

نکاتی در رابطه با انتخاب و طراحی مبدل های حرارتی بخار - استال

شرکت پارس جم کنترل

نویسنده مقاله: مهندس عادل قهرمانی

در مقالات پیشین نکاتی در ارتباط با کنترل دمای مبدل های حرارتی و شیوه های عملی مربوط به استحضار خوانندگان محترم رسید . یکی از مسائلی که در بسیاری از مبدل های حرارتی صفحه ای اتفاق می افتد ، پدیده استال¹ یا توقف جریان کندانس خروجی از تله بخار است . بحث حاضر این مقاله شناخت فنی این پدیده و محاسبات مربوط جهت پیش بینی زمان رخداد آن است . در صورت پیش بینی ایجاد استال و با توجه به حساسیت یا اهمیت فرایند کاری ، به منظور رفع مشکل استفاده از پمپ های مکانیکی کندانس یا پمپ-تله به عنوان یکی از بهترین راهکارها محسوب می شود که البته هزینه اولیه بیشتری را شامل خواهد شد . مبدل های حرارتی صفحه ای در مقایسه با انواع دیگر مبدل های حرارتی دارای آهنگ انتقال حرارت بسیار بیشتری به نسبت اندازه شان هستند که طبعاً در نتیجه ضریب انتقال حرارت بالای آنهاست . با توجه به این راندمان بالای حرارتی ، ابعاد و سطوح حرارتی این مبدل ها در فرایندهای گرمایشی نسبتاً کوچک است . سطح مورد نیاز جهت یک فرایند حرارتی مطابق با فرمول یک قابل محاسبه است .

$$A = \frac{Q \times 1000}{U \times T_{lmtD}}$$

A = سطح انتقال حرارت (m^2)

Q = نرخ انتقال حرارت (KW)

U = ضریب انتقال حرارت ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

T_{lmtD} = اختلاف دمای متوسط لگاریتمی ($^\circ C$)

$U \cong 5000 \text{ to } 10,000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ for plate heat exchangers

فرمول شماره ۱ : محاسبه سطح انتقال حرارت

¹ Stall

اختلاف دمای متوسط لگاریتمی (T_{mtd}) بیان کننده متوسط لگاریتمی اختلاف دمای ورودی و خروجی بین سیال های مدار اولیه (گرم کننده) و مدار ثانویه (گرم شونده) می باشد. به عنوان جایگزین در اکثر کاربردهای عملی، اختلاف دمای متوسط جبری (T_{amd}) قابل استفاده است. طرز محاسبه پارامتر مذکور از فرمول 2 قابل ملاحظه است:

$$T_{amd} = \frac{(TH_{out} + TH_{in})}{2} + \frac{(TC_{out} + TC_{in})}{2}$$

T_{amd} = اختلاف دمای متوسط جبری (°C)

TH_{in} = دمای ورودی سیال اولیه (°C)

TH_{out} = دمای خروجی سیال اولیه (°C)

TC_{in} = دمای ورودی سیال ثانویه (°C)

TC_{out} = دمای خروجی سیال ثانویه (°C)

فرمول شماره ۲ : محاسبه اختلاف دمای متوسط جبری

در زمانیکه از بخار به عنوان سیال مدار اولیه (گرم کننده) استفاده می شود، عمل انتقال حرارت از بخار (آنتالپی تبخیر) در دمای ثابت اتفاق افتاده و در واقع $TH_{(in)} = TH_{(out)}$ خواهد بود. بنابراین در مبدل های حرارتی بخار می توان از فرمول ساده شده شماره 3 استفاده نمود:

