاچ به ثبت رساند .

طرح جدید مشکل صفحه لوله های مشترک را که تحت دو اختلاف دمای زیاد فرار داشتند از طریق ایجاد صفحه لوله جداگانه برای هر یک از کانالها، برطرف ساخت

دیواره های محفظه عقبی کوره با دیواره لوله - آبی مجهز شد و دیواره جلویی، خروجی گازهای کوره و ورودی گازها به سری لوله های معبر دوم را تشکیل می داد .

این دیواره لوله آبی در انتهای کوره دیگ بخار که به نام WET_BACK نیز نامیده می شد این مزیت را داشت که سطوح عایقکاری اتلاف حرارت را تبدیل به سطوح مفید و جاذب حرارت نمود .

گازهای کوره پس از عبور از جلوی دیگ بخار، در محفظه دود مقابل دیگ بخار، تغییر جهت داده و از طریق سری لوله های کانال سوم به قسمت عقبی دیگ وارد می شود. این سری لوله به صفحه لوله جداگانه ای در عقب دیگ بخار، متصل می گردند .

صفحه لوله جلویی دیگ بخار، سری لوله های کانال دوم و ورودیهای کانال سوم را در خود جای داده که بدین طریق مشکل اختلاف دما وجود ندارد زیرا دمای گازهای خروجی کانال دوم و ورودی کانل سوم تقریباً یکسان هستند. این ساختار جدید دیگ بخار امروزه در همه جا رواج دارد .

پیشرفت عمده دیگری نیز در آمریکا صورت گرفت . در زمان جنگ جهانی دوم نیاز شدیدی به تامین بخار در تاسیسات جبهه ها احساس گردید و ضرورت داشت که نصب و راه اندازی این دیگ ها در کمترین زمان انجام شود. قبل از این، پوسته دیگ بخار با قطعات آتشکاری، تلمبه ها، شیرها و دمنده های تولید کنندگان مختلف، در محل نصب، تجهیز می گردید ولی از این زمان به بعد دیگ بخار با همه این قطعات به صورت

کامل و آماده به کار نصب می کردید. این نوع دیگ بخار را به نام پکیج یا یک پارچه می نامند و شامل دی با همه این قطعات به صورت کامل و آماده به کار نصب می گردید .

این نوع دیگ بخار را به نام پکیج یا یک پارچه می نامند و شامل دیگ بخار اسکاچ سه معبره و **dry-back** است که بر روی یک پایه نصب شده است. پس از جنگ، این نوع دیگ های یکپارچه عمومیت یافتند و جزء دیگ های با ظرفیت بسیار بالای لوله - آتشی، سایر دیگ ها را از این نوع ساختند .

دیگ های کوچکتتر، مخصوص دیگ های آب گرم کن را از نوع شعله - معکوس می سازند . کوره این دیگها فقط در یک طرف باز است و شعله مشعل در مرکز کوره به سمت عقب کوره که بسته است می تابد. گازهای حاصل از احتراق به صورت متحدالمرکز (**concentric**) در اطراف شعله به عقب برمی گردند. تنها کانال لوله های این کوره نیز به طور متحدالمرکز در اطراف کوره قرار گرفته است . چون این دیگ فقط یک کانال دارد، وسایلی جهت تشدید اغتشاش گازهای گرم در نظر گرفته شده که باعث افزایش انتقال حرارت و کاهش دمای گازهای خروجی می شوند .

ناحیه انتهایی کوره عملاً به علت بسته بودن آن و بالا بودن فشار، از نظر جریان گاز ها راکد و غیر فعال است. قابل ذکر است که طراحی مشعل به نحوی است که ایجاد شعله ای بلند ، باریک و نفوذی می نماید. شعله ای کوتاه و چتری باعث کشیده شدن توسط گازهای گرم خروجی و ادامه احتراق در لوله های دیگ بخار است که منجر به افزایش دمای فلز در این نواحی می گردد .

بازده دیگ بخار لانکاشیر بر اساس ارزش گرمایی ناخالص سوخت و در شرایط مطلوب **65%** است، حال آن که دیگ امروزی، با همان شرایط، **80%** بازدهی دارد. نتیجه این امر نشان دهنده حدود **20%** صرفه جویی در سوخت است.

اب رسانی برای دیگ بخار:

سیال اصلی استفاده شده در دیگهای بخار آب است باید این سیال طی مراحل آماده و وارد دیگ شود. قسمت‌های اصلی آبرسانی عبارتند از:

۱. منبع آب صنعتی مانند چاه عمیق

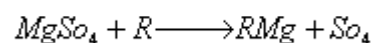
۲. فیلتر شنی: ذرات جامد معلق در آب را جمع آوری می‌کند که از طبقات شنی، سیلیسی و سنگی تشکیل شده است. شیرها در این قسمت و فیلتر بعدی بگونه‌ای طراحی شده‌اند که بعد از ساعاتی کار و کثیف شدن بتوان جریان آب را به صورت معکوس از آن عبور داد تا تمیز شوند.

۳. سختی گیر: سختی گیری برای جدا کردن دو عنصر کلسیم و منیزیم بکار میرود. اگر این دو عنصر از آب جدا نشوند همان اتفاقی در دیگ بخار می‌افتد که در کتری رخ می‌دهد. در واقع رسوبات سطح بین لوله های آتش کار با آب را کاهش میدهد و انرژی بیشتری برای تولید میزان معینی فشار مصرف می‌شود. همچنین پاکسازی این لوله ها علاوه بر هزینه بر بودن خط تولید را نیز متوقف می‌کند.

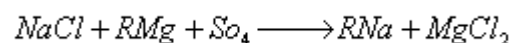
این بخش از دو مخزن تشکیل می‌شود مخزن اول شامل بافت رزین سه بعدی بوده که با منیزیم ترکیب شده RMg بوجود می‌آورد در نتیجه سختی آب از بین می‌رود ولی نمی‌توان آن را به فاضلاب هدایت کرد چون رزین از دست خواهیم رفت. پس از مخزن دوم به عنوان مخزن احیا استفاده می‌کنیم در این مخزن آب‌نمک وجود دارد. واکنشهای به صورت زیر انجام می‌شود زیر را با ترکیب رزین و منیزیم انجام میدهد.

واکنش اول :





واکنش دوم :



اکنون وارد فاضلاب شده و RNa مجدداً با سولفات منیزیم ترکیب شده و تولید RMg می‌نماید که با انجام چرخه‌ای این واکنش‌ها رزین مجدداً احیا شده و $MgCl_2$ از چرخه خارج می‌شود.

اکنون سختی آب گرفته شده ولی برای وارد شدن به داخل دیگ هنوز مشکلاتی وجود دارد:

۱. اکسیژن محلول در آب که باعث اکسید شدن خط لوله می‌شود.

۲. دمای پایین آب که به دیگ بخار که در دمای بالا است شک وارد می‌کند.

برای حل مشکلات بالا از ریگازور استفاده می‌کنند که مخزنی است حاوی آب بدون سختی که از مرحله قبل تولید شده و قسمتی از بخار تولیدی دیگ با فشار وارد آن می‌شود تا علاوه بر بالا رفتن دمای آب اکسیژن موجود به صورت حباب از آن خارج شود.

اب موجود میتواند مورد استفاده دیگ بخار فرار گیرد که توسط پمپ با دبی بالا دیگ را تغذیه می کند. این تغذیه هم می تواند اتوماتیک باشد و هرگاه سنسورهای دیگ سطح آب داخل دیگ را کافی تشخیص ندادند به پمپ فرمان تغذیه دهند و یا به صورت دستی و توسط اوپراتور پمپ روشن شود.

سیستم گازرسانی برای دیگ بخار:

لوله گاز شهری با یک کلید قطع و وصل اصلی وارد مدار دیگ بخار می شود. بعد از این کلید مانومتر فشار خط را نشان می دهد که حدود $2/5$ بار است اما این فشار برای مشعل خیلی زیاد و خطرناک است، پس باید از رگلاتور که فشار شکن است استفاده می کنیم . همچنین قبل از رگلاتور از یک فیلتر برای مواد جامد معلق در گاز استفاده می کنیم سپس گاز وارد رگلاتور می شود. با استفاده از مانومتر می توان دریافت فشار گاز بعد از رگلاتور به 25 میلی بار کاهش یافته است.

گاز فشار پایین بعد از عبور از یک سوپاپ اطمینان وارد دو شیر برقی می شود که مستقیماً توسط مشعل هدایت می شوند. شیر برقی شماره یک به صورت تک ضرب فقط حالت روشن و خاموش دارد که یا گاز را قطع میکند یا وصل، اما شیر شماره دو به صورت تدریجی می تواند میزان گاز عبوری را کم و زیاد کند. این گاز مستقیماً وارد مشعل می شود.

مشعل:

در دیکه‌های بخار معمولاً از مشعل‌های دو مرحله‌ای استفاده می‌کنند. یک سروو موتور میزان کاز و هوای ورودی را تنظیم کرده و وارد محفظه تخلیط می‌نماید. در خروجی این محفظه دو الکتروود با فاصله وجود دارند که با عبور جریانی حدود ۱ الی ۱۰ میکروآمپری ایجاد جرقه می‌نماید تا شعله تشکیل شود. اما اگر این جرقه تحت هر شرایطی نتواند شعله ایجاد کند سنسور نوری (سلول UV) که در مدار وجود دارد مشعل را ریست می‌نماید چون در غیر اینصورت گاز در محفظه جمع می‌شود که بسیار خطرناک است.

این مشعل‌ها با یک رله هوشمند کار میکنند که تمامی قسمت‌های مشعل را تحت کنترل دارد و هر مرحله از کار مشعل (مانند فن تنها، جرقه، شعله کامل، ریست و ...) را با رنگ‌های مختلف نشان می‌دهد.

در هنگام روشن شدن فن مشعل به مدت ۴۰ ثانیه کار میکند تا گازهای سوخته نشده که در محفظه باقیمانده کاملاً خارج کند سپس گاز نیز وارد شده و مشعل جرقه میزند تا شعله تشکیل شود.

فصل دوم

انتخاب دیگ بخار لوله آشی

انتخاب نوع دیگ:

انتخاب نوع دیگ مورد نیاز جهت کاربری خاص بستگی به عوامل زیادی دارد که از آن جمله می توان از محدودیت عمده طرحهای موجود از نظر ظرفیت، فشار و دمای بخار نام برد. این محدودیت ها در سطح گسترده ای در بین سازنده ها متفاوت است و بستگی به تخصص آنها در تولید انواع دیگ های بخار دارد. بنابراین هر نوع محدودیتی که در این فصل به آن اشاره می شود در ارتباط با مسایل کلی صنعت است (جدول ۱-۲) به طور نمونه ممکن است سازنده ای برای مورد خاصی، دیگ بخار لوله - آبی کوچکی را معرفی نماید. هزینه ها نیز ممکن است بین یک سازنده و سازنده دیگر فرق کند و امر انتخاب را مشکل سازد. مقایسه هایی که در این فصل شده با این فرض است که همه انواع دیگها توسط یک سازنده ساخته شده است. شاید عامل عمده در تاسیس یک کارخانه، هزینه اولیه آن است. با رسیدن پیشنهادات مختلف قیمتها و تولیدات یکسان، بایستی به ارزیابی شاخصه های مهندسی پرداخت و بهترین طرح را انتخاب نمود و به نکات زیر توجه نمود:

مصرف نیروی برق لوازم کمکی، سهولت پاک کردن دیگ، مقدار انتقال حرارت قطعات مختلف دیگ، کیفیت آب تغذیه مورد نیاز و توانایی کارکنان عملیاتی موجود کارخانه.

انواع دیگهای موجود مورد نیاز صنایع از این قرار است:

-لوله - آتشی یا شل (SHELL)

-ترکیبی (ترکیب لوله - آتشی و لوله - آبی)

-لوله - آبی

دیگ های لوله - آبی از نظر شیوه ساخت از این قرار هستند:

-مونتاز در کارخانه

-مدولار (ساخت قطعات یک پارچه و وصل آنها در محل)

-مونتاز در محل

لوله - آبی	لوله - آتشی	
تقریبا نامحدود است.	با آتشکاری عادی محدود به ۲۰ - ۳۰	فشار
	bar (۲۰ bar در دیگهای بزرگ) با سوخته‌های ضایعاتی فشار بالاتر است.	
تقریبا نامحدود است	تقریبا محدود به mw۲۰	ظرفیت
به علت بزرگ بودن کوره قابلیت تطابق با هر نوع سوخت را دارد.	تمام سوخته‌های تجاری و بعضی ضایعات تصفیه شده.	سوخت متناسب
در مقایسه با لوله - آتشی وقتی کاربری یکسانی داشته باشند	در کاربریهای یکسان با لوله - آبی، ارزان تر است (شکل ۲-۱۲)	هزینه
گران تر است (شکل ۲-۱۳)		
قابلیت مونتاز در محل یا در کارخانه را دارد.	یکپارچه است و پس از وصل به سرویس های جانبی، آماده کار می گردد.	نصب
% ۸۵-۹۰ (ارزش گرمایی خالص)	% ۸۰-۸۵ (ارزش گرمایی ناخالص)	بازده
بستگی به نوع سوخت. معمولا اکونومایزر و گرم کن هوا طبق استاندارد وجود دارد . استفاده از هر دوی آنها باعث افزایش بازده است.	بستگی به نوع سوخت، با اضافه کردن اکونومایزر بازده بیشتر می شود.	
مطابق استاندارد BS2486 ولی با	مطابق استاندارد BS2486	آب تغذیه

دفت بیشتر از لوله - آتشی	ایجاد کرما	
ایجاد گرما و نیرو	هر ۱۴ ماه	کاربرد اصلی
هر ۲۶ ماه		بازرسی

دیگ لوله - آتشی:

این دیگها به اشکال عمودی و اکثرا افقی ساخته می شوند، گرچه پیشرفتهای اخیر احتراق در بسترهای سیال باعث استقبال از دیگهای عمودی به خاطر فضای کافی بالای بستر احتراق موجود در کوره شده است . یکی از عوامل محدود کننده ظرفیت دیگهای عمودی به 3.5 mw محدودیت فضای آزاد شدن بخار (در مخزن بخار) است. عامل دیگر مساله قرار دادن سطوح داغ در درون یک پوسته عمودی است .

این دیگ شامل کوره افقی با قطر 0.5 m تا 1.8 m بسته به ظرفیت تولید آن است . برای ظرفیتهای بالاتر از 10 mw (با سوخت نفت یا گاز) و 6 mw (با سوخت زغال) دو کوره مجاور هم در نظر گرفته شده است. دیگهای لوله - آتشی را به صورت از قبل طراحی شده در ظرفیتهای استاندارد می سازند. ولی در موارد ویژه دیگهای خاص نیز ساخته می شوند. چون تمامی سطوح انتقال حرارت، از جمله مخزن آب و مخزن بخار، همه بایستی در یک پوسته (SHELL) قرار گیرند، حج پوسته نسبت به ظرفیت کلی دیگ نسبتا بزرگ است ، که امکان جواب گویی تولید فوق العاده بخار را در ساعات اوج مصرف فراهم می سازد. در واقع می توان با افزایش فوق العاده ظرفیت پوسته، سطوح حرارتی زیادتری را در آن جای داد و این امر اساس دیگهای ذخیره حرارتی را تشکیل می دهد (

محدودیت دیگ لوله - آتشی

اندازه و ظرفیت

در انگلستان حمل بار در جاده ها محدود به عرض 4.3m می شود، که البته این امر بستگی به وضعیت مسیر انتخاب شده دارد. این محدودیت باعث محدود شدن طراحی ظرفیت تولیدی به 20mw سوخته های نفت یا گاز) و 12mw (سوخت زغال) برای هر دیگ لوله - آتشی گردیده است. برای قرار دادهای خاص، می توان تسهیلات ویژه ای از اداره کل ترابری در اعمال محدودیتها کسب کرد.

