

مبدل های حرارتی و 'STALL'

شرکت پارس جم کنترل

نویسنده مقاله: مهندس عادل قهرمانی

در مقاله حاضر به مبحث تخلیه کندانس از تجهیزات و مبدل های حرارتی که با بخار اشباع کار می نمایند پرداخته می شود. این تجهیزات غالباً شامل شیر کنترل دما در مسیر بخار ورودی به مبدل و نیز تله بخار (یا وسیله جایگزین) در خط لوله خروجی کندانس از مبدل می باشند.

قسمت ورودی و اولیه مبدل به "فضای بخار" معروف بوده و تجهیزاتی که جهت ممانعت از گذر بخار می شود به "تله²" معروف است. تله میتواند یک "تله بخار³"، "پمپ-تله⁴" و یا "پمپ کندانس⁵" باشد.

در انواع مبدل ها و کویل های حرارتی بخار، معمولاً سنسور نصب شده در فرآیند دمای سیال خروجی از مدار ثانویه را تشخیص و گزارش میکند و شیر کنترل با تغییر وضعیت (باز یا بسته شدن)، دمای سیال را در اندازه تعیین شده ثابت نگاه میدارد. در واقع حرکت شیر موجب تغییر در فشار بخار داخل مبدل می گردد.

خروجی تله بخار ممکن است به ارتفاع بالاتری منتقل شده و یا به خط کندانس تحت فشار تخلیه شود و در شرایطی نیز بصورت آزادانه به اتمسفر منتقل میشود. به فشار خط کندانس اصطلاحاً فشار معکوس یا برگشتی اطلاق می شود.

عبارت مبدل حرارتی نیز میتواند شامل هر یک از تجهیزات زیر باشد:

۱ مبدل های حرارتی پوسته-لوله

۲ مبدل های حرارتی صفحه ای

۳ کویل های گرم کننده هوا در هوارسان یا کانال های هوا

۴ کویل های لوله ای در تجهیزات فرآیندی، تانک ها و مخازن و...

جریان سیال گرم شونده از داخل این تجهیزات اصطلاحاً به "جریان ثانویه" نام برده می شود.

در بسیاری از موارد، راندمان مبدل های حرارتی در اثر جمع شدن کندانس در فضای بخار کاهش می یابد و دو علت اصلی این پدیده را می توان در اثر اشتباهات تله بخار (نصب، مدل، سایز، کیفیت و...) و یا "استال" جستجو کرد.

توجه:

در بعضی از سیستم ها کنترل دمای ثانویه توسط تغییر سطح کندانس در فضای بخار مبدل انجام می شود. در این تجهیزات، حرکت شیر کنترل نصب شده در مسیر خروجی کندانس از مبدل موجب تغییر سطح کندانس در مبدل

¹ Stall

² Trap

³ Steam Trap

⁴ Pump Trap

⁵ Condensate pump

می شود. تجمع کندانس در واقع موجب کاهش سطح انتقال حرارت در مجاورت بخار شده و در نتیجه نرخ انتقال حرارت کاسته میشود بطوریکه دمای سیال ثانویه در محدوده مورد نظر حفظ گردد .
 در سیستم هایی از این نوع لازم است تا مبدل بصورت ویژه جهت مقاومت در برابر باقی ماندن کندانس طراحی شود. در غیر اینصورت، تجمع کندانس موجب اخلاخل در عملکرد مبدل شده و عمر کاری وسیله را کاهش میدهد. این روش کنترل در صورت طراحی مناسب دارای چند مزیت است ، از جمله اینکه خروجی مبدل تقریباً کندانس خالص و بال دمای پائین تر از بخار اشباع بوده و بنابراین مقدار بخار فلاش در خط کندانس بسیار کاسته خواهد شد که بمنزله بهبود عملکرد سیستم کندانس و کاهش اتلافات حرارتی است .