$$T_{amd} = TH_{in} + \frac{(TC_{out} + TC_{in})}{2}$$

فرمول شماره ۳ : شکل ساده تر محاسبه اختلاف دمای متوسط جبری جهت بخار

در بسیاری از مبدل های حرارتی صفحه ای بخار که احتمالاً از شیر کنترل دما در مسیر ورودی بخار استفاده می کنند، افت فشار در مدار ثانویه قابل ملاحظه است و بمنظور کاهش این افت فشار ، سطح مبدل حرارتی بزرگ تر از اندازه مورد نیاز انتخاب می شود. از فرمول شماره یک دیده می شود که در صورت افزایش سطح انتقال حرارت و با ثابت بودن نرخ انتقال حرارت ، تنها پارامتری که می تواند کاهش یابد اختلاف دمای متوسط خواهد بود . متعاقباً با توجه نیاز در ثابت بودن دماهای ورودی و خروجی فرایند (مدار ثانویه) ، تنها پارامتر قابل تغییر دمای متوسط مدار اولیه یا همان دمای بخار است که خود تابعی از فشار بخار می باشد.

بصورت خلاصه می توان گفت در صورت افزایش سطح حرارتی مبدل به منظور تثبیت دمای فرایند ، لازم است تا از فشار بخار ورودی کاسته شود. در عمل با توجه به انتخاب فشار ثابتی از بخار در ورودی مبدل حرارتی ، شیر کنترل بخار است که با بسته شدن این تقلیل فشار را ایجاد خواهد کرد.

استفاده از مبدل های حرارتی صفحه ای بیش از حد بزرگ که بمنظور استفاده در مدار بخار طراحی نشده اند، در بسیاری از صنایع و موتورخانه ها دیده می شود. این مقدار افزایش سطح که معمولاً بین 100% تا 200% است ، تأثیر قابل ملاحظه ای در فشار بخار داخل مبدل حتی در شرایط بار حرارتی کامل خواهد داشت. در صورتی که طراحی مبدل حرارتی صفحه ای جهت استفاده از بخار صورت گیرد، افزایش سطح حرارتی مشکل مهمی نبوده و ندرتاً بیش از 15% خواهد بود.

کاهش بیش از حد فشار بخار در مبدل حرارتی ، احتمالاً منجر به کاهش اختلاف فشار موثر بین ورودی و خروجی تله بخار مبدل حرارتی شده و در نتیجه با عدم تخلیه کندانس ، مبدل حرارتی دارای آب گرفتگی (stall) می گردد. این مهم باعث مشکلات کنترل ضعیف دمای فرایند (نوسانات دما) و یا احتمالاً صدمات فیزیکی به مبدل حرارتی در اثر ضربات چکش و تنش حرارتی می گردد. همچنین از عمر مفید شیر کنترل ورودی بخار نیز کاسته خواهد شد. در بسیاری از موارد اوپراتور مربوط ناچار به باز کردن شیر تخلیه کندانس به هرزاب شده و میزانی از کندانس با ارزش اتلاف خواهد شد .

توقف تخلیه کندانس در مبدل های حرارتی : stall

در صورتیکه فشار معکوس (برگشتی) روی تله بخار بیش از فشار موجود در ورودی تله گردد، اصطلاحاً گفته می شود مبدل حرارتی در شرایط استال قرار گرفته است . همانطور که ذکر شد این شرایط مشکلات زیادی را جهت کنترل فرایند و یا تجهیزات مربوط ایجاد می نماید. تعیین شرایط ایجاد استال در یک مبدل حرارتی قابل پیش بینی بوده و با محاسبه و یا استفاده از نمودارهای مربوط قابل تخمین می باشد. این دو روش توسط مثال های زیر توضیح داده می شود.

روش محاسباتی تعیین استال:

در یک مبدل حرارتی مقدار 4Kg/s آب از دمای 30°C تا دمای 90°C گرم می شود.