فشار

کوره استوانه ای شکل دیگ لوله - آتشی در معرض متلاشی شدن و در هم پیچیده شدن بر اثر فشارهای خارجی وارده بر آن است. افزایش ضخامت دیواره ی کوره باعث افزایش حرارتی ناشی از شیب حرارتی دو ظرف فلزی می گردد. از طرف دیگر استانداردهای ملی حداکثر ضخامت جداره کوره را 22mm تعیین کرده و طبق فرمولی فشار عملی ایمن را می توان محاسبه نمود. در عمل این فشار بین 30 bar برای کوره های کوچک تا 18 bar برای کوره های بزرگ متغیر است. بنابراین کوره عامل اصلی محدود کننده فشار در ساخت دیگهای لوله - آتشی به شمار می رود. از طرف دیگر کوره های (بازیافت) ضایعات حرارتی که نیازی به کوره ندارند، برای تهیه فشارهای بالاتر کاربرد دارند. از این نوع کوره ها در دیگهای ترکیبی هم استفاده می شود.

کوره دیگ لوله - آتشی به علت محدودیت اندازه خود، در به کارگیری وسایل آتشکاری به خصوص احتراق سوخته های پر حجم نظیر ضایعات نخيلات و تفاله کارخانجات نیشکر، نیز محدود هستند ولی می توان از ادوات آتشکاری احتراق سوخته های فسیلی به خوبی استفاده کرد.

بنابراین برای بالا بردن ظرفیت به میزان بالاتر از توانمندیهای بایستی از دیگهای ترکیبی یا لوله - آبی استفاده کرد. در سایر موارد می توان از دیگهای لوله - آتشی ارزان تر و آماده نصب استفاده نمود.

امروزه تصور کلی بر این است که دیگهای یکپارچه (پکیج) لوله - آتشی را می توان به راحتی حمل، نصب، وصل و در عرض چند روز آماده بهره برداری نمود. تمام این مراحل البته شدنی است، ولی در موارد زیادی، موضوعاتی فرعی نظیر نیروهای کار خارجی و مقررات اداری موجب تاخیر چشمگیری می گردند، بنابراین هماهنگی بین مقاطعه کاران ضروری است.

دیگهای لوله - آتشی را می توان مجهز به داغ کننده های بخار یا اکونومایزرها یا هر دوی این وسایل نمود. از داغ کننده های بخار در موارد رساندن بخار به مصرف کننده ها در فواصل دور، یا نیروگاه های متوسط برق استفاده می شود. از اکونومایزرها امروزه در سطح وسیعی در دیگهای گازسوز استفاده می شود، ولی در احتراق سوخته های مایع نفتی و زغالی احتمالی تقطیر مواد اسیدی وجود دارد. چنین مسایلی را می توان با طراحی دقیق، یا با اضافه کردن افزودنیهای خنثی کننده به سوخت یا به جریان هوای احتراق حل نمود. با استفاده از امکانات فوق می توان بازده دیگهای لوله - آتشی را تا حد بازده دیگهای لوله - آبی، یعنی 85% یا بالاتر (براساس ارزش حرارتی ناخالص سوخت) ارتقا داد.

در این دیگها، قسمت لوله - آتشی دیگ فاقد لوله های قطور گازهای احتراق است و این امر مشکل عمده دیگهای لوله - آتشی یعنی محدودیت فشار و ظرفیت تولیدی آن ها را بر طرف می سازد. ظرفیت دیگهای ترکیبی وابسته به توانایی ساخت پوسته دیگها توسط سازندگان و مقررات حمل جاده ای می باشد. حداکثر فشار بخار با دمای صفحه - لوله کنترل می شود که این دما طبق استاندارد BS2790 مشخص شده است. در مورد احتراق سوخته های جامد، این محدودیتها تقریباً 11kg s^{-1} (26mw) در فشار 32bar و دمای

۴۰۰°C می باشد. قطعات دیکهای ترکیبی را معمولاً به صورت مجزا یا مدول، به محل حمل می کنند و قطعات عمده آن شامل کوره و اجزاء دیگ لوله - آتشی است که در کارخانه مونتاژ شده اند .

راهنمای راه اندازی دیگ های بخار لوله آتشی (فایر تیوب):

*ساختار کلی دیگ های بخار فایر تیوب سه پاس:

دیگ های بخار لوله آتشی سه پاس معمولاً ، شامل اجزاء ذیل می باشند

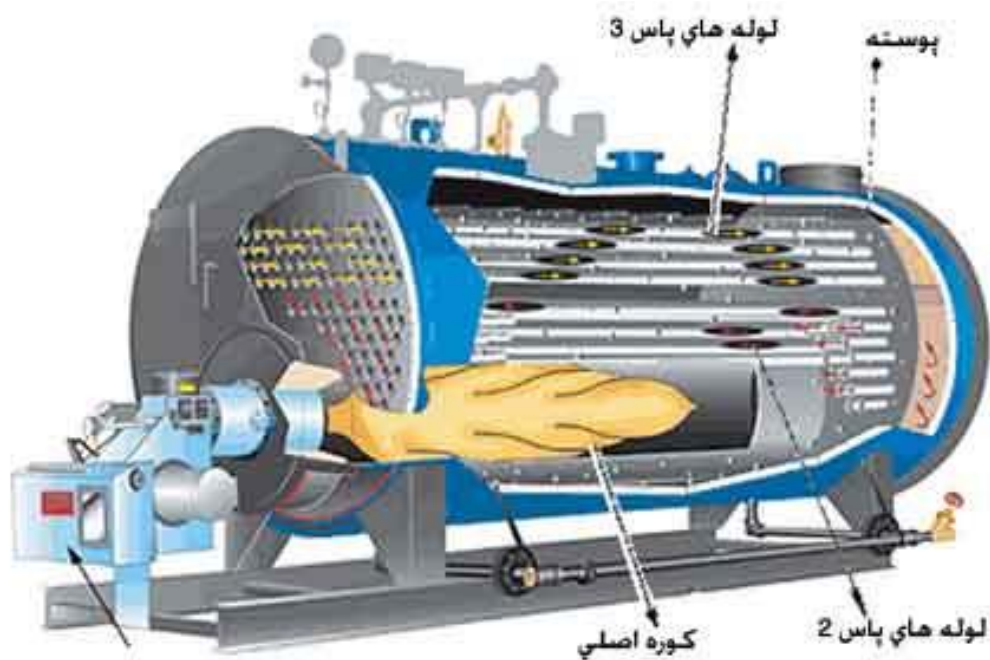
۱- بدنه اصلی یا پوسته (shell) که شامل استوانه ای می باشد که قطعات دیگ بخار در داخل آن قرار می گیرند.

۲- صفحه لوله ها یا صفحه های جلو و عقب (Tube plates) که در دو طرف پوسته قرار گرفته است و لوله های پاس ۲ و ۳ روی آن نصب می گردند

۳- کوره دیگ (Furnace) که پاس ۱ یا مسیر اول ورود گازهای داغ را ایجاد می نماید

۴- کوره لنگ یا کوره برگشتی (WRAPPER) که سبب اتصال بین پاس ۱ و ۲ رو برای گازهای داغ فراهم





*مختصری در خصوص مراحل ساخت دیگ بخار :

۱-تهیه نقشه فنی مطابق استاندارد ملی ایران

۲-تهیه متریال دیگ بخار مطابق نقشه فنی

۳-انجام مراحل برشکاری و سوراخکاری ورقهای دیگ بخار و انجام مراحل عملیات نورد و مونتاژ اولیه

۴-شروع مراحل جوشکاری مطابق دستورالعمل های تایید شده واحد تولید دیگ بخار

۵-بازرسی فنی جوش های دیگ بخار و انجام آزمایش های غیر مخرب (RT-UT-PT-VT) توسط شرکت

های مورد تایید

۶-قراردادن لوله های پاس های مختلف دیگ بخار و انجام جوشکاری های مربوطه

۷-نصب نازل ها و اتصالات دیگ بخار و انجام جوشکاری ها

۸-انجام تست هیدرواستاتیک با اب و در ۱.۵ برار فشار طراحی دیگ بخار

۹-انجام مراحل عایق کاری و ایزولاسیون داخلی و خارجی دیگ بخار

۱۰-انجام روکش کاری و نصب تجهیزات و لوازم پکیج دیگ بخار

*پاس های حرارتی در دیگ های بخار:

به هر مرحله از عبور جریان گازهای داغ و دود ، در دیگ های بخار یک پاس اطلاق می گردد به طوریکه : پاس اول فقط شامل کوره و کوره برگشتی می باشد یعنی اولین مرحله ای که آتش و گازهای داغ توسط مشعل به آنجا وارد میشوند . پاس دوم نیز از کوره برگشتی به داخل لوله های پاس دوم تا جلوی دیگ که اتافک یا محفظه دود میباشد . و پاس سوم نیز به لوله هایی اطلاق میگردد که از صفحه جلویی(صفحه سمت مشعل دیگ) در جهت صفحه عقبی (سمت دودکش) ، قرار داده شده اند .

*وجود دریچه های بازرسی در دیگ بخار:



در بدنه دیگ های بخار معمولاً سه نوع دریچه بازرسی قرار داده میشوند که بزرگترین آنها دریچه آدم رو (Man hole) می باشد که به ابعاد حداقل ۳۰*۴۰ سانتی متر میباشد و در بالا و مرکز بدنه دیگ قرار دارد

از الزامات دیگر به جهت بازدید و بازرسی داخل دیگ بخار، در بدنه کناری دیگ های بخار نیز بسته به نظر طراح دریچه های سررو (Head hole) و دست رو (Hand hole) به تعداد کافی قرار داده میشوند که

این دریچه ها هر کدام دارای یک درب متحرک بوده و توسط واشر کرانیتی اب بندی می کردند. و همچنین جعبه دود در جلو و عقب دیگ بخار نیز به جهت ایجاد فضای ایزوله شده و انتقال حرارت بین پاسی و همچنین برای دسترسی سرویس کاران دیگ بخار برای تعمیر، تعویض یا تمیز کاری لوله ها پیش بینی شده اند.

*مکان و شرایط نصب:

*ابعاد محل نصب دیگ بایستی با در نظر گرفتن ابعاد دیگ بخار در حالت درهای باز و نیز تجهیزات مرتبط با آن، همانند دستگاه های سختی گیر، هوازدا، منبع تغذیه آب، کلکتور، شیرها و موارد مشابه ، طراحی و لحاظ گردند.

دیگ بخار باید در محلی نصب شود که دارای هوای لازم جهت سیستم و نیز فضای کافی برای تمیز کردن لوله ها و همچنین مکان مناسب جهت نگهداری وسایل کنترل تجهیزات جانبی باشد.

و همچنین توصیه می گردد که در محل نصب دیگ، سکویی(فونداسیون) مناسب با وزن، اندازه ها و متعلقات دیگ بخار، ایجاد گردد.

این سکو باید حداقل ۳۰ سانتیمتر از طول و عرض (از هر طرف ۱۵ سانتیمتر) بیشتر و با اندازه ۱۵ سانتیمتر هم از کف محل نصب بلندتر باشد.

در اطراف این فونداسیون باید مجرایی برای هدایت آب کف به چاه و یا سیستم فاضلاب در نظر گرفته شود و حوضچه ای نیز جهت زیر آب زدن دیگ بخار بایستی در نزدیکی شیر تخلیه دیگ ایجاد شود که همواره پر از آب بوده و قسمت بالای آن نیز به چاه یا مجرای خروجی آب راه داشته باشد و لوله تخلیه جهت خفه شدن بخار، به داخل آن هدایت و با درب متحرک پوشانده شود (چاه بلودان).

و از موارد مهم دیگر چنانچه مسیر کابل کشی از درون کانال انجام شده ، برای جلوگیری از بروز هر گونه اشکال الکتریکی، لازم است نکات ایمنی با دقت کامل رعایت گردد.

پوشش روی کانال باید سبک و در مقابل وزنه‌های سنگین دارای مقاومت کافی باشد. توصیه می شود دیگ به نحوی روی فونداسیون استقرار یابد که قسمت جلویی آن مقابل درب ورودی قرار گیرد. وجود وسایل اطفاء حریق در محل الزامی بوده و ضریب ایمن سازی دستگاه را در مقابل آتش سوزی های احتمالی بالا می برد.

***شرایط نصب دودکش:**

دیگ های بخار معمولاً مجهز به دمنده مناسب بوده و بدون دودکش هم می تواند کارکنند، ولیکن برای کارکرد بهتر ، مواد حاصل از احتراق باید به نحوی به فضای بیرون هدایت شوند، که این کار توسط طراحی و نصب دودکش با ارتفاع مناسب صورت می گیرد. ارتفاع دودکش دیگ بخار بستگی به شرایط محلی دارد ولیکن موقعیت هایی مانند ساختمان های بلند مجاور، جهت باد و عوامل جغرافیایی دیگر بر آن مؤثر خواهد

بود .

فصل سوم

رسوبات تشکیل شده از آب و بخار

رسوبات تشکیل شده از آب و بخار

مکان ها

در هر جایی از دیگ بخار که آب و بخار وجود دارد رسوبات تشکیل می شوند. علاوه بر تشکیل رسوب زیاد در دیواره لوله ها، در شبکه لوله ها، کف و سقف لوله ها نیز رسوب تشکیل می شود. سوپرهیترها و ری هیترها غالباً رسوب می گیرند که این رسوب در جاهای دیگر تشکیل شده و توسط آب دیگ بخار به داخل سیستم حمل می گردند. بخار غالباً در اکونومایزرها تولید نمی شود. در این لوله ها رسوبها معمولاً از محصول خوردگی است که از محل تشکیل شدنشان در این لوله ها حرکت کرده و سپس در این لوله ها رسوب نموده اند. اساساً هنگام تولید بخار، رسوب گذاری اتفاق می افتد. جهت لوله روی مکان و مقدار رسوبها تاثیر می گذارد و مقدار رسوبها در قسمت داغ لوله های تولید بخار بیشتر است.

بخاطر پدیده کانال بخار (تولید حبابهای بزرگ روی دیواره لوله ها)، تجمع رسوب روی قسمت های افقی و شیب دار لوله ها بیشتر است. همچنین رسوب گذاری، درست در شیب حلقه های جوشکاری اتفاق می افتد که این حلقه ها باعث آشفستگی جریان می شود و محل مناسبی برای ایجاد پوشش بخار است. چون رسوبات تمایل به تجمع در نواحی داغ لوله های مولد بخار را دارند لذا لوله های نزدیک به پایین دیواره پشتی دیگ

بخار که بعنوان وسیله ای برای حمل سوخت در طول کوره استفاده می شوند و یا در لوله های اسکرین، بسیار مستعد رسوب گذاری هستند. در لوله های افقی که سرعت جریان آب کم است احتمال وجود ذرات بزرگ بیشتر است.

اکثر اکونومایزرها طوری طراحی شده اند که بخار تولید نمی کنند. رسوبات ناشی از منابعی مثل آب کندانس برگشتی (معمولا تصفیه نشده) وارد اکونومایزر می شوند. اکسیدها در نتیجه افزایش غلظت اکسیژن در داخل و یا قبل از اکونومایزر تولید شده، سپس حرکت کرده و در اکونومایزر رسوب می کنند.