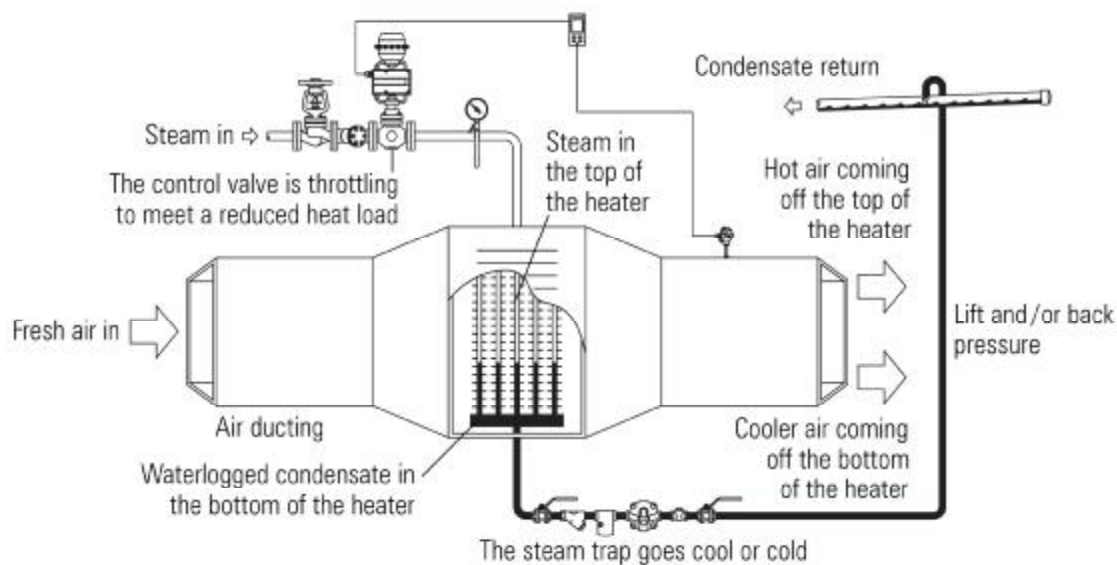
مفهوم استال چیست؟

استال در واقع کاهش جریان کندانس خروجی از مبدل است و زمانی رخ میدهد که فشار داخل مبدل برابر و یا کمتر از فشار معکوس روی تله بخار گردد. این کاهش فشار در اثر یکی از موارد ذیل رخ میدهد.

q افزایش دمای برگشت سیال ثانویه در اثر کاهش بار حرارتی

q کاهش گذر جریان سیال ثانویه در اثر کاهش بار حرارتی

q کاهش دمای رفت سیال ثانویه در اثر کاهش دمای تنظیم در کنترلر از آنجائیکه شیر کنترل دما موجب کاهش فشار بخار در مبدل میشود تا کاهش بار حرارتی را دنبال نماید، فقدان اختلاف فشار از تله بخار موجب باقی ماندن کندانس در فضای بخار (مانند شکل 1) می گردد.



شکل 1: هوارسان با کوئل بخار که دچار استال شده است

باتوجه به ضرایب اطمینان اعمال شده در محاسبات و نیز اینکه مبدل های حرارتی تولیدی معمولاً دارای اندازه های ثابت و (طبق استانداردهای شرکت تولید کننده) میباشند، معمولاً سطح حرارتی تامین شده بیشتر از مقدار مورد نیاز است و بنابراین فشار بخار داخل این مبدل ها کمتر از فشار بخار در مبدل های کاملاً مناسب جهت بار حرارتی ثابت

است. بنابراین مجدداً فشار بخار داخل مبدل کمتر از مقدار لازم جهت تخلیه کندانس است. در واقع این فشار بر ایجاد شرایط استال تاثیر مستقیم داشته و متعاقباً بر انتخاب تله بخار اثر گذار است. بنابراین پیش از انتخاب و اندازه گذاری تله بخار، لازم است که شرایط ایجاد استال بررسی شود و در صورت ایجاد آن، مقدار و زمان استال معلوم گردد. در غیر اینصورت ممکن است مشکلات مربوط به باقی ماندن کندانس در مبدل در تمام زمان کاری و یا زمان های خاص ایجاد شود. این پدیده به راحتی و به سرعت توسط اوبراتور تشخیص داده نشده و نیز تغییر در شرایط کاری و راندمان یک مبدل با سایز بزرگ تر از اندازه کاری دشوار و یا غیر ممکن است. جمع شدن کندانس در مبدل ها دارای خسارات مالی کوتاه مدت و یا بلند مدت خواهد بود مگر اینکه طراحی مبدل بدین منظور صورت گرفته باشد.