بخار موجود با فشار 4barg در دسترس بوده و با فرض اولیه افت فشار در شیر کنترل در حدود 25% ، فشار بخار ورودی به مبدل حرارتی در حدود 3barg تعیین می گردد. کندانس خروجی به صورت ثقیلی و به لوله ای با فشار اتمسفریک تخلیه می شود. بمنظور تأمین بار حرارتی مورد نیاز و همچنین افت فشار قابل قبول در حدود 35kpa در مدار ثانویه ، از یک مبدل حرارتی با سطح حرارتی 2.6m² و ضریب انتقال حرارت (U) در حدود 7.450 w/m²°C استفاده می شود. در اولین گام با استفاده از فرمول 4 بار حرارتی کامل محاسبه می گردد.

$$Q = M \times C_p \times (T_{C_{out}} - T_{C_{in}})$$

$$Q = 4 \times 4.186 \times (90 - 30)$$

$$Q = 1004.6 \text{ KW}$$

$$Q = \text{بار حرارتی (KW)}$$

$$M = \text{گذر جریان ثانویه (kg/s)}$$

$$C_p = \text{ظرفیت گرمائی ویژه} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) = 4.186$$

$$T_{C_{in}} = \text{دمای ورودی سیال ثانویه} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{C_{out}} = \text{دمای خروجی سیال ثانویه} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

فرمول شماره ۴ محاسبه بار حرارتی

با استفاده از داده های موجود ، اختلاف دمای متوسط جبری مورد نیاز جهت تأمین بار حرارتی کامل قابل محاسبه است که از طریق فرمول 5 انجام می گیرد.

$$A = \frac{Q \times 1000}{U \times T_{lmtd}}$$

$$2.6 = \frac{1004.6 \times 1000}{7450 \times T_{amtd}}$$

$$T_{amtd} = 51.9^{\circ}\text{C}$$

فرمول شماره ۵ : محاسبه اختلاف دمای متوسط جبری

با توجه به مشخص بودن دمای متوسط جریان ثانویه ، می توان دمای متوسط جریان اولیه TH_{in} را در شرایط بار حرارتی کامل با استفاده از فرمول شماره 6 محاسبه نمود.

با استفاده از جدول بخار اشباع دیده می شود دمای 112°C معادل با فشار بخاری در حدود 0.5barg خواهد بود. مثال فوق نشان دهنده این واقعیت است که صرفنظر از فشار بخار ورودی به شیر کنترل دما، فشار داخل مبدل حرارتی بستگی به میزان بار حرارتی و سطح انتقال حرارت مبدل خواهد داشت.

در این مثال دیده می شود در حالت بار حرارتی کامل و با توجه به وجود فشار 0.5barg در ورودی به تله بخار و تخلیه اتمسفر یک به خط کندانس ، اختلاف فشار تله مثبت بوده و استال ایجاد نمی گردد.

$$T_{amtd} = TH_{in} + \frac{(TC_{out} + TC_{in})}{2}$$

$$51.9 = TH_{in} + \frac{(90 + 30)}{2}$$

$$TH_{in} = 112^{\circ}\text{C}$$

فرمول شماره ۶ : محاسبه دمای واقعی مورد نیاز مدار اولیه (بخار)

در مثال فوق ، شرایط ایجاد استال با کاهش فشار ورودی به تله بخار معادل یا کمتر از فشار 0barg ایجاد خواهد شد . در این شرایط دمای بخار 100°C می باشد.

پدیده فوق در صورت ایجاد یکی از شرایط زیر یا ترکیب آنها ایجاد خواهد شد:

- دمای ورودی و خروجی جریان ثانویه مبدل حرارتی ثابت مانده ولی گذر جریان کاهش یابد.
- گذر جریان ثانویه ثابت بوده ولی اختلاف دمای جریان ثانویه کاهش یابد . (دمای ورودی افزایش یابد یا دمای خروجی کاهش پیدا کند)

پیش بینی نقطه ایجاد شرایط فوق با استفاده از محاسبات امکان پذیر است .