گل ولای استیم درام ها اغلب محتوای رسوب هستند. بازدید از مخازنی که به راحتی در دسترس قرار دارند، جزئیات شیمی آب و فرآیند رسوب گذاری را نمایان می سازد. برای مثال، هنگامی که آهن در اثر تجزیه کمپلکس های آلی آزاد می شود، کریستالهای سیاه مگنتیت ته نشین می شوند.

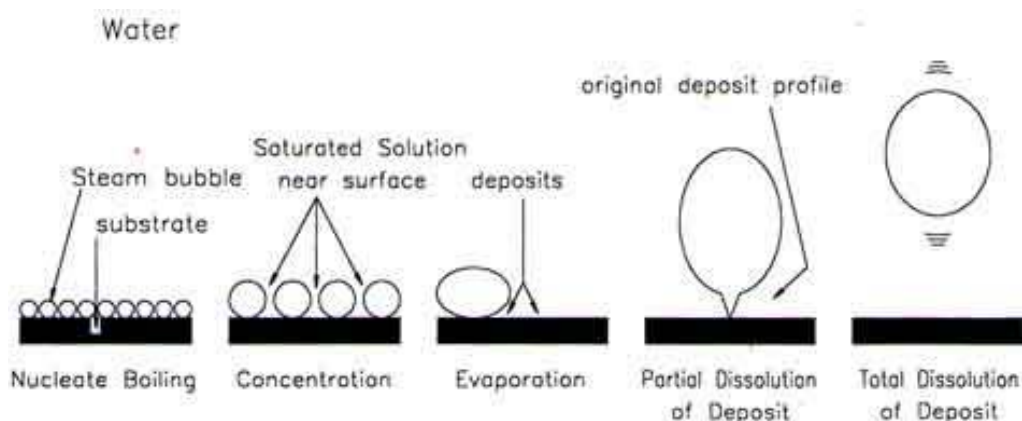
رسوبات سوپر هیترها از تراوش املاح آب دیگ بخار ناشی بوده و گاهی اوقات با کف و افزایش سطح آب همراه هستند. این رسوب ها معمولا در ورودی سوپر هیترها یا در اتصالات ((U)) شکل متراکم می شوند. آب آلوده ای که بر روی آن بهسازی انجام شده می تواند درست در محل ورود، باعث افزایش رسوبات گردد. تکه های رسوب و اکسیدهای لایه لایه شده که از سوپر هیتتر خارج شده اند می توانند در اتصال ((U)) شکل متراکم گشته و یا حتی به داخل توربین ها وارد شوند.

شرح کلی

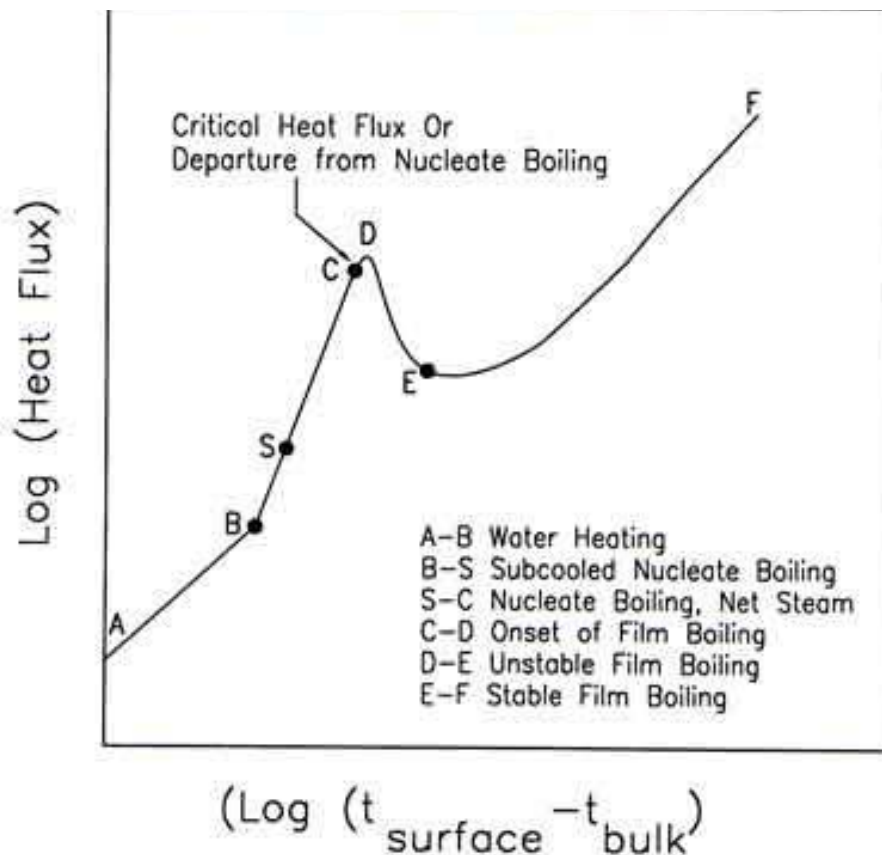
عبارت رسوب ها به موادی اطلاق می شود که در جایی دیگر تشکیل شده و سپس به محل رسوب گذاری منتقل می شوند؛ رسوب ها را نمی توان بعنوان محصولات خوردگی تشکیل شده در محل در نظر گرفت، اگر چه همان تعریف در مورد محصولات خوردگی تشکیل شده، که در محل دیگر ته نشین می شوند صدق می کند. منبع رسوب های دیگ بخار چهار نوع است، مواد معدنی، مواد شیمیایی که برای بهسازی آب استفاده

می شود ، محصولات خوردگی (دیک بخار وتجهیزات قبل از دیک بخار) و الوده کننده های اب.ته نشست های این منابع ممکن است طوری عمل کنندکه سرعت رسوب گذاری را افزایش داده ، لایه بسیار چسبنده تولید کنند وبعنوان هسته هایی برای تشکیل رسوب عمل نمایند.

اینگونه ذرات شامل (اما بدون محدودیت)اکسیدهای فلزی مس ، فسفات ها ، کربنات ها ، سیلیکات ها ، سولفات ها ، آلوده کننده ها وهمچنین طیف وسیعی از مواد آلی وغیرآلی هستند.یک فرآیند تولید رسوب شامل تجمع ذرات محلول ونامحلول در یک فیلم نازک است که روی سطح فلز را هنگام تشکیل حباب بخار می پوشاند(شکل ۱-۱)



شکل (۱-۱) - پنج حالت در زندگی یک قطره بخار.



شکل (۱-۲) - انتقال حرارت به آب و بخار در کانال جریان حرارت داده شده، رابطه فلوکس حرارتی به تفاوت درجه حرارت بین کانال دیواره و توده آب یا بخار ارائه شده از طرف شرکت Babcock and wilcox، بخار و تولید و مصرف آن، نیویورک (۱۹۷۲).

ذرات در حد فاصل بین آب و بخار جدا شده، در امتداد حد فاصل حرکت کرده و در محل تشکیل حباب در حالی که حباب بزرگ می شود، رسوب می کند. مکانیسم های دیگر رسوب گذاری شامل ته نشینی ذرات از محلول و رسوب ذرات بزرگ هستند. برعکس، گرمای انحلال باعث می شود که رسوب گذاری در نقاطی که انتقال حرارت زیاد است رخ دهد. تمایل تشکیل رسوب به حرارت موضعی ورودی، آشفستگی آب و ترکیب آب در لوله یا نزدیک دیواره لوله بستگی دارد. هنگامی که حباب بخار از دیواره لوله جدا می شود، رسوب ها با آب شسته می شوند. سرعت ساخت رسوب به سرعت تشکیل پوششی پایدار از بخار تشکیل شده و سبب تجمع مواد محلول در آب می شود.

پوشش بخار همچنین سبب ناهموار شدن سطح و در نتیجه باعث اشفتگی جریان آب می گردد. در شیب این نوع ناهمواری ، نقاط با فشار کم تشکیل شده که محل های مناسبی برای تولید حباب و به دنبال آن تشکیل رسوب است. تولید بخار معمولاً در اکونومایزرها انجام نمی شود. رسوب ها معمولاً پراز آهن هستند. اکسید آهن یا در تجهیزات قبل از دیگ بخار و یا در داخل خود اکونومایزر تولید می شود.



شکل (۱-۵) - لایه های خرد شده روی سطح داخلی یک اکونومایزر. آهن زیادی در محل تشکیل شده بود. اما مقداری به صورت خرد و جیبس جابه جا شده بود.



شکل (۱-۶) - تکه های ورقه ورقه شده مگنتیت در یک لوله از قسمت ابتدای سوپر هیتر یک دیگ بخار سرویس های جانبی. خرده های مگنتیت که به قسمت توربین حمل می شوند. باعث خسارت شدید می شود (شکل ۱-۷ ملاحظه شود).

آزمایش آب تغذیه و آب دیگ بخار

بامشخص شدن پارامترهای کنترل آب تغذیه و آب دیگ بخار، این موارد در کتابچه هایی که توسط سازندگان تهیه می شود در اختیار استفاده کنندگان قرار داده می شود، و این وظیفه استفاده کنندگان است که شرایط مناسب آب رادر محدوده ای مشخص جهت حصول حداکثر آمادگی و عمر دیگ بخار، تامین نمایند.

این امر مستلزم آزمایشهای تجزیه ای منظم و آب دیگ بخار است که توصیه های سازندگان دیگ باید دقیقا به کار گرفته شود. در صورت عدم دسترسی به آزمایشگاهی مجهز در محل، می توان از کیت های آزمایش که توسط سازندگان واحدهای بهینه ساز آب ارایه می شود، استفاده کرد و کارکنان را با آن آشنا کرد

نگهداشت دیگ های سرد، حفاظت سطوح داخلی (سمت آب) اگر دیگ بخار برای مدتی از سرویس خارج بماند و لزومی به بازرسی و تمیز کردن داخل آن نباشد، جهت حفاظت قسمتهای تحت فشار آن در مقابل خوردگی باید روشهای مناسب نگهداشت دیگ بخار را به کار برد. این نگهداشت بادوشیوه مرطوب و خشک انجام می شود.

۱- نگهداشت با شیوه مرطوب

در دیگ های مولد آب گرم، تمام سیستم آب گرم و از جمله دیگ بخار را باید کاملا پراز آب بهینه شده نمود. در نگهداشت های کوتاه و میان مدت، مثلا سه ماه، از شیوه مرطوب برای دیگ های مولد بخار استفاده می شود. در اینگونه موارد، دیگ و داغ کننده های بخار در صورت موجود بودن با آب بهینه شده و بدون هوا کاملا پر می شود. جهت از بین بردن اکسیژن موجود در آب و تنظیم pH آن بین ۱۰ تا ۱۱، به مقدار کافی سولفیت یاهیدرازین و آمونیاک به آب دیگ بخار اضافه می شود. شرایط فوق باید به طور مرتب بررسی و در صورت لزوم اقدامات لازم صورت گیرد.

استفاده از آمونیاک و هیدرازین بر سولفیت سدیم ترجیح داده می شود زیرا هر دو فرار بوده است و املاح آب را افزایش نمی دهد. علاوه بر این چون رسوبی ایجاد نمی شود، احتیاج به تخلیه دیگ بخار و صرف وقت در زمان راه اندازی مجدد دیگ بخار نیست.

ممکن است اختلاط کامل آب و مواد شیمیایی توسط تلمبه لازم شود. علاوه بر این مسایل انقباض و انبساط به علت تغییر دما باید مورد توجه قرار گیرد. به حفاظت دیگ بخار در مقابل یخ زدگی، به خصوص باد دیگ های واقع در فضای باز نیز باید توجه شود. این عمل با وارد کردن المانهای گرم کننده در نقاط مناسب دیگ بخار انجام می گردد.

۲- نگهداشت باشیوه خشک

در نگهداشت طولانی تر، باید دیگ بخار را کاملاً تخلیه، تمیز و در صورت لزوم به کمک هوای گرم آن را خشک نمود. سپس با قراردادن کیسه یا سبدهایی از خشک کننده ها نظیر سیلیکاژن در هر یک از مخزنهای دیگ های لوله-آبی یا پوسته دیگ های لوله-آتشی، دیگ بخار را به حالت خشک نگهداری کرد. پس از آن باید دیگ را کاملاً بست و از نفوذ هوا به آن جلوگیری نمود. بازدید منظم خشک کننده باید انجام شود و در صورت لزوم کمبود آن تامین گردد. می توان از جریان منظم هوای گرم در درون دیگ بخار با قرار بخار برقی در آن به جای استفاده از خشک کننده ها استفاده کرد.

به محلهای غیر قابل تخلیه دیگ بخار نظیر داغ کننده های معلق بخار و لوله کشیهای مربوط به ابزارهای دقیق و ملحقات دیگ بخار نیز باید توجه کافی نمود، پس از خشک کردن با هوای گرم می توان از هوای فشرده جهت خارج ساختن آب از لوله استفاده کرد.

تمیز کردن سطوح داخلی (سمت آب)

شستشوی شیمیایی یکی از مراحل راه اندازی دیگ بخار بعد از تعمیرات کلی و یا تشکیل فوق العاده رسوب یا سایر ترکیبات در داخل دیگ بخار به علت اختلال در فرآیند بهینه سازی آب است

شستشوی شیمیایی دیگ بخار هنگام راه اندازی اولیه دیگ های نوبه منظور تمیز کردن روغن، گریس و سایر ذرات به جای مانده در زمان ساخت آنها و به خصوص پس از منبسط کردن لوله ها (هنگام رول کردن آنها) در دیگ های لوله آبی، انجام می گیرد، شستشوی شیمیایی

معمولا یک جوشش قلیایی است که ترکیبی از سود سوزآور، کربنات کلسیم و تری سدیم فسفات، یا مواد شیمیایی ویژه به نسبت های معینی که سازندگان دیگ ها مشخص می کنند

به آب دیگ بخار اضافه می شوند. سیس دیگ را به منظور بالا بردن دمای فلز و محلول درون آن روشن می کنند تا روغن و گریس از فلز جدا شده و آب در دیگ بخار جریان یابد. پس از جوشش، تمام رسوبها و مواد ته نشین شده در مخزن ها و سرشاخه لوله ها، خارج شده و دیگ بخار را با آب تمیز شستشو می دهند.

شستشوی اسیدی نیز در زمان راه اندازی دیگ بخار جهت خارج سازی لایه های رسوبی حاصل از Hot rolling و ترکیبات سیلیسی از قسمت های تحت فشار (بالای ۶۴ bar) صورت می گیرد، زیرا در فشارهای بالا شرایط آب دیگ بخار از حساسیت بیشتری برخوردار است. به طور کلی در این شستشوی یک محلول اسید رقیق و ماده شیمیایی کند کننده فعل و انفعال جهت حفاظت سطوح دیگ بخار در مقابل خوردگی اسیدی استفاده می شود. محلول اسیدی توسط تلمبه ای در سراسر دیگ به چرخش درمی آید تا کلیه اجزاء آن را تمیز نماید.

اجرای این عمل توسط چرخش طبیعی اب، به علت وجود مدارهای متعدد و موازی اب دیک بخار به اسانی انجام نمی گیرد. این شستشو باید توسط کارشناسان مجرب با امکانات کافی و تهمیدات لازم جهت تخلیه دیک بخار انجام شود.