مشکلات کوتاه مدت

یک کویل پیش گرم کن بخار در هوارسان شکل 1 را در نظر بگیرید که بمنظور محافظت از انجماد و گرمایش اولیه هوای سرد ورودی پیش بینی شده است. فرض نمائید که دمای خروجی هوا از حد مجاز بالاتر رفته (بعلت بزرگ تر از اندازه بودن کویل) و بعلت بسته شدن شیر کنترل و کاهش فشار، کندانس زیادی در کویل جمع شود. هوای سرد ورودی (با دمای $0^{\circ}C$ و با سرعت تقریبی $3m/s$) از روی کویل عبور کرده و براحتی موجب انجماد آب خواهد شد که موجب صدمه به کویل و کنترل دمای ضعیف خواهد شد. در صورتیکه طراحی انجام گرفته مناسب باشد، جمع شدن کندانس و انجماد صورت نخواهد گرفت.

مشکلات بلند مدت

در صورت نصب تله های بخار با اندازه کوچک تر از میزان مورد نیاز، گاهاً تاثیر چندان بدی در عملکرد ظاهری مبدل ها دیده نمی شود. در برخی موارد نیز حتی ممکن است با انتخاب نادرست نوع تله بخار، شرایط سیستم کندانس در مناطق دیگر بهبود یابد. بصورت مثال، در صورت استفاده از یک تله بخار نوع ترموستاتیک در خروجی مبدل، کندانس حاصل سرد تر شده و با تاخیر از مبدل خارج می شود. این پدیده موجب کاهش بخار فلاش خروجی تله بخار شده و ممکن است تاثیر ظاهری آن در کاهش میزان بخار خروجی از ونت تانک کندانس مطلوب باشد و بعنوان روشی مناسب جهت کاهش هزینه ها و اتلافات تلقی گردد. ولی واقعیت این است که باقی ماندن دائم کندانس در مبدل حرارتی موجب خوردگی و یا ضربه چکش خواهد شد در نتیجه کاهش عمر مبدل حرارتی و هزینه های بالای تعمیرات و تامین تجهیزات جدید را بدنبال خواهد داشت. بنابراین تخلیه کامل فضای بخار از کندانس در انواع مبدل های حرارتی جزو اولویت های اول محسوب می شود.

نحوه ایجاد استال:

بمنظور درک مناسب این پدیده باید توجه کرد که بخار اشباع در واقع بخاری است که در زمان تبدیل به آب، حرارت خود را آزاد میسازد. پدیده کندانس شدن در صورت ثابت ماندن فشار فضای بخار، در دمای ثابت رخ میدهد. بصورت مثال، بخار اشباع در فشار اتمسفر در دمای $100^{\circ}C$ بوده و تبدیل آن به کندانس نیز در دمای $100^{\circ}C$ صورت میگیرد، در حالیکه در فشار نسبی $1barg$ ، این دماها به $120^{\circ}C$ تغییر می یابد. همچنین در فشارهای زیر فشار اتمسفر، بخار میتواند وجود داشته باشد بصورت مثال در فشار خلاء نسبی $0.5barg$ ، دمای بخار (و کندانس) $82^{\circ}C$ است.

طبق اصول انتقال حرارت افزایش دمای بخار موجب افزایش نرخ انتقال حرارت می شود. بمنظور تغییر در نرخ انتقال حرارت، باید دمای بخار (و در نتیجه فشار بخار) تغییر یابد.

بصورت مثال، اگر یک مبدل حرارتی از بخار با دمای $160^{\circ}C$ در شرایط حداکثر بار حرارتی استفاده کند. در صورتیکه مقدار بار، باندازه 50% کاهش یابد، دمای بخار کمتری مورد نیاز خواهد بود. بدین منظور لازم است تا فشار بخار داخل مبدل کاهش یابد که حتی در بسیاری از مواقع کمتر از فشار معکوس (خروجی) میگردد.

مثال:

یک مبدل حرارتی در شرایط بار حرارتی کامل از بخار اشباع با فشار 1 barg و دمای $120^{\circ}C$ استفاده میکند تا آب را از دمای $40^{\circ}C$ به دمای $60^{\circ}C$ گرم نماید. بنابراین بار حرارتی کامل در زمان اختلاف دمای $20^{\circ}C$ در ورودی و خروجی سیال ثانویه ایجاد شده و در این لحظه دمای متوسط آب برابر است با:

$$\frac{40^{\circ}C + 60^{\circ}C}{2} = 50^{\circ}C$$

اختلاف دما بین بخار و دمای متوسط آب به اختلاف دمای متوسط جبری⁶ معروف است و انتقال حرارت تابعی از این پارامتر است. در این مثال، AMTD در بار کامل برابر است با:

$$120^{\circ}C - 50^{\circ}C = 70^{\circ}C$$

شرایطی را در نظر بگیرید که بار حرارتی تا اندازه 2/3 کاهش می یابد. در شرایط بار حرارتی کامل، اختلاف دمای آب $20^{\circ}C$ است.