همانطور که ذکر شد استفاده از متوسط لگاریتمی دما (LMTD) از نظر فنی دقیق تر بوده ولی استفاده از متوسط جبری دما (AMTD) ساده تر و در اکثر کاربردها با دقت مناسب قابل استفاده است. در محاسبات بعدی از AMTD استفاده شده و ضریب انتقال حرارت ثابت فرض می شود (در عمل ضریب انتقال حرارت با تغییرات سرعت و دمای سیال تغییر می یابد). در مثال زیر و با استفاده از فرمول شماره 7 می توان شرایط ایجاد استال در حالت تغییر در جریان ثانویه را پیش بینی نمود.

$$F_S = \frac{TH_{in(stall)} - \frac{(TC_{out} + TC_{in})}{2}}{TH_{in(full)} - \frac{(TC_{out} + TC_{in})}{2}}$$

$$F_S = \frac{100 - \frac{(90 + 30)}{2}}{112 - \frac{(90 + 30)}{2}}$$

$$F_S = 0.77$$

F_S = ضریب استال

$TH_{in(stall)}$ (°C) دمای ورودی سیال مدار اولیه در حالت استال

$TH_{in(full)}$ (°C) دمای ورودی سیال مدار اولیه در حالت بار کامل

TC_{in} (°C) دمای ورودی سیال ثانویه

TC_{out} (°C) دمای خروجی سیال ثانویه

فرمول شماره ۷ : محاسبه ضریب استال در حالت جریان متغیر

با اعمال ضریب محاسبه شده F_s بر میزان جریان کامل، می توان نقطه مرزی ایجاد استال را محاسبه نمود. در مثال فوق، استال در زمانی ایجاد می شود که میزان جریان بمیزان $3.1 \text{ kg/s} = (4 \text{ kg/s} \times 0.77)$ کاهش یابد.

محاسبه فوق در واقع بیان کننده نسبت بین AMTD در حالت ایجاد استال با AMTD در حالت بار کامل است.

بصورت مشابه بمنظور محاسبه میزان کاهش اختلاف دما در جریان ثانویه جهت شروع استال می توان از فرمول شماره 8 استفاده نمود که در واقع نشان دهنده نسبت بین اختلاف دمای بخار خروجی و جریان ثانویه در حالت استال و در حالت جریان کامل است.