خارج سازی رسوبات و غیره، که در ضمن شستشو ایجاد شوند با وسایل مکانیکی توسط پاک کننده های چرخشی و استفاده از گردنده های قابل ارتجاع صورت می گیرد. دیک های مدرن فشار بالا که از لوله های جوشی استفاده می کنند، از نظر دستیابی به اجزای دیک بخار به خصوص در محفظه احتراق و لوله های پیش گرمکن آب تغذیه (اکنون مایزر) بسیار محدود هستند، بنابراین فقط به کمک شستشوی اسیدی تمیز می شوند. مواد شیمیایی مصرفی بستگی به نوع رسوبات دارد که توسط متخصصهای این فن معرفی و اجرا می گردد.

به طور کلی شستشوی شیمیایی گران و پر زحمت است، بنابراین جلوگیری از ایجاد رسوب اجرای صحیح بهینه سازی آب است.

رسوبات موجود در داغ کننده های بخار که بر اثر تراوش املاح یا غلیان آب حاصل می شود توسط شستشوی با آب خارج می گردد.

دمیدن بخار :

قبل از راه اندازی توربین های بخار، ابتدا تمام شبکه داغ کننده بخار و لوله های مربوطه را با بخار آب شستشو می دهند. برای این منظور پس از روشن کردن دیک بخار، تمام شبکه داغ کننده بخار و لوله های مربوطه را تا نزدیک توربین، با بخار آب و با سرعتی بالاتر از MCR به محلی کم فشار (معمولا فضای باز) باد میدن بخار شستشو می دهند. در مقابل دهنه خروجی بخار صفحه فولادی صافی قرار می دهند که با برخورد ذرات ناخالص ناشی از رسوبات و فلزهای جوشکاری، خراشهایی بر این صفحه وارد شود. دمیدن بخار و تعویض صفحه تا قطع

کامل خراشها و اطمینان از تمیز شدن کامل مسیر بخار ادامه می یابد. برای ایمنی بیشتر، می توان لوله کشی ویژه ای جهت خروج بخار در نظر گرفت.

در مجموعه ای از دیگ های بخار، با گسترش لوله کشی شبکه و مصرف کننده های مختلف، توجه بیشتری به پاک شدن مسیر بخار ضرورت دارد.

تنش های حرارتی به لایه لایه شدن اکسید کمک می کند. لایه شدن اکسیدهای تشکیل شده در اثر حرارت در سوپرهیترها و ری هیترها می توانند سبب تجمع تکه های اکسید در اتصالات ((U)) شکل و لوله های افقی شوند (شکل های ۱.۷ و ۱.۶). دماهای تشکیل رسوب (دماهایی که بالاتر از آن سرعت تشکیل اکسید سریع تر می شود) برای طیف وسیعی از آلیاژها در جدول (۱.۲) آمده است. تجمع رسوب های آب می تواند باعث تراوش املاح و کف کردن، قل زدن و شستشوی رسوبات با آب باشد.

پاره ای از فرصت های صرفه جویی در دیگ های بخار

فرصت های مختلف صرفه جویی در سیستم دیگ بخار، به احتراق، انتقال گرما، تلفات قابل اجتناب، مصرف برق، کیفیت آب و تخلیه مربوط می شود. بررسی عوامل زیر مشخص می کند آیا دیگ بخار با حداکثر بازده خود کار می کند یا خیر.

دمای دودکش

دمای دودکش باید در کمترین حد ممکن باشد. از طرفی این دما نباید آنقدر کم باشد که بخار آب موجود در گاز خروجی روی دیوارهای دودکش چگالیده شود. این مسئله در سوخت های حاوی مقدار زیاد گوگرد مهم است زیرا دمای کم باعث خوردگی در نقطه شبنم گوگرد می شود. دمای دودکش بیش از ۲۰۰ درجه سانتیگراد حاکی از پتانسیل بازیافت گرمای تلف شده است. این مسئله همچنین مقیاس تجهیزات انتقال و

بازیافت کرما را نشان می دهد و در نتیجه فوریت خاموش کردن دستکاه به منظور تمیزکاری قسمت اب و گاز خروجی را مشخص می کند.

پیش گرمایش آب تغذیه با استفاده از پیش گرمکن

معمولاً گازهای خروجی در یک دیگ نوین سه گذره، دارای دمای ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد است. بنابراین پتانسیل بازیافت کرما از این گازها وجود دارد؛ اما همانطور که بالا هم به آن اشاره شد، این کاهش دما برای گازهای خروجی نباید دمای آن را به کمتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد برساند.

پیش گرمایش هوای احتراق

پیش گرمایش هوای احتراق گزینه دیگری برای گرم کردن آب تغذیه است. جهت افزایش بازده حرارتی به میزان ۱٪، دمای هوای احتراق باید ۲۰ درجه سانتیگراد افزایش یابد. بیشتر مشعل های گازی و نفتی مورد استفاده در یک واحد دیگ بخار، برای دماهای پیش گرمکن زیاد طراحی شده اند.

جلوگیری از احتراق ناقص

این پدیده می تواند ناشی از کمبود هوا، سوخت اضافی، یا توزیع ضعیف سوخت باشد. احتراق ناقص معمولاً از رنگ دوده کاملاً واضح است و باید سریعاً آن را برطرف نمود.

در سیستم های گازسوز یا نفت سوز، منوکسید کربن یا دوده (فقط در سیستم های نفت سوز) با هوای عادی یا اضافی، نشان دهنده مشکلات در سیستم مشعل می باشد. یکی از متداولترین دلایل احتراق ناقص، اختلاط نامناسب سوخت و هوا در مشعل است. احتراق ضعیف نفت می تواند ناشی از گران-روی نامناسب، فرسایش نوک مشعل، جمع شدن کربن در نوک مشعل، و فرسایش شیپوری یا صفحات گردان باشد.

کنترل هوای اضافی

در تمام موارد عملی، هوای اضافی برای احتراق کامل لازم است تا امکان تغییرات عادی در احتراق فراهم آید و شرایط دودکش برای برخی سوخت ها رضایت بخش شود. میزان هوای اضافی بهینه برای حداکثر بازده دیگ بخار زمانی حاصل می شود که مجموع تلفات ناشی از احتراق ناقص و تلفات ناشی از حرارت گازهای خروجی حداقل شود. این میزان با طراحی بویلر، نوع مشعل، متغیرهای سوخت و فرایند تغییر می کند. با انجام یک سری آزمون با نسبت های مختلف هوا به سوخت می توان این میزان را تعیین کرد. کنترل هوای اضافی در یک سطح بهینه همواره منجر به کاهش تلفات گازهای دودکش می شود. به ازای هر ۱٪ کاهش هوای اضافی، بازده تقریباً ۰.۶٪ افزایش می یابد.

موارد دیگری برای بررسی پتانسیل های صرفه جویی در دیگ های بخار مانند اتلاف حرارت ناشی از تابش و همرف و کنترل تخلیه اتوماتیک و ... وجود دارند که توضیحات مربوط به هر یک از آن ها به همراه موارد فوق و نکات مرتبط با هر روش به طور کامل در کتاب "کارایی انرژی در تأسیسات حرارتی" ذکر شده اند.

جدول (۱-۱) هدایت گرمایی (€) آلیاژها و رسوب ها:

هدایت گرمایی		
(Btu.ft)/(h.ft.F)	(c ² .W/m)	
(F۲۱۲)۴/۹	(C۱۰۰۰)۱۶	آلیاژها
(F۹۳۲)۵/۰۱۲	(C۵۰۰)۲۲-	فولاد ضد زنگ ۳۰۴
(F۲۱۲)۴/۱۴	(C۱۰۰۰)۲۵	فولاد ضد زنگ ۴۱۰
(F۷۵۲)۵/۱۶-	(C۵۰۰)۲۸-	
		فولاد آلیاژی
۲۱*	۳۶*	(0/05CU.0/39Mo.3/53Ni.0/78CR،Mn55/0.C34/0)
۲۴۰*	۴۲۰*	مس
۳۲*	۵۵*	فولاد کربنی (Mn64/0، C23/0)
۱۳۶*	۲۳۵*	آلومینیوم
		رسوب
۲۱	۳/۶	اکسید آلومینیوم ، (A1) _۲ O _۳ مذاب
۰/۷۶	۰/۱۹	آنالیست (O _۲ Na _۳ O _۲ A1 _۴ 4SIIO _۲ O _۲ H _۲)
۰/۵۶	۰/۱۴	کربنات کلسیم (CaCO _۳)
۲/۲۰	۰/۵۵	فسفات کلسیم { (۴po) _۲ Ca }
۰/۸۳	۰/۲۱	سولفات کلسیم (CaSO _۴)
۰/۳۵	۰/۰۹	اکسید آهن (Fe) (O _۲ II)
۰/۶۹	۰/۱۷	اکسید منیزیم (Mgo)
۱/۳	۰/۳۳	فسفات میزیم { (۴po) _۲ Mg }
۱/۸	۰/۴۵	مگنتیت (O _۲ Fe)
۰/۰۶	۰/۰۱	مواد با خلل و فرج
۰/۹۷	۰/۲۴	کوارتز (SiO _۲)

ذرات محلول در بخار می تواند از طریق سوپرهیترها به روی توربین ها منتقل شده و در آنجا رسوب کند. اگر سولفات و کلرید وجود داشته باشد ، هیدراته شدن و سپس هیدرولیز آنها سبب خوردگی شدید می شود.

عوامل بحرانی

سرعت تشکیل رسوب ها روی سطوح انتقال حرارت ، می تواند توسط حلالیت ، استحکام فیزیکی رسوب و میزان آب شستشوی موجود در محل تولید بخار ، کنترل شود. حلالیت و آب شستشو ، به عواملی مثل غلظت ذرات حل شده ، گرمای موجود ، مرفولوژی تراکم و آشفستگی بستگی دارد. به هر حال پیش نیاز تشکیل رسوب زیاد ، معمولا تولید بخار است. در حقیقت حتی هنگامی که تولید بخار خیلی کم است باز رسوب تشکیل می شود.

مادامی که هسته های در حال جوش وجود دارند ، انتقال حرارت توسط هدایت حرارتی رسوب ، دیواره لوله و همچنین دمای سمت گاز نیز کنترل می شود. هدایت حرارتی تعدادی از رسوب ها و آلیاژهای دیگ بخار در جدول (۱-۱) آمده است.

نمکهایی که در اثر حرارت حلالیتشان کم می شود به راحتی روی سطوح انتقال حرارت رسوب مینماید. برای مثال ، سولفات و فسفات کلسیم با افزایش دما در نواحی داغ رسوب می کنند. در نهایت ، با وقوع پیوستن بخار و تبخیر در مناطق خشک ، موجب تغلیظ ذرات با حلالیت ، در درجه حرارت معمولی خواهد گردید.

بیشتر رسوب ها شامل مواد نامحلول می باشند که غالبا در لوله های سردکننده که انتقال حرارت بالا دارند و با آب ، سرد می گردند-مثل شبکه لوله ها-ملاحظه می شوند. هنگامی که تبخیر تا مرحله دیگ بخار شود ،

با افزایش دما تمایل سیستم به ایجاد پوشش بخار زیاد می شود (شکل ۱-۲). پوشش بخار جریان حرارت را کم و سبب بیش گرمایی و پارگی می گردد.

کیفیت آب نیز روی رسوب گذاری تاثیر بسزایی دارد. کیفیت آب خوراک پیشنهادی بعنوان تابعی از فشار در جدول (۱-۲) آمده است.

این جدول نشان می دهد که تعداد کمی از آلودگی ها می تواند در فشارهای بالای دیگ بخار قابل تحمل باشد. با افزایش فشار، محدوده قابل تحمل رسوب ها به خاطر افزایش احتمال بیش گرمایی کم تر می شود. حداکثر غلظت های قابل قبول نمک ها در آب در جدول (۱-۳) آمده است. هنگامی که فشار از 100 Psi ($0/69 \text{ Mpa}$) به 2000 psi ($13/8 \text{ Mpa}$) افزایش می یابد، غلظت جامدات محلول پیشنهادی با فاکتور ۱۰۰ کاهش می یابد. مقادیر مجاز سیلیس با فاکتور ۲۵۰ و جامدات معلق با فاکتور ۵۰۰ کاهش می یابد. با یک حساب سرانگشتی روش عملی را که می توان در مورد تمییزی لوله به کار برد به شرح زیر است:

در دیگ های بخار با فشار بالا (بیش از 1800 Psi یا $4/12 \text{ Mpa}$) اگر میزان رسوب های موجود در لوله های سردشونده با آب کم تر از 15 gr/ft^2 ($\sim 14 \text{ mg/cm}^2$) باشد آن دیگ بخار نسبتاً تمییز است. این میزان از رسوب نشان دهنده تمییزی انواع دیگهای بخار، بدون توجه به شیمی آب، نوع دیگ بخار یا سوخت است. در بعضی از دیگ های بخار، وجود لایه های مگنتیت متخلخل تا 10 gr/ft^2 (mg/cm^2) تاثیر زیادی روی انتقال حرارت نم گذارد. لوله های دیگ بخار شامل $15-40 \text{ mg/cm}^2$ (14 gr/ft^2)

37 رسوبات نسبتاً کثیف و لوله های دیگ های بخار با فشار بالا در جدول (۱-۴) آمده است. وقتی میزان رسوب ها زیاد باشد انتقال حرارت به شدت کاهش می یابد. یکی از سازندگان دیگ های بخار بزرگ، برای تمییز کردن دیگ بخاری که در فشار های پایین کار می کند مقدار رسوب را در حد 30 gr/ft^2 (32 mg/cm^2) پیشنهاد می دهد. کار زیاد دیگ بخار، در بالاتر از حداکثر مقدار رسوب، سبب خوردگی شدید و بروز بیش گرمایی شده و مرفولوژی رسوب نیز روی انتقال حرارت تاثیر دارد.

جدول (۱-۲)-کیفیت آب خوراک پیشنهادی

فسار psi			مقدار سیلیس ppm*		سختی حداکثر	
کل ppm	اکسیژن (ppm)	آهن (ppm)*	مس*(ppm)	کل ppm	اکسیژن (ppm)	آهن (ppm)*
۷۵	-	-	-	۱۵	-	-
۲۰	-	-	-	۲۰-۱۰	-	-
۲	-	-	-	۱۵-۵/۷	-	-
۰/۲	۰/۳	-	-	۵-۵/۲	-	-
۰/۲	۰/۳	-	-	۵/۲-۳/۱	-	-
۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۲	۵/۲-۳/۱	-	-
۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۱۵	۵/۱-۸/۰	-	-
۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۱۵	۳/۰-۲/۰	-	-
۰	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۳/۰ حداکثر	-	-
۰	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۱/۰ حداکثر	-	-
۰	۰/۳	۰/۳	۰/۰۲	۰۵/۰ حداکثر	-	-
۰	۰/۲	۰/۲	۰/۰۱	۰۲/۰ حداکثر	-	-

*دردیگ های بخار جدید که انتقال حرارت بسیار بالایی دارند. این غلظت ها باید اساسا صفر باشند. به همین ترتیب. سختی کل نباید از حد ۳/۰ ppm بر حسب CaCO_3 تجاوز نماید حتی در فشار های پایین تر و جامدات معلق در آب خوراک در صورت امکان باید صفر باشد.