در صورت کاهش بار حرارتی بمیزان 2/3 بار کامل و ثابت ماندن دمای خروجی باندازه $60^{\circ}C$ ، اختلاف دما باید باندازه 2/3 دمای $20^{\circ}C$ بوده و بنابراین:

$$\text{اختلاف دما} = \frac{2}{3} \times 20^{\circ}C = 13.3^{\circ}C$$

$$60^{\circ}C - 13.3^{\circ}C = 46.7^{\circ}C = \text{دمای برگشت سیال ثانویه}$$

با توجه به افزایش دمای برگشت، دمای متوسط سیال برابر است با:

$$\frac{46.7^{\circ}C + 60^{\circ}C}{2} = 53.3^{\circ}C$$

در این شرایط (2/3 بار حرارتی)، انتقال حرارت لازم باید باندازه 2/3 کاهش یابد و بنابراین AMTD باید به میزان 2/3 مقدار خود در شرایط بار حرارتی کامل باشد.

$$\text{AMTD} = \frac{2}{3} \times 70^{\circ}C = 46.7^{\circ}C$$

دمای بخار لازم در این شرایط برابر است با دمای متوسط بعلاوه AMTD و بنابراین:

$$53.3^{\circ}C + 46.7^{\circ}C = 100^{\circ}C = \text{دمای بخار لازم}$$

از آنجائیکه دمای بخار اشباع در فشار اتمسفر برابر $100^{\circ}C$ است بنابراین فشار بخار در داخل مبدل نیز اتمسفر یک خواهد بود و بنابراین نیرویی جهت تخلیه کندانس از درون تله بخار وجود ندارد. حتی اگر انتهای تله بخار به محیط بیرون باز گردد، کندانس داخل مبدل تخلیه نمی شود.

در این صورت و با جمع شدن آب درون مبدل، فضای موجود جهت تقطیر بخار کاهش یافته و بنابراین گذر حرارت و دمای فرآیند، کاهش می یابند.

⁶ (Arithmetic Mean Temperature Difference)

این افت دما توسط سنسور دما به کنترلر گزارش میشود و عکس العمل کنترلر در جهت باز کردن جزئی شیر کنترلر و افزایش گذر بخار است این امر موجب افزایش فشار داخل مبدل بالاتر از فشار اتمسفر و هل دادن کندانس از درون تله بخار می گردد. سطح کندانس درون مبدل پایین می آید. ولی مجدداً فشار داخل مبدل بیشتر از فشار اتمسفر یک لازم جهت گرمایش آب تا دمای $60^{\circ}C$ است و بنابراین دمای آب بالاتر از این مقدار خواهد شد. سنسور دما و کنترلر موجب بسته شدن شیر کنترلر شده و فشار داخل مبدل برابر فشار اتمسفر میشود و مجدداً آب گرفتگی مبدل تکرار میشود

نتیجه این پدیده سیکل پیوسته ای از افزایش و کاهش دمای آب از $60^{\circ}C$ است. در صورتی که سیال ثانویه مایعی غیر از آب باشد، در بسیار از موارد منجر به صدمه در کیفیت آن خواهد شد.

علائم و اثرات استال:

بصورت خلاصه: در صورت ایجاد استال، یک یا چند عدد از نشانه های زیر قابل رویت است:

- 1- تله بخار سرد یا خنک
- 2- بازوبسته شدن مرتب و سریع شیر کنترلر
- 3- نوسان دمای خروجی
- 4- دمای مبدل Stratified
- 5- ضربه چکش
- 6- کاهش انتقال حرارت
- 7- کاهش کیفیت تولید
- 8- خوردگی درون مبدل
- 9- نشستی درون مبدل
- 10- خراب شدن کامل مبدل

جزئیات بیشتر

تله بخار سرد شده و یا بصورت قابل توجه خنک تر از دمای بخار ورودی به مبدل میگردد.
شیر کنترلر در معرض باز و بسته شدن مرتب، سریع و سیکلی⁷ قرار داشته و مرتباً باز و بسته میشود.
کنترلر دمای سیال ثانویه خروجی از مبدل با دقت کمتری نسبت به میزان تنظیمی میگردد.
دمای سیال خروجی از مبدل بصورت لایه ای متفاوت خواهد بود که بیشتر در کویل های هوارسان ها و یونیت هیترها مشهود است.