$$F_s = \frac{TH_{in(stall)} - TC_{out}}{TH_{in(full)} - TC_{out}}$$

$$F_s = \frac{100 - 90}{112 - 90}$$

$$F_s = 0.45$$

فرمول شماره ۸: محاسبه ضریب استال در حالت اختلاف دمای متغیر

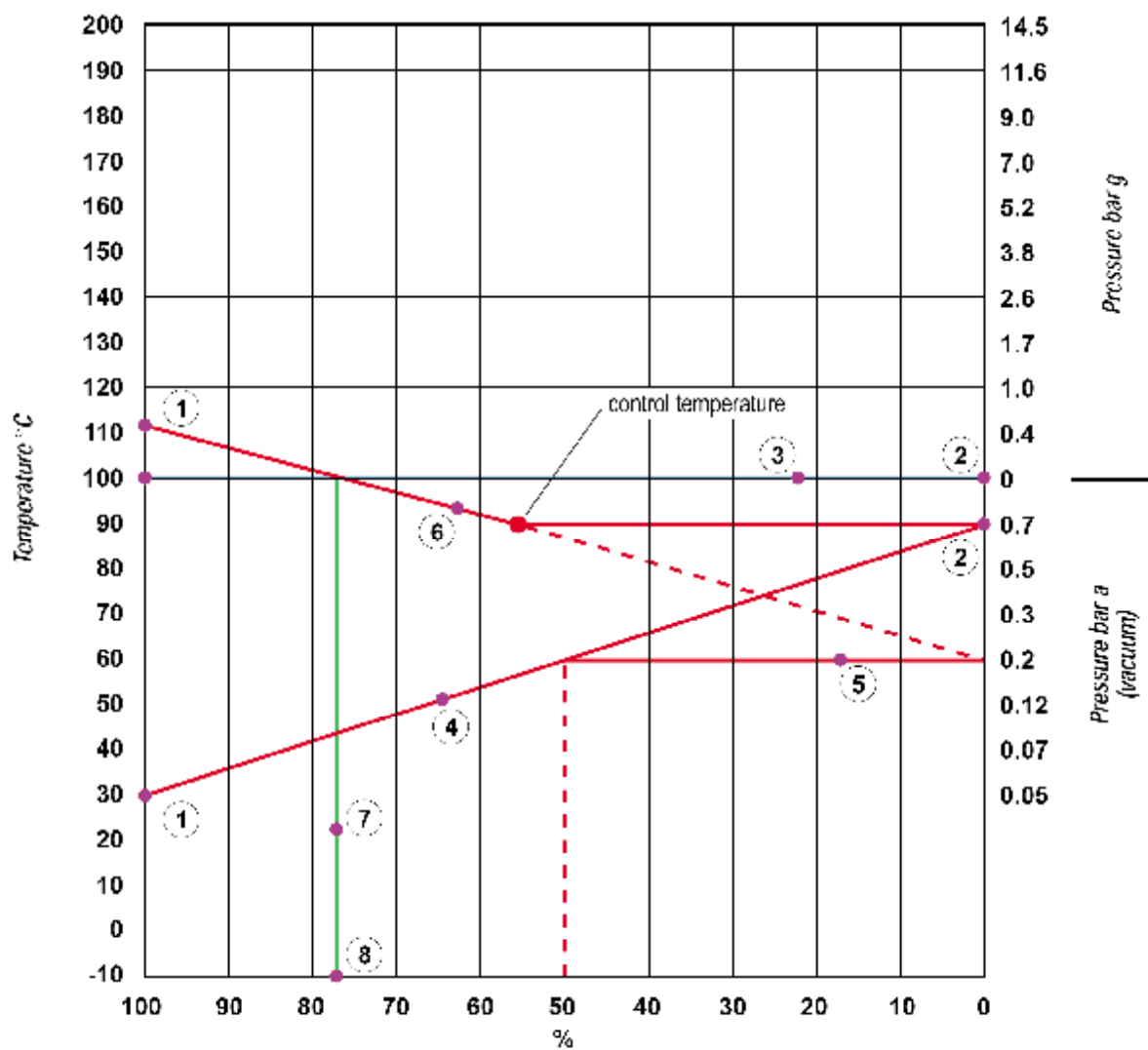
با اعمال ضریب فوق در ΔT حداکثر (بار کامل)، نقطه ایجاد استال مشخص می شود که در این مثال، با کاهش اختلاف دما بمیزان $27^\circ \text{C} = 0.45 \times 60^\circ \text{C}$ یا کمتر خواهد بود. بنابراین در صورت ثابت بودن دمای خروجی برابر 90°C ، استال در زمان افزایش دمای ورودی تا $90^\circ \text{C} - 27^\circ \text{C} = 63^\circ \text{C}$ ایجاد می شود.

نمودار پیش بینی استال

همانطور که ذکر شده با استفاده از نمودار هم می توان شرایط ایجاد استال را پیش بینی نمود. در این نمودار می توان فرایند یک مبدل حرارتی بین 0 تا 100% بار حرارتی را ترسیم نمود. علاوه بر این، نمودار مذکور می تواند بمنظور تعیین میزان جریان در زمان تعیین ظرفیت پمپ کندانس مکانیکی (پمپ-تراپ) مورد استفاده قرار گیرد.

*بمنظور تعیین درصدی از جریان ثانویه که به استال منتهی می شود از روش زیر استفاده نمائید:

1. دمای بخار در شرایط بار حرارتی کامل و 112°C همچنین دمای ورودی سیال ثانویه 30°C را بر روی محور عمودی سمت چپ مشخص کنید. توجه نمائید که دمای بخار در شرایط بار حرارتی کامل باید قبلاً محاسبه شده باشد.
2. دمای خروجی سیال ثانویه 90°C و دمای اشباع بخار و فشار برگشتی خط کندانس (خروجی تله 100°C) را بر روی