جدول (۱-۳)-توصیه غلظت موادنمکی موجود در دیگ بخار

فشار (PSi)	دمای اشباع (°F)	حد اکثر (PPm)		محدوده (PPm)		سلیکا	شرایط لجن		هیدرازین
		جامدات جامدات	قلیابیت	فسفات	سولفیت		طبیعی	مصنوعی	
		حل معلق*	کل*	باقیمانده	باقیمانده				
۱۰۰	۳۲۸	۵۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۹۰۰	۲۵۰	۱۵۰	۱۵	NR
۲۰۰	۳۸۲	۴۰۰	۳۵۰	۲۰۰	۸۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۵	NR
۳۰۰	۴۱۷	۳۵۰	۳۰۰	۱۷۵	۷۰۰	۱۷۵	۱۰۰	۱۵	NR
۵۰۰	۴۶۷	۳۰۰	۶۰	۴۰	۶۰۰	۴۰	۷۰	۱۵	NR
۶۰۰	۴۸۶	۲۵۰	۵۰	۳۵	۵۰۰	۳۵	۷۰	۱۰	NR
۷۵۰	۵۱۰	۲۰۰	۴۰	۳۰	۳۰۰	۳۰	NR	۱۰	NR
۹۰۰	۵۳۲	۱۰۰	۲۰	۲۰	۲۰۰	۲۰	NR	۵	NR
۱۰۰۰	۵۴۵	۵۰	۱۰	۱۰	۵۰	۱۰	NR	۳	NR
۱۵۰۰	۵۹۶	۱۵۰	۳	۳	۰	۳	NR	NR	NR
۲۰۰۰	۶۳۶	۵۰	۱	۱	۰	۱	NR	NR	NR
۲۵۰۰	۶۶۸	۱۰	۰	۰	۰	۰	NR	NR	NR
۳۰۰۰	۷۰۵	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰/۰۲	NR	NR	NR

-۰۲/۰									
۰۳/۰									
-۰۱/۰									
۰۲/۰									

شناسایی

موادشیمیایی بهسازی دیگ بخار ، ترکیب آب و گرمای ورودی ، روی رسوب گذاری تاثیر می گذارد. در فشارهای $PSi2500(17/2Mpa)$ یا بیشتر ، معمولا هیدرازین مورد استفاده واقع می شود. نمک زدایی آب و تصفیه آب کندانس اعمالی هستند که در تصفیه آب بکار می روند. این امر بدان معناست که رسوب ها احتمالا فقط شامل اکسید آهن تولید شده به وسیله خوردگی سطوح داخلی ، شاید مس ، نیکل ، فلزات و آلودگی های دیگر هستند.



هیچ گونه موادشیمیایی بهسازی کننده یا محصولات حاصل از واکنش آنها در رسوب ها دیده نمی شود. در فشارهای پایین طیف وسیعی از ترکیبات می تواند بوجود آید. ترکیب و محل احتمالی ویژگی های انواع رسوب در جدول (۵-۱) آمده است.

جدول (۴-۱)-تمییزی لوله دیگ بخار

رسوب (mg/cm ²)			تمییز	نوع دیگ بخار
خیلی کثیف	کمی کثیف			
۲۵<	۲۵-۱۵		۱۵>	واحدهای فوق بحرانی
۴۰<	۴۰-۱۵		۱۵>	واحدهای زیر بحرانی (Psi ۱۸۰۰ و بالاتر)

توجه: ۱ g/ft² = 1 mg/cm² ، 1 psi = 0/006895 Mpa

اکسیدهای آهن

یک لایه سیاه محکم ، نرم و فشرده مگنتیت معمولا روی سطح داخلی دیگهای بخار پیدا می شود. مگنتیت در اثر واکنش مستقیم آبدی با فلز تولید می شود. در دیگهای بخار با فشار بالا ، مگنتیت شامل دولایه است که

معمولا بوسیله بررسی میکروسکوپی قابل دیدن است. اگر سرعت ته نشینی بالا و یا تولید بخار زیاد باشد، درات اکسید آهن می توانند روی لایه مگنتیت نرم تشکیل شده در اثر گرما، رسوب کنند (۱-۱۴)



شکل (۱-۱۴) - نقاط مربوط به ته نشینت اکسید آهن خاصی که موقتاً مشخص دیواره یک دیگ بخار بازمانده را منعکس می نماید. محل مشخص شده اگر در معرض حرارت متمرکز قرار گیرند موجب سرعت بالای تولید بخار و ته نشینی می شوند. به ته نشینت های سید هیدروکسید سدیم که هر منطقه به مگنتیت را احاطه کرده توجه شود.

معمولا ذرات درشت مگنتیت محکم به سطح نمی چسبند، مگر این که با دیگر رسوب ها مخلوط شوند. رسوبات کریستالی سوزنی شکل مگنتیت سیاه و براق معمولا در نزدیک نقاط خوردگی ناشی از قلیا دیده میشوند. کریستالهای مگنتیت گاهی اوقات یک پوشش براق روی سطح استیم درام و لوله ها تولید میکنند



شکل (۱-۱۶) - وصله کریستال براق مگنتیت مربوط به محل خوردگی ناشی از سود این نوع کریستال ها اغلب در محل های مربوط به خوردگی ناشی از سود و اسید پیدا می شوند.

تراشیدن مقادیر کمی از این ماده از سطح و نزدیک کردن یک آهن ربا به این ذرات نشان می دهد که در آن آهن وجود دارد.

از طرف دیگر ، تشکیل رسوب هماتیت تا اندازه ای در دماهای پایین تر و غلظت اکسیژن بالاتر اتفاق می افتد و هماتیت یک متصل کننده ذرات است که تمایل به جمع شدن دارد و سبب می شود بقیه ذرات در رسوب نگهداشته شوند. هماتیت در صورتی که غلظت اکسیژن بالا باشد می تواند قرمز شود و معمولا در اکونومایزرها همراه با خوردگی اکسیژن وجود دارد (شکل ۵-۱)

جدول (۵-۱) اجزای رسوب های تشکیل شده از آب

معدنی	فرمول	طبیعت رسوب	محل و شکل معمول
اکمیت	$\text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}$	سخت و چسبنده رسوب لوله تحت هیدروکسی آپاتیت یا سرپنتین	
آلفاکوارتز	SiO_2	سخت و چسبنده	تیغه های دوربین ، مد درام ، رسوب لوله
آمفی بول	$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	پیوند چسبنده	رسوب ولجن لوله
آنالیست	$\text{HO}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}$	سخت، چسبنده	رسوب لوله تحت هیدروکسی آپاتیت یا سرپنتین
انهیدریت	CaSO_4	سخت، چسبنده	رسوب لوله ، لوله های مولد
آرگونیت	CaCO_3	سخت، چسبنده	رسوب لوله خطوط خوراک ، لجن
براسیت	Mg(OH)_2	سخت، چسبنده	لجن در درام و خطوط اصلی دیواره آب
مس	Cu	لخته کننده	لوله های دیگ بخارو تیغه های توربین
کوپریت	O_2Cu	لایه الکتروپلیت	تیغه های توربین ، رسوب های دیگ بخار
جیپسم	$\text{O}_2\text{H}_2 \cdot \text{CaSO}_4$	لایه چسبنده	رسوب لوله ، لوله های مولد
هماتیت	O_2Fe	سخت ، چسبنده	در سراسر دیگ بخار
هیدروکسی آپاتیت	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})$	لخته کننده	مد درام ، دیواره آب ، لجن
فسفات منیزیم	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	لایه پیوند دهنده	لوله ها ، مد درام ، دیواره های آب
مگنتیت	O_2Fe	فیلم محافظ	همه سطوح داخلی
نوزلیت	$\text{SO}_2\text{Na}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{O}_6 \cdot \text{O}_3\text{Al}_2 \cdot \text{Na}_3$	سخت و چسبنده	رسوب لوله

پکتولیت ----- $U_7P_3O_{24}CaO.0.5SiO_2Na$ ----- سخت و چسبنده ----- رسوب لوله

سرپنتین ----- $O_7H_2MgO.2SiO_3$ ----- لخته کننده ----- لجن

سودالیت ۳ ----- $NaCl_{1.2}SiO_{3.6}O_2.3Al_1Na$ ----- سخت و چسبنده ----- رسوب لوله

گزنولیت ----- $O_7H_7CaO.5SiO_5$ ----- سخت و چسبنده ----- رسوب لوله

دیگر فلزات و اکسیدهایشان

مس یا از طریق جا به جایی مستقیم با آهن و یا احیای اکسید مس توسط هیدروژن تولید شده ضمن خوردگی رسوب می کند. به طور عادی می توان لکه های بزرگ و قرمز مس را که با محصولات خوردگی مثل مگنتیت و هماتیت مخلوط است ، در نزدیکی نقاط خوردگی ناشی از قلیا (خوردگی ناشی از قلیا-باعث تولید هیدروژن می شود) مشاهده کرد شکل (۱۲-۱)

رنگ قرمز سطحی شباهت به هماتیت دارد. مس فلزی را به راحتی می توان از دیگر مواد با آزمایش نیترات نقره تشخیص داد. در صورت وجود مس فلزی با افزایش یک قطره نیترات نقره کریستالهای سفیدرنگ نقره سریعاً رسوب خواهد کرد. اکسید مس تشکیل شده ، تحت شرایط دیگ بخار ، سیاه رنگ و غیرمغناطیسی است. خوردگی گالوانیکی در اثر رسوبات (یا به صورت مس فلزی یا به صورت اکسید) به ندرت در دیگهای بخاری که خوب رویین شده اند ، اتفاق می افتد.

اکسیدهای روی و نیکل گاهی همراه با رسوبات مس دیده می شوند. این مورد قابل انتظار است ، زیرا روی و نیکل اغلب در آلیاژهای برنج و مس-نیکل به کار رفته در ساخت کندانسورها و هیترهای آب خوراک وجود دارد. معمولاً غلظت این عناصر در رسوب ها کم تر از مس است. اکسید نیکل بعنوان یک اتصال دهنده ، رسوب گذاری بسیاری با لایه محکم می نماید. به هر حال ، غلظت نیکل معمولاً پایین است و می تواند با روش تجزیه

شیمیایی و اشعه ایکس فلورسانس یا تفرق شناسایی و تعیین مقدار شود.

نمک ها

هنگامی که جوشیدن شروع می شود ابتدا ترکیباتی که دارای حداقل حلالیت هستند رسوب می کنند. کربنات کلسیم سریعاً رسوب سفید و ترد تشکیل می دهد که اگر اسید هیدروکلریک بر روی آن ریخته شود کف خواهد کرد

رسوبات تشکیل شده از آب و بخار

سولفات کلسیم به غلظت های بالاتر از کربنات نیاز دارد تا رسوب کند. برخی اوقات حضور فسفات ها را می توان با رسوبات ترد (اما خیلی کم تر از کربنات کلسیم) حدس زد.

فسفات منیزیم یک اتصال دهنده است که می تواند رسوبات سخت و چسبنده تولید کند. بیشتر رسوبات فسفات منیزیم بی رنگ هستند اما اگر با اکسیدهای آهن همراه باشند رنگ قرمز، قهوه ای یا سیاه به خود میگیرند. سیلیکات های نامحلول در اکثر دیگ های بخار وجود دارند. بیشتر سیلیکات های بسیار سخت و غیر قابل حل در اسید هستند به جز اسید هیدروفلوریک. کمپلکس سیلیکات ها مثل آنالیست $(Na_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2)$ یا سود $(Na_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2NaCl)$ می تواند گواهی برپوشش بخار باشد زیرا جزو ترکیبات واسطه سدیم محلول هستند. در صورتی که آلوم از زلال کننده ها تراوش کند آنالیست تشکیل می شود.

بطور کلی اگر مکانیسم تراکم موضعی شدید باشد می توان رسوب ها را در آب محلول نگه داشت. بنابراین وجود ترکیباتی مثل هیدروکسید سدیم، فسفات سدیم و سولفات سدیم در رسوب را بایستی به عنوان دلیلی

بر تبخیر تا مرحله خشک شدن در نظر گرفت. گزارش شده که بوی شدید سولفید هیدروژن ناشی از تجزیه سولفیت در نزدیکی دیگ بخاری که دارای نقاط داغ بوده تشخیص داده شده است. نمک های قابل هیدرولیز مثل $MgC12$ می توانند از طریق نشست کندانسوزهای آب دریا وارد آب دیگ بخار شوند. کلریدها در رسوب های متخلخل متراکم شده و به اسید هیدرولیک هیدرولیز می گردند. تجزیه روغن ، گریس و دیگر مواد آلی می توانند شرایط اسیدی را ایجاد کنند.

مرفولوژی رسوب

در بحث های قبلی رسوب ها بیشتر بر اساس ماهیت شیمیایی خاص آنها بود. به هر حال ، بیشتر رسوب های واقعی دیگ های بخار شامل ترکیبات زیادی هستند. ساختمان رسوب می تواند روی نوع ترکیبات رسوب تاثیر بگذارد ، همچنین می تواند برای تعیین حرارت ورودی ، شرایط آب و نوع مکانیسم های خوردگی بکار برده شود. هر نوع رسوبی که در مقابل شستشو مقاومت کند نامطلوب است. بخصوص رسوبات غیرمحلول و نفوذپذیر مثل مواد با ذرات درشت بسیار مضر هستند. این رسوبات اجازه می دهند که ذرات محللول در داخل خلل وفرج آنها متراکم شوند. بنابراین هیدروکسید سدیم که خلل وفرج آن پیدا می شود ممکن است نامحلول باشد. رسوب گذاری ترکیبات متخلخل اغلب سبب می شود که تجمع ترکیبات محللول بیشتر شود. بطور کلی رسوب قدیمی تر ، سخت تر است و به سختی ، به دیواره های لوله می چسبد با افزایش سن رسوب ، شکاف رسوب با مواد جامد پر می شود و سبب افزایش حجم ، دانسیته و سختی می گردد. استثنائاتی در این قانون وجود دارد و این قضاوتها طبیعتا فرضی هستند. با وجود این ، حضور رسوبات سخت و محکم اغلب نشان دهنده این است که رسوب گذاری در مدت طولانی در دماهای بالای فلز انجام شده است و تشکیل

رسوبات به صورت لایه لایه نشان دهنده تغییر در شیمی آب می توان تاریخچه ای از زمان رسوب گذاری تهیه کرد.

حذف

تمام رسوب ها نامطلوب ، در نهایت ، ناشی از خواص شیمیایی آب و یا عملکرد دیگ بخار هستند. بهسازی مناسب آب می تواند رسوب گذاری را کاهش دهد. قوانین عمومی بهسازی مناسب آب ، مشخص هستند. تغییرات شیمیایی آب و شرایط عملیات آن باید حداقل باشد. برای اجتناب از رسوب گذاری باید تلاش نمود تا دیگ بخار همیشه کمی زیر ظرفیت طراحی کار کند و نیز اطمینان حاصل نمود که تمام تجهیزات به طور مناسب عمل نمایند. مهمترین فاکتور دیگ بخار که روی رسوب گذاری تاثیر دارد عمل حرارت دادن است. همچنین ، حذف نقاط داغ ، کنترل سطوح آب و ثابت نگه داشتن ظرفیت ، از راه های پیشگیری از رسوب گذاری هستند. علاوه بر آن ؛ امکان استفاده مناسب از مشعل ، تنظیم سوخت و زیراب کافی در کاهش رسوب گذاری موثر می باشند.