بطور مثال در مثال شکل 1، معمولاً سطح کویل حرارتی از طریق دریچه هایی قابل دسترسی است. در صورت وجود استال، هوای عبوری از قسمت فوقانی گرم شده (در اثر تماس با بخار) و هوای قسمت زیرین در نتیجه تماس با کندانس سرد، خنک و در دمای پایین قرار میگیرد و بنابراین اختلاف دمای هوای در قسمت فوقانی و تحتانی ملموس خواهد بود

در مبدل های حرارتی صدهای ضربه و ارتعاشات بصورت دائمی یا مقطعی به گوش می رسد. در برخی موارد این ضربات شدید بوده و میتواند موجب صدمه به مبدل و تجهیزات مجاور گردد. در واقع بخار داغ درون کندانس سرد

⁷ hunting

گیر افتاده و تقطیر میشود. که موجب ایجاد ضربه چکش خصوصاً در زمان تغییر سطح کندانس (با تغییر بار حرارتی) میگردد.

۹ در بسیاری از فرآیندها، نتایج حاصل ممکن است موجب صدمات قابل توجه به کیفیت محصول گردد.
۹ با توجه به افت دمای کندانس در مبدل حرارتی و قابلیت حلالیت شدیدتر اکسیژن و دی اکسید کربن در دمای های پایین، خوردگی در مبدل حرارتی آغاز خواهد شد که شدت آن به جنس مبدل (مس، کربن استیل، فولاد ضد زنگ و...) بستگی دارد
۹ تنش های مکانیکی

حرارت بالاتر بخار در قسمت فوقانی کویل (مبدل) منجر به انبساط آن شده در حالیکه کندانس سرد قسمت تحتانی باعث انقباض می گردد و موجب ایجاد تنش مکانیکی در مبدل خواهد شد و در صورت زیاد بودن آن با شکست در قسمت های مختلف باعث ایجاد نشستی بخار در مبدل می گردد. البته باید گفت بسیاری از مبدل های صفحه ای و مهندسی ساز و مخصوص بخار با اتصالات دارای گسکت تا اندازه ای در برابر این تنش ها مقاوم شده اند . نتیجه نهایی استال افزایش تعمیرات و نگهداری و کاهش عمر مبدل حرارتی و تجهیزات مجاور است که بمعنی افزایش هزینه بهره برداری است.

آیا تمام مبدل های حرارتی دارای استال می شوند؟

خیر. ممکن است شرایط کاری بگونه ای باشد که همواره فشار مثبت در ورودی تله بخار موجود بوده و کندانس را از مبدل خارج سازد.

بصورت کلی، دمای ثانویه بالاتر از 100°C و تثبیت بار حرارتی (خصوصاً نزدیک به بار حرارتی کامل مبدل) موجب کاهش احتمال ایجاد استال می گردد. هر فرآیندی شرایط مخصوص بخود را داشته و باید بصورت مجزا بررسی شود.

راه حل موجود استفاده از نمودار ، محاسبه مکانیکی و یا نرم افزار ، جهت تشخیص وضعیت کاری است . برخی تجهیزات میتوانند با مقادیر جزئی آب گرفتگی و استال ، در شرایط نسبتاً مطلوب کار نمایند. این موارد در بارهای حرارتی ثابت، تغییرات آهسته بار و مبدل های حرارتی مستحکم به چشم می خورد.

در این موارد باید از کویل های گرمائی قطور و مقاوم در برابر خوردگی که به سمت خروجی شیب دار هستند استفاده نمود. حتی در این تجهیزات نیز در صورت استفاده از روش مناسب جهت رفع استال (بصورت مثال استفاده از پمپ های مکانیکی کندانس) ، بهبود عملکرد و قابلیت اطمینان بهمراه کاهش هزینه های بهره برداری و نگهداری بصورت ملموس قابل رویت است .

علاقمندان جهت دریافت اطلاعات بیشتر می توانند با شرکت پارس جم کنترل (شماره تلفن های ، 88708223

و 24 (E-mail : info@pars-jam.com) تماس حاصل فرمایند.