موارد احتیاطی

رسوب ها به ندرت شامل فقط یک ترکیب هستند. آزمایش شیمیایی برای تعیین نوع و میزان هریک از اجزای رسوب لازم است. اجزای محلول هنگامی که دیگ بخار سرد شده و تولید بخار متوقف گردد مورد شستشو قرار خواهند گرفت. گاهی اوقات نتایج آزمایشگاهی ترکیبات شستشو ، منعکس کننده اجزای رسوب در هنگام کار دیگ بخار نیست. معمولا مطمئن تر است قبول کنیم که غلظت های اجزای خیلی محلول ، در نتایج آزمایشگاه کم تر گزارش شده اند. حضور هر کدام از ترکیبات با حلالیت بالا معمولا برای اثبات انحرافات از هسته جوش ، کافی است. مقدار ترکیب درصد ولایه لایه شدن رسوب ها در نزدیکی محل پاره شده فرق

میکنند. خروج مایع از این نقاط موجب خارج شدن رسوب می‌گردد. گاهی اوقات محصولات از احتراق در داخل سطوح داخلی نزدیک پارگی پیدا می‌شوند. وزن رسوب‌ها در نزدیکی سطوح برآمده یا پاره شده معمولاً کم‌تر از مقدار واقعی آن در هنگام کار دیگ بخار است. اغلب محصولات خوردگی با رسوب‌ها اشتباه می‌شوند. این مطلب بخصوص در مورد سوپرهیترهای دیگ بخاری که بعلت از سرویس خارج بودن در جایی که تاول زدگی اغلب با تراوش املاح ناشی از مواد جامد آب دیگ بخار اشتباه می‌شود، از خوردگی ناشی از اکسیژن متاثر می‌شوند (به فصل ۸ ((خوردگی ناشی از اکسیژن)) مراجعه شود). رسوبات سوزنی شکل مگنتیت که در اثر PH پایین بوجود می‌آیند می‌توانند با ذرات آهن وارد شده از تجهیزات قبل از دیگ بخار اشتباه گرفته شوند.

سابقه مطالعاتی (۱-۱)

صنعت	کاغذ و خمیر کاغذ
محل نمونه	لوله اکونومایزر از دیگ بخار باز یافتی نزدیک خط اصلی بالایی
جهت نمونه	خمیده - (افقی به عمودی - شکل J)
مدت کارکرد	۱۰ سال
برنامه بهسازی آب	شلانت
فشار درام	۶۰۰ (Psi/4/13MPa): فشار آب خوراک ۸۲۰ (Psi/5/65 Mpa)
مشخصات لوله	قطر خارجی ni۲

مایع

ضمن خارج کردن لوله های اکونومایزر آسیب دیده ، رسوب های داخلی زیادی بطور غیرمنتظره دیده شد. سطوح داخلی بعضی از لوله ها بصورت غیرمنظم با یک لایه نرم و متورم از اکسید آهن پوشیده شده بود. اکسیدهای زیرین سیاه بودند. یک لایه متراکم با ضخامت یک اینچ از مواد ترد و شکننده در محل خم لوله در شکل (۱-۱۹) نشان داده شده است.

رسوب از بستر رزین خورده شده انتقال پیدا کرده است. سطح فلز در زیر رسوب ، حفره ای و نازک شده است. رسوب های متراکم جریان سردکننده را کند می کند ، ولی هنوز بیش گرمایی اتفاق نمی افتد زیرا دمای گاز خروجی از دودکش خیلی پایین است (حدود ۲۸۸۰ C یا ۵۵۰۰ F). انحرافات از هسته جوش زیر رسوب ایجاد شده ، سبب تجمع هیدروکسید سدیم و سپس خوردگی می گردد.

جالب است که این رسوب سبب خسارت نگردیده است ، بلکه دیگر لوله های نزدیک در اثر سایش سطوح داخلی و خوردگی اکسیژن نقص پیدا کرده اند. خورده شدن بستر رزین تا زمانی که رسوبات اکونومایزر پیدا شده اند مشخص نبوده است. اگرچه این رسوبات بایستی به داخل دیگر قسمتهای دیگ بخار حمل شده باشند ، ولی هیچگونه خساراتی بخاطر حضور آنها یافت نگردیده است

سابقه مطالعاتی (۱-۲)

صنعت	کاغذوخمیر کاغذ
محل نمونه	خروجی سوپرهیتر
جهت نمونه	قسمت عمودی پایین محل اتصال گرفته شده
مدت کارکرد	۳/۵ سال
برنامه بهسازی آب	فسفات
فشار درام	Psi۹۰۰
مشخصات لوله	قطر خارجی 5/1 Cm۲ (ni)، قسمت اتصال گرفته فولاد آلیاژی پایین (1*1*2/cr%)
سوخت	زغال سنگ

۲ فوت از قسمت اتصال گرفته شده لوله سوپرهیتر دچار رسوب گرفتگی شده بود و هنگامی که لوله از آن جدا شد رسوبات خیس بودند. قسمت های رسوب دار به مدت سه روز شدیداً حرارت داده شدند تا رسوبات خشک شوند. بعد از خشک کردن ، رسوبات سفیدرنگ در انتهای محل اتصال (پایین ترین نقطه لوله در حال کار) نمایان شد (شکل ۲۱-۱)



شکل (۲۱-۱) - شکاف طولی قسمت اتصال گرفته از خروجی یک سوپرهیتر. لوله یا ته نشینت ها دچار گرفتگی شده است. سفید هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم تغلیظ شده در قسمت پایین محل گرفتن اتصال، ماده سیاه عمدتاً مگنتیت است.

لوله شامل ۲ پوند رسوب در هر ۲ اینچ (۱/۵۱۵) از طول لوله ، دورتر از محل اتصال شامل ۸۰ درصد وزنی مگنتیت و ۷ درصد وزنی هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم بود. مقادیر کم گوگرد ، کلر ، فسفر ، کروم و مگنز نیز شناسایی شد. در محل اتصال حدود نیمی از رسوب ، از هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم تشکیل شده بود. رسوب ها در اثر نفوذ آلودگی مزمن ترموستا آب و یا تراوش املاح دیگ بخار از طریق استیم درام به داخل خط اصلی سوپرهیتر ناشی شده است. آب در ناحیه هایی که سرعت شدت جریان پایین و کند است مثل قسمت اتصال گرفته متراکم می شود. اختلاف رنگ بین رسوب ها در قسمت اتصال گرفته و طول لوله نشان می دهد که مواد قلیایی سفید محلول از طول لوله جدا شده و به پایین ترین قسمت مشخص انتقال یافته است. انتقال در اثر نفوذ آب غنی از ذرات محلول به قسمت اتصال گرفته شده رخ می دهد. مواد سفید متراکم شده در لوله بعد از خشک شدن ، موید این نظر است تمییز کردن این محل های اتصال گرفته شده کاری بسیار مشکل است. به هر حال به خاطر جلوگیری از خوردگی قلیا و بیش گرمایی ، تمییزکاری یا خارج کردن رسوب ها بایستی انجام گردد. قسمت داخلی لوله دارای یک پارگی و تاول کوچک و یک لایه رسوب سفیدکننده با دانسیته (16 gr/ft^2) 17 mg/cm^2 روی سطوح داخلی در قسمت داغ و 1 gr/ft^2 در قسمت سرد بوده است. رسوب ها در هر دو طرف بوسیله لبه های تیز به هم متصل شده اند (شکل ۲۲-۱)



شکل (۲۲-۱) - لایه ته نشین روی سطح داخلی قسمت داغ یک لوله مقداری ته نشین در قسمت یادکردگی کم عمق مشاهده است. مرزهای تیز، نشان دهنده پایان پوشش بخار می باشد.

لبه ها نشان دهنده انتهای پوشش بخار است. رسوب گذاری در طی یک دوره که حرارت زیادی وارد شده اتفاق افتاده است. حرارت ورودی زیاد سبب بیش گرمایی و در نهایت ، باعث خسارت می شود. رسوب ها

شامل فسفات کلسیم بازی (هیدروکسی اپاتیت) ، سیلیکات سدیم الومینیوم هیدراته ، مکنیتیت ، سیلیکات منیزیم و مقدار کمی از دیگر مواد است. مقداری آلوم از زلال کننده ها ، تراوش می کند. عملیات حرارت دادن و زلال سازی آب بطور مناسب بازنگری و تغییر یافته است.

سابقه مطالعاتی (۱-۳)

صنعت	کاغذ و خمیر کاغذ
محل نمونه	قسمت داخلی لوله
جهت نمونه	افقی
مدت کارکرد	۲۰ سال
برنامه بهسازی آب	فسفات
فشار درام	۸۰۰ Psi (۵/۵ Mpa)
مشخصات لوله	قطر خارجی ۱۰۱/۶ (۱۰۱/۶ in)
سوخت	مایع باقی مانده از پخت خمیر کاغذ در فرایند تهیه کاغذ و نفت کوره

سابقه مطالعاتی (۱-۴)

صنعت	کاغذ و خمیر کاغذ
محل نمونه	سوپر هیتراولیه ، خم U شکل آویخته
جهت نمونه	عمودی
مدت کارکرد	۱۱ سال
برنامه بهسازی آب	فسفات
فشار درام	۱۲۵۰ Psi (۶۲/۸ Mpa)
مشخصات لوله	قطر خارجی ۱۰۱/۴ (۱۰۱/۴ in) ، ۲٪ Cr ، ۱٪ Mo

بخش U شکل لوله سوپرهیتر به خاطر از دست رفتن فلز لوله که همراه با فولینگ با لجن بود از سرویس خارج شد با بررسی سطح داخلی فلز ، تاول های شدید لایه مگنتیت نمایان شد (شکل ۲۳-۱).



شکل ۲۳-۱- به تاول های مگنتیت روی سطح داخلی یک خم U شکل در سوپرهیتر اژیته که در جاهایی طبقه طبقه شده است توجه شود.

تورق لایه مگنتیت اتفاق افتاده بود. اگرچه این تورق می تواند در توربین سبب سایش گردد ، ولی اثری از سایش دیده نشد. تورق لایه اکسید در اثر کم وزیاد شدن تنش ها و بیشتر تنش های حرارتی اتفاق می افتد. تنش ها هنگامی که لوله با لجن گرفته می شود بزرگتر می شوند. کانالیزه شدن عمودی یا غیر عمودی مسیر گازهای کوره سبب تولید نقاط داغ می شود. ترک خوردن لجن ، (احتمالاً هنگام خارج شدن دوده) سبب می گردد که دمای سطح ، سریعاً تغییر کند ، البته ثابت نشده که فقط خارج شدن دوده سبب لایه لایه شدن باشد. حباب های مگنتیت بزرگ می شود ، زیرا مگنتیت ایجاد شده در اثر حرارت ، حجم بیشتری را نسبت به فلزی که از آن تشکیل شده اشغال خواهد کرد. بنابراین تنش های فشاری ممکن است در لایه بزرگ شده رخ دهد و سبب حجیم تر شدن آن گردد. هنگامی که دماها بالا هستند ، ممکن است اکسید بجای ترک خوردن به تدریج تغییر شکل دهد. در همه سوپرهیترها ، به واقع با افزایش سن مگنتیت ، بعضی از آنها بصورت لایه لایه در می آیند. به هر حال ، لجن گرفتگی ، وزن بیش از اندازه رسوب ، ارتعاشات مکانیکی و کم وزیاد شدن دایم سرعت تنش های عملیاتی ، باعث لایه لایه شدن رسوب می گردند.

سابقه مطالعاتی (۵-۱)

صنعت	سرویس های جانبی
محل نمونه	توری ریزتور بین
جهت نمونه	افقی
مدت کارکرد	۸سال
برنامه بهسازی آب	فسفات هماهنگ
فشار درام	PsiMpa2/15 ۲۲۰۰
مشخصات لوله	in (cm088/0 ۰۳۵/۰) سیم فولاد نرم اندازه دریچه غربال (in(0/012 cm۰۴/۰
سوخت	زغال

بعد از بازرسی عادی سوپرهیتر ، مشخص گردید که تورق ولایه لایه شدن مگنتیت روی سطح داخلی آن رخ داده است. نمونه های داخلی ریزودرشت توربین برای بازرسی خارج گردید. تقریباً ۱۰ درصد سوراخ های ریز توری با خرده های رسوب مگنتیت گرفته شده بودند. تکه های کوچک ورقه شده رسوب مگنتیت از طریق سوپرهیتر وارد شده و در سوراخ های صفحه نگه دارنده جا گرفته بودند (شکل ۷-۱)



کل (۷-۱) - لایه ای از توری ورودی به توربین با مش نرم که قطعات ورقه ورقه شده اکسید از لوله سوپرهیتر به روی ریچه های توربین منتقل، که به صورت جدا شده ملاحظه می گردد (بزرگنمایی: ۷/۵ ×).

تعدادی سنک ریز ونیز دراتی که از نوک مشعل کنده شده بودند در صفحه نکه دارنده کیر کرده بودند. سوراخ های بزرگ توسط تکه های مگنتیت با ضخامت (0/01 in (cm·۰۲۵/۰) و عرض (0/15 in (cm·۰۳۸/۰) گرفته شده بودند. سمتی از سوراخ های بزرگ که در مقابل جریان بخار قرار داشت در اثر پرتاب ذرات ضربه خورده و تیز شده بودند. کاهش ناچیزی در بازده توربین مشاهده شد و کمان می رفت که سایش شدید ناشی از اکسید لایه لایه شده ممکن است به پره های متحرک توربین آسیب رسانده باشد.

سابقه مطالعاتی (۱-۶)

صنعت	واحد شیمیایی
محل نمونه	لوله دیواره عمودی ۶ft بالای دیوار خط اصلی پایینی
جهت نمونه	افقی
مدت کارکرد	۵سال
برنامه بهسازی آب	پلیمر
فشار درام	۴۲۵ Psi Mpa93/2
مشخصات لوله	قطر خارجی (۲۶/۸) 3*1/4in (cm)
سوخت	نفت کوره شماره ۶ و گاز طبیعی

بهسازی شیمیایی برای کاهش لجن گرفتگی توصیه گردید و روش های عملی خروج گاز و دوده بازنگری گردیده پیشنهاد شده بود. شستشوی شیمیایی سوپرهیتر در همان زمان لازم نیست. یکی از ۷۴ لوله دیواره عمودی، پاره شده است. یک لایه رسوب قهوه ای سوخته و شکننده، سطح داخلی را پوشانده است (شکل ۲۴-۱)

(۱)



شکل (۱-۲۴) - سطح مقطع دیواره یک لوله باد کرده. ته‌نشست زیادی در هر دو قسمت سرد و داغ وجود دارد. ته‌نشست‌ها، فسفات‌ها، سیلیکات‌ها و کربنات‌ها می‌باشند.

وزن رسوب در قسمت داغ 100 gr/ft^2 در حالی که قسمت سرد 82 gr/ft^2 بود.

بیش از یک سال دیگ بخار بطور متناوب 90.000 پوند در ساعت (409000 kg/h) بخار تولید میکرد. (ظرفیت طراحی آن 75.000 پوند بر ساعت یا 34.000 کیلوگرم بر ساعت بود). سوخت‌ها بین گاز طبیعی و نفت کوره شماره ۶ تغییر می‌کرد و تا یک ماه قبل از خسارت، نفت کوره استفاده می‌شد مشعل‌های اصلی با مشعل‌های بزرگتر تعویض شده بود. رسوب‌گذاری، بخصوص به خاطر افزایش بیش از حد گرمای ورودی بود. بیش گرمایی ناشی از اینگونه رسوب‌ها در نهایت سبب از کار افتادگی گردید. علاوه بر آن طراحی مشعل و تولید بیش از ظرفیت، هر دو بطور عمده در رسوب‌گذاری و در نهایت، بیش گرمایی سهیم بودند.

فصل چهارم

شیمی احتراق دیگ بخار

طراحی دیک بخار مستلزم داشتن اطلاعات جامعی از سوخت و مواد حاصل از احتراق آن است. در این فصل محاسبات احتراق که در آن مقادیر هوای لازم، گازهای حاصل و تجزیه و غلظت این گازها بررسی می شود و نیز ارزش گرمایی سوختها مورد بحث قرار می گیرد.

چون در محاسبات احتراق به تعیین غلظت گازها اشاره می شود، ابتدا به تشریح آن می پردازیم:

چگالی گازها

جرم مولی یک جسم عبارت از مجموع حاصلضرب جرم اتمی در تعداد اتمهای هر یک از عناصر شیمیایی فرمول آن جسم است. بنابراین در مونواکسید کربن (CO) که یک اتم کربن و یک اتم اکسیژن وجود دارد، با توجه به این که جرمهای اتمی آن به ترتیب ۱۲ و ۱۶ است، جرم مولی برابر با $12 \times 1 + 16 = 28$ می باشد.

در دی اکسید کربن (CO₂) که یک اتم کربن و ۲ اتم اکسیژن دارد، جرم مولی برابر با $12 + 32 = 44$ می باشد. این محاسبه را می توان برای سایر مواد به کار برد. جرم مولی را می توان در هر یک از واحدهای جرم بیان کرد.

حجم مولی یک گاز حجمی است که توسط جرم مولی آن در شرایط معین دما و فشار اشغال شده است. در واحدهای SI، جرم مولی تمام گازها حجمی معادل ۲۲.۴ (m³) در (۲۷۳ °K) و فشار مطلق ۱.۰۱۳ bar، غلظت (CO₂)، یعنی جرم بر حجم برابر است با: در دمای ۰ °C و ۱.۰۱ bar است. برای مثال در مورد CO

$$44/22.4=1.9643 \text{ kg m}^{-3}$$

دما و فشار ۰ °C و ۱.۰۱ bar را به نام استانداردهای دما و فشار می نامند.

اصطلاح دیگری نیز به نام دما و فشار نرمال به کار می رود که شرایط عادی اتمسفر را نشان می دهد کرچه تعاریف قابل قبول جهانی برای این دو واحد وجود ندارد .بنابراین در واحد چگالی گازها، برای جلوگیری از ابهام، به شرایط دما و فشار باید اشاره کرد.

در مواردی که فشار و دمای گاز از 1.013 bar و 0°C تجاوز می کند، چگالی گاز در شرایط جدید با استفاده از قانون گازها به این صورت محاسبه می شود:

$$PV=WRT$$

که در آن:

فشار مطلق P

حجم V

جرم گازی که حجم V را اشغال کرده W

دما بر حسب kT

عدد ثابت جهانی برای گاز R

(همه بر حسب واحد یکسان)

$$\text{چگالی} = W/V = P/RT$$

$$\text{چگالی} = P_1/(RT_1)$$

$$\text{چگالی} = P_2/(RT_2) = 2$$

بنابراین نتیجه می شود:

$$P_1 / P_2 = (T_1 / T_2)^{\gamma} \quad \text{چگالی ۱} \quad \text{چگالی ۲}$$

که نتیجه می شود:

$$\rho_2 = \rho_1 \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

به طور مثال در مورد گاز (CO₂) ، غلظت در t^oC و p بار برابر است با:

$$\rho = \frac{P}{R(T+273)} \text{ kg m}^{-3}$$

1.9643

چگالی مخلوط گازها

چگالی مخلوط گازها را می توان به سادگی ابتدا با تعیین جرم مولی مخلوط و سپس به کمک اصولی که گفته شد، محاسبه نمود .

به طور مثال چگالی گاز طبیعی طبق آنالیز داده شده در جدول ۱-۳ محاسبه می شود .

جرم مولی مخلوط، با ضرب کردن نسبت حجمی هر یک از اجزا در جرم مولی و جمع نتایج به دست می آید.

جدول ۱-۳ تعیین آنالیز جرمی گاز طبیعی به کمک آنالیز حجمی آن

ترکیب	فرمول	درصد حجم	نسبت حجم	جرم مولکولی	نسبت جرمی	درصد جرمی	نسبت جرمی
		A		C	D=B×C		
متان	CH ₄	۹۴.۵	۰.۹۴۵	۱۶	۱۵.۱۲۰	۸۹.۲۲۴	۰.۸۹۲۲
اتان	C ₂ H ₆	۲.۹	۰.۰۲۹	۳۰	۰.۸۷۰	۵.۱۳۴	۰.۰۵۱۳
پروپان	C ₃ H ₈	۰.۴	۰.۰۰۴	۴۴	۰.۱۷۶	۱.۰۳۶	۰.۰۱۰۴
بوتان	C ₄ H ₁₀	۰.۲	۰.۰۰۲	۵۸	۰.۱۱۶	۰.۶۸۵	۰.۰۰۷
پنتان	C ₅ H ₁₂	۰.۱	۰.۰۰۱	۷۲	۰.۰۷۲	۰.۴۲۵	۰.۰۰۴۲
سولفور	H ₂ S	۰.۲	۰.۰۰۲	۳۴	۰.۰۶۸	۰.۴۰۱	۰.۰۰۴۰
هیدروژن	CO						
کربن	N ₂	۰.۳	۰.۰۰۳	۴۴	۰.۱۳۲	۰.۷۷۹	۰.۰۰۷۸
اکسیدازت		۱.۴	۰.۰۱۴	۲۸	۰.۳۹۲	۲.۳۱۳	۰.۰۲۳۱
کل		۱۰۰.۰	۱.۰۰۰		۱۶.۹۴۶	۱۰۰.۰	۱.۰۰۰

جرم مولی مخلوط = 16.946

در جدول ۱-۳ خلاصه این محاسبات درج شده است. حاصلضرب ستون b در ستون c مساوی با ستون D است. جمع ارقام ستون D برابر با حجم مولی مخلوط گازها یعنی 16.946 می باشد. چگالی مخلوط گاز طبیعی در 0°C و فشار 1.013 BAR برابر با $3\text{-kg} = 16.946/22.4 = 0.7565$ می باشد.

راه دیگر محاسبه به این صورت است که چنانچه مقادیر غلظت هر یک از اجزا گاز معلوم باشد، نسبت حجمی (ستون B) هر یک از اجزا را در غلظت آن جزء ضرب کرده و نتایج را جمع می نماییم تا غلظت گاز مخلوط به دست آید. باید دقت کرد که مقادیر چگالی همه در یک شرایط مساوی فشار و دما باشند. تبدیل نتیجه به شرایط مطلوب، طبق معادله 3-3 محاسبه می شود.

ترکیب شیمیایی سوخت ها

اجزاء قابل احتراق موجود در کلیه سوختهای فسیلی زغال، نفت و گاز طبیعی عبارت از کربن، هیدروژن و در بعضی موارد گوگرد است. این اجزاء به صورت عنصری نیستند بلکه بین خود و گاهی نیز با سایر اجسام ترکیب شده اند. مواد خنثی نظیر سیلیس و اکسیدهای فلزی نیز ممکن است وجود داشته باشند.

آنالیز سوختهای جامد و مایع را بر حسب جرم و آنالیز سوختهای گازی را بر حسب حجم آنها مشخص می سازند. آنالیز سوختهای جامد به صورت تقریبی، یا نهایی نیز می تواند بیان شود. در آنالیز تقریبی مقدار رطوبت، خاکستر، مواد فرار و کربن ثابت سوخت بر حسب درصد وزنی و نیز ارزش گرمایی آن تعیین می

گردد.



آنالیز تقریبی اطلاعات محدودی از خصوصیات احتراق را به دست می دهد، ولی آنالیز نهایی سوخته‌های جامد و مایع عناصر تشکیل دهنده سوخت را که قابل احتراق هستند، همراه با خاکستر و رطوبت آن، مشخص می سازد. با آنالیز جداگانه ای، اجزا تشکیل دهنده خاکستر هم می تواند مشخص گردد. تجزیه گازها معمولاً فقط گازهای تشکیل دهنده آن را به صورت حجمی نشان می دهد.

ترکیب	به حالت معمولی	خشک	خشک وبدون خاکستر
کربن خالص	۵۰.۱۹	۵۷.۰۳	۶۲.۵
مواد فرار	۳۰.۱۱	۳۴.۲۲	۳۷.۵
خاکستر	۷.۷	۸.۷۵	-
رطوبت	۱۲.۰	-	-
کل	۱۰۰.۰	۱۰۰.۰	۱۰۰.۰
انرژی گرمایی kJ kg^{-1}	۲۷۰۰۰	۳۰۶۸۲	۳۳۶۲۴
۱			

از آنالیز نهایی برای تعیین هوای لازم احتراق و محصولات حاصل از احتراق استفاده می شود. آنالیز سوخته‌های جامد طبق استاندارد BS1016 انجام می شود. آنالیز سوخته‌های مایع نیز بر حسب استاندارد IP جهت مواد نفتی و فراورده های آن به کار می رود. آنالیز سوخته‌های گازی در محل و توسط عرضه کنندگان آن تعیین می گردد.

آنالیز سوخته‌های جامد، به خصوص زغال، به صورت های مختلف نظیر وضعیت دریافتی، وضعیت احتراق، خشک، خشک و بدون خاکستر یا خشک و بدون مواد معدنی، بیان می شود. آنالیز های شکل دریافتی و

شکل احتراق، به صورت های تقریبی و نهایی فقط در رطوبت موجود آنها تفاوت دارند که با وضعیت دخیره سازی، آب و هوا، و چگونگی جابجایی سوخت، متغیر است.

جدول ۳-۳

	زغال	نفت سنگین
کربن	٪۶۶.۰	٪۸۵.۴
هیدروژن	٪۴.۱	٪۱۱.۴
گوگرد	٪۱.۷	٪۲.۸
اکسیژن	٪۷.۲	٪۰.۱
ازت	٪۱.۳	٪۰.۱
رطوبت	٪۱۲.۰	٪۰.۱
خاکستر	٪۷.۷	٪۰.۱
انرژی گرمایی ناخالص	۲۷۰۰۰	۴۲۹۰۰
۱-kj kg		

آنالیز خشک درصد اجزاء سوخت را بدون رطوبت آن و آنالیز خشک و بدون خاکستر، این آنالیز را بدون رطوبت یا خاکستر نشان می دهد. اجزاء خشک سوخت را می توان با ضرب کردن وضعیت دریافتی یا وضعیت سوخت در حاصل کسر (درصد رطوبت - ۱۰۰) / ۱۰۰ به دست آورد.

اجزاء خشک و بدون خاکستر را می توان با ضرب کردن اجزاء وضعیت دریافتی یا وضعیت احتراق در ((رطوبت + درصد خاکستر) - ۱۰۰) / ۱۰۰ محاسبه کرد.

مقادیر خاکستر و مواد معدنی دقیقاً یکسان نیستند زیرا بخشی از مواد معدنی هنگام حرارت دادن جهت تعیین خاکستر، تجزیه شده از بین می روند. بنابراین مقدار خاکستر کمی از مقدار مواد معدنی کمتر است. گاهی اوقات آنالیز خشک و بدون مواد معدنی را "Parr s basis" می نامند.

محاسبات احتراق

محاسبات احتراق بر اساس معادله های ساده واکنش شیمیایی اجزاء قابل احتراق سوخت با اکسیژن قرار گرفته است.

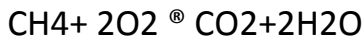
سوخت های گاز

سوخت های گازی شامل گازهای مایع مواد نفتی سنگین مرکب از مخلوط پروپان و بوتان تا گازهای سبک کوره بلند (ذوب آهن) که محتوی فقط ۲۲٪ مونواکسید کربن با ۲.۴٪ هیدروژن رقیق شده با مواد خنثی، دی اکسید کربن و ازت است، می باشد .

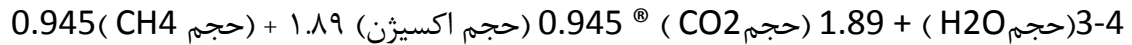
از زمانهای قدیم گاز طبیعی، معمولی ترین سوخت کوره ها بوده است. این گاز بیشتر شامل متان است که تجزیه آن در جداول مطالب قبلی نشان داده شده است .گاز دریای شمال بدون گوگرد است، ولی به خاطر تکمیل محاسبات، مقدار ناچیزی هیدروژن سولفره برای آن در نظر گرفته شده است، زیرا به طور کلی گوگرد از اجزاء تشکیل دهنده سایر سوختهای گازی می باشد.

واکنشهای شیمیایی مواد گازی براساس حجمی مطابق فرمولهای زیر است:

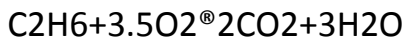
• مقدار حجمی متان ۶۲.۵ %



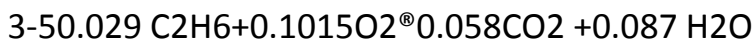
ضرب طرفین واکنش در ۰.۹۴۵ که نسبت حجمی است



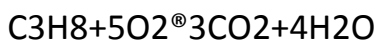
• مقدار حجمی اتان ۲.۹ %



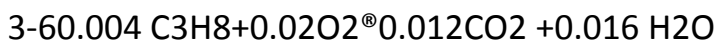
ضرب طرفین معادله در ۰.۰۲۹



*مقدار پروپان ۰.۴ %



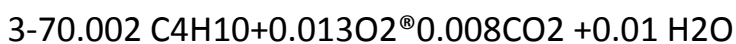
ضرب طرفین معادله در ۰.۰۰۴



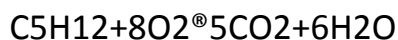
• مقدار بوتان ۰.۲ %



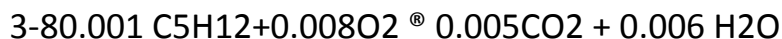
ضرب طرفین معادله در ۰.۰۰۲



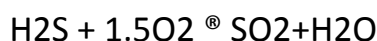
پنتان ۰.۱٪



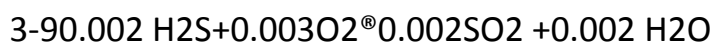
ضرب طرفین معادله در ۰.۰۰۱



• هیدروژن سولفره ۰.۰۲٪



ضرب طرفین معادله در ۰.۰۰۲



باید توجه داشت که حجمهای دو طرف معادله از نظر مجموع، یکسان نیستند، این موضوع در معادله های بالا مشهود است.

مرحله بعدی خلاصه کردن معادله های فوق برای به دست آوردن مقدار اکسیژن لازم (به مقدار تئوری) Stoichiometric است. جهت نیتروژن موجود در هوای سوخت و هوای اضافی لازم جهت تکمیل احتراق (۱۰٪ در این مورد)، مقادیری منظور شده و سپس محصولات احتراق براساس مرطوب و خشک محاسبه شده است.

در عمل هوای احتراق شامل مقدار کمی رطوبت است، که در صورت معلوم بودن مقدار آن (Humidity)، می توان آن را محاسبه و همراه با هوای اضافی به محصولات احتراق اضافه نمود

محصولات احتراق

اکثر ابزارهای دقیق که برای تجزیه گازهای خروجی از کوره به کار می روند، از گازهایی که رطوبت ناشی از احتراق و رطوبت همراه سوخت آنها خارج شده است، استفاده می کنند. عمل تجزیه با تقطیر و گاهی نیز با خشک کردن گازها انجام می گیرد که در این صورت حجم کلی گازهای خشک کمتر از حجم کلی گازهای مرطوب است و بنابراین درصد اجزاء دهنده آن نیز متفاوت است که در گزارش نتیجه آزمایش باید به آن اشاره کرد .

جدول ۳-۴ خلاصه معادله ها و تجزیه محصولات احتراق

شماره معادله	نوع گاز	درصد حجمی گاز	نسبت حجمی گاز	حجم اکسیژن لازم تئوری از معادله های ۳-۴ تا ۹-۳	حجم محصولات حاصل از احتراق با اکسیژن			
					۲CO	O ₂ H	۲SO	۲N
۳.۴	۴CH	۹۴.۵	۰.۹۴۵	۱.۸۹۰	۰.۹۴۵	۱.۸۹۰	-	-
۳.۵	۶H ₂ C	۲.۹	۰.۰۲۹	۰.۱۰۲	۰.۰۵۸	۰.۰۸۷	-	-
۳.۶	۸H ₃ C	۰.۴	۰.۰۰۴	۰.۰۲۰	۰.۰۱۲	۰.۰۱۶	-	-
۳.۷	۱۰H ₄ C	۰.۲	۰.۰۰۲	۰.۰۱۳	۰.۰۰۸	۰.۰۱۰	-	-
۳.۸	۱۲H ₅ C	۰.۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۸	۰.۰۰۵	۰.۰۰۶	۰.۰۰۲	-

۳.۹	S۲H	۰.۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۳	-	۰.۰۰۲	-	-
در سوخت	۲CO	۰.۳	۰.۰۰۳	-	۰.۰۰۳	-	-	۰.۰۱۴
در سوخت	۲N	۱.۴	۰.۰۱۴	-	-	-	-	-
مجموع		۱۰۰.۰	۱.۰۰۰	۲.۰۳۶	۱.۰۳۱	۲.۰۱۱	۰.۰۰۲	۰.۰۱۴

هوا شامل 21% حجمی ازت (نیتروژن) است. هوای لازم بمقدار تئوری برای تامین 2.0355 حجم اکسیژن به این صورت عمل می شود .

$$\text{حجم هوا} = 9.693 \text{ ازت} + 7.657 \text{ O}_2 + 2.0355$$

هوای لازم با احتساب ۱۰٪ هوای اضافی

$$\text{حجم هوا} = 10.662 \text{ N}_2 + 8.423 + 2.239 \text{ O}_2$$

مجموع محصولات احتراق (مرطوب) با ۱۰٪ هوای اضافی شامل ازت موجود در سوخت به این صورت محاسبه می شود :

حجم سوخت / حجم

$$= (2.239 - 2.0355) \text{ O}_2 + (8.423 + 0.014) \text{ N}_2 + 1.031 \text{ CO}_2 + 2.011 \text{ H}_2\text{O} + 0.002 \text{ SO}_2$$

11.685

مجموع محصولات احتراق (خشک) با ۱۰٪ هوای اضافی شامل ازت موجود در سوخت :

$$\text{حجم سوخت / حجم} = 0.00250Z + 1.031C0Z + (8.423 + 0.014)N2 + (2.239 - 2.0355)O2$$

9.674

ارقام فوق در جدول ۳-۵ خلاصه شده است.

بعضی تجزیه گرهای اکسیژن گازهای کوره ، نمونه برداری نمی کنند بلکه با قرار گرفتن لوله ای از جنس Zirconia در کانال عبور گازهای مرطوب کوره، مقدار اکسیژن را اندازه گیری می کنند. این سنجش بر مبنای گازهای مرطوب می باشد. حجم کلی گازهای خروجی از کوره را براساس طراحی آن، می توان با محاسبه چگالی گازهای خروجی از کوره را بر اساس طراحی آن، می توان با محاسبه چگالی گازها مطابق آنچه در بخش مربوطه و جدول 6-3 ذکر شد تعیین کرد .

جدول ۳-۵ محصولات احتراق گاز طبیعی بر اساس مرطوب و خشک

محصولات احتراق	حجم تر	درصد حجم تر	حجم خشک	درصد حجم خشک
CO ₂	۱.۰۳۱	۸.۸۲۳	۱.۰۳۱	۱۰.۶۵۷
H ₂ O	۲.۰۱۱	۱۷.۲۱	-	-
SO ₂	۰.۰۰۲	۰.۰۱۷	۰.۰۰۲	۰.۰۲۱
N ₂	۸.۴۳۷	۷۲.۲۰	۸.۴۳۷	۸۷.۲۱۳
O ₂	۰.۲۰۴	۱.۷۵	۰.۲۰۴	۲.۱۰۹
مجموع	۱۱.۶۸۵	۱۰۰.۰۰	۹.۶۷۴	۱۰۰.۰۰

جدول ۳-۶ محاسبه چگالی گازهای خروجی از کوره

گاز	جرم مولی A	درصد حجم تر B (از جدول ۳-۵)		درصد حجم خشک C (از جدول ۳-۵)	
CO ₂	۴۴	۸.۸۲۳	۳.۸۸	۱۰.۶۵۷	۴.۶۸۹
H ₂ O	۱۸	۱۷.۲۱۰	۳.۱۰	-	--
SO ₂	۶۴	۰.۰۱۷	۰.۰۱	۰.۰۲۱	۰.۰۱۳
N ₂	۲۸	۷۲.۲۰۰	۲۰.۲۲	۸۷.۲۱۳	۲۴.۴۲۰
O ₂	۳۲	۱.۷۵۰	۰.۵۶	۲.۱۰۹	۰.۶۷۵
مجموع		۱۰۰.۰۰	۲۷.۷۷	۱۰۰.۰۰	۲۹.۷۹۷

$۱.۲۲ = ۲۲.۲ / ۲۷.۷۷$ - $m^{-۳} kg$ = غلظت گازهای خروجی کوره (مرطوب)

$۱.۳۳ = ۲۲.۴ / ۲۹.۷۹۷$ - $m^{-۳} kg$ = غلظت گازهای خروجی کوره (خشک)

سوخت های جامد و مایع

تجزیه سوختهای جامد و مایع بر مبنای جرمهای عناصر شیمیایی قابل احتراق موجود در سوخت انجام می گیرد، برخلاف تجزیه گازها که این کار براساس نسبتهای حجمی گازهای تشکیل دهنده، نظیر متان CH_4 صورت می گرفت.

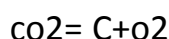
سوختهای جامد نیز دارای مواد معدنی و رطوبت هستند، که مواد جامد تبدیل به خاکستر می گردد و رطوبت نیز تبخیر شده و باعث رقیق کردن محصولات احتراق می شود. سوختهای مایع ته مانده برج تقطیر، نظیر سوخت سنگین کوره دارای مواد معدنی و رطوبت است که مقدار آن بسیار کمتر از مقادیر موجود در سوختهای جامد است و در کل به حدود ۰.۲% بالغ می گردد، در حالیکه در مورد زغالهای با درجه زیر $۵۰ mm$ این مقدار به ۲۰% می رسد. (جدول ۳-۳)

محاسبه هوای لازم جهت احتراق و تجزیه محصولات احتراق سوختهای جامد و مایع تقریباً نظیر سوختهای گاز است. برای مثال در مورد زغال، مواد قابل احتراق آن کربن، هیدروژن و گوگرد می باشد. همان طور که در جدول دیده می شود مقدار قابل ملاحظه ای اکسیژن در تجزیه وجود دارد که از قبل با بعضی از اجزاء تشکیل دهنده سوخت ترکیب شده و بنابراین مقدار آن از کل اکسیژن لازم (به مقدار تئوری) کسر می

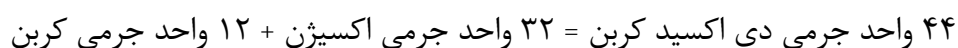
حال با در نظر گرفتن ۳۰٪ هوای اضافی برای احتراق زغال در دیک های بخار متوسط (که مقدارش در دیگهای بزرگ، کمتر است) معادله های احتراق بررسی می شود. قابل ذکر است که در احتراق نفت کوره در دیگ های متوسط مقدار هوای اضافی ۱۷٪ است که این مقدار در دیگ های لوله - آبی بزرگ، کمتر می باشد.

چون آنالیز سوخت بر مبنای جرمی است، محاسبات احتراق نیز بر اساس جرم انجام می گیرد.

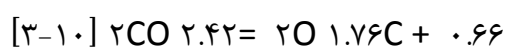
معادله احتراق کربن به این صورت است:



جرم مولی کربن ۱۲ و جرم مولی اکسیژن ۳۲ می باشد. بنابراین موازنه مولی به این صورت است:

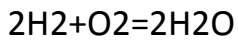


طبق جداول قبلی مقدار کربن در تجزیه سوخت برابر با ۶۶٪ است، یعنی ۰.۶۶ کیلوگرم کربن در یک کیلوگرم سوخت. بنابراین، برای این سوخت، جرمهای مولی در (۱۲/۰.۶۶) ضرب می شود که معلوم می شود ۰.۶۶ کیلوگرم کربن نیاز به ۱.۷۶ کیلوگرم اکسیژن دارد تا ۲.۴۲ کیلوگرم دی اکسید کربن بدهد. معادله به این صورت است:



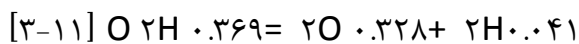
جهت سایر اجزاء تشکیل دهنده سوخت نیز به همین ترتیب عمل می شود.

* مقدار هیدروژن ۰.۲۰۱٪ یعنی ۰.۰۲۱ کیلوگرم سوخت است.

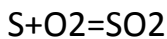


$$۳۲ + ۴ = ۳۶$$

با ضرب دو طرف معادله در (۴/۰.۰۴۱)

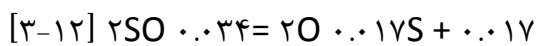


* مقدار گوگرد ۱.۷٪ یعنی ۰.۰۱۷ کیلوگرم در هر کیلوگرم سوخت است.



$$۶۴ = ۳۲ + ۳۲$$

با ضرب دو طرف معادله در (۳۲/۰.۰۱۷)



نتایج فوق در جدول ۳-۷ خلاصه شده که در آن مقدار اکسیژن موجود در سوخت، هنگام تعیین مقدار تئوری اکسیژن لازم، در نظر گرفته شده است. با اضافه کردن ۴۰٪ هوای اضافی، آنالیز گازهای خروجی از کوره براساس موازنه جرمی معین شده است.

در این وضعیت، براساس محاسباتی که براساس جرم انجام شده می توان نتایج را آزمایش و بررسی کرد.

به طور مثال :

جرم گازهای خروجی از کوره = جرم سوخت بدون خاکستر + جرم هوای داده شده

کیلوکرم کازهای خروجی از کوره ۱۲.۲۶۷ = کیلوکرم سوخت بدون خاکستر ۰.۶۲۲ + کیلوکرم سوخت /
کیلوگرم هوا ۱۲.۳۷۴

این محاسبه برقراری جریان کافی گازهای حاصل از احتراق را در کوره جهت محاسبات انتقال حرارت فراهم می‌سازد. محاسبات سوخته‌های گاز را نیز می‌توان براساس جرمی محاسبه کرد مشروط بر آن که ابتدا مطابق ستون F جدول ۳-۱ آنالیز آن به جرم تبدیل شود.

ارزش گرمایی (انرژی ویژه)

ارزش گرمایی یک سوخت مقدار حرارت آزاد شده توسط احتراق واحد جرم آن سوخت تحت شرایط خاص دما و فشار می‌باشد، که برای تعیین آن می‌توان مقدار معینی از سوخت را در کالریمتری که تمام گرمای آزاد شده قابل اندازه‌گیری است، سوزاند.

تعریفهای جامع تری نیز برای ارزش گرمایی وجود دارد. مقادیر واقعی ارزش گرمایی توسط عرضه‌کننده سوخت تحت عنوان ارزش گرمایی اعلام شده یا آرایه نمونه‌ای از سوخت در محل مصرف جهت آنالیز، معلوم می‌گردد.

شیوه اخیر در مورد زغال به علت تغییرات میزان رطوبت آن بسیار دقیق است. در مورد گاز طبیعی لوله‌کشی شده، یا مخزن‌های بزرگ گاز مایع، مقادیر اعلام شده آنها کفایت می‌کند. در مورد نفت کوره، باید گفت که ارتباط نزدیکی بین ارزش گرمایی، چگالی و گوگرد موجود در این سوخت برقرار است که نتیجه آن بر آزمایشهای کالریمتری ترجیح داده می‌شود.

دو نوع ارزش گرمایی ناخالص و خالص وجود دارد که تفاوت بین این دو مهم است. ارزش گرمایی ناخالص مجموع انرژی آزاد شده است ولی در ارزش گرمایی خالص، مقدار گرمای نهان بخارات آب موجود در محصولات احتراق منظور نمی شود و نقشی در انتقال حرارت برای آن قایل نمی شوند ولی در بعضی دیدگاههای بخار مدرن امروزی که بخشی از بخارات تقطیر می شود، این امر کاملاً صادق نیست.

بنابراین برای جلوگیری از هر گونه ابهامی، در موقع گزارش ارزش گرمایی سوخت یا بازده دیگ، ذکر خالص یا ناخالص ضروری است. چون ارزش گرمایی خالص عدد کوچکتري است (در اروژا به آن ارزش گرمایی ژابین تر گفته می شود) بازده دیگ - درصد تبدیل حرارت داده شده به انرژی مفید برای تولید مشخص - بیشتر از موردی است که از ارزش گرمایی ناخالص (یا ارزش گرمایی بالاتر) استفاده شود. بعضی اوقات آگاهانه واژه های خالص و ناخالص برای فریب افراد ناوارد توسط شیادان حذف می شوند!

گاهی ارزش گرمایی سوخت مصرفی مشخص نیست، در این صورت چنانچه آنالیز حجمی، در مورد گازها، یا آنالیز جرمی، در مورد سوخته های جامد یا مایع، معین باشد می توان ارزش گرمایی را تخمین زد.

در سوخته های گازی با ضرب کردن درصد هر یک از اجزاء قابل احتراق سوخت در ارزش گرمایی آن جزء که به اسانی می توان از کتابهای کرجع به دست آورد، ارزش گرمایی سوخت معلوم می گردد. این ارزش گرمایی عبارت از مجموع حاصل ضربهای فوق بخش بر ۱۰۰ می باشد. در عمل این نتیجه به راحتی حاصل نمی شود و نیاز به منظور کردن فاکتور تراکم پذیری دارد که توصیه می شود به منابع ویژه مراجعه شود.

منابع

- (۱) کتاب تکنولوژی دیگ های بخار صنعتی تألیف David Gunn & Robert Horten و با ترجمه مهندس رفیعی پور
- (۲) سایت تخصصی صنایع مهندسی برق و بخار
- (۳) کتاب تجزیه و تحلیل از کارافتادگی دیگ های بخار مترجم مهندس محمد رضا نفری
- (۴) <http://mboiler.com>
- (۵) Steam Boiler Operation by James J. Jackson, Prentice-Hall Inc, New Jercsey, ۱۹۸۰
- (۶) حوری جعفری. ح، س ستاری، م مشایخی، ۱۳۹۰، کارایی انرژی در تأسیسات حرارتی، انتشارات هزاره سوم (چاپ اول)
- (۷) حوری جعفری. ح، س ستاری، م مشایخی، ۱۳۹۰، ارزیابی کارایی انرژی در تجهیزات و سیستم های تأسیساتی (چاپ اول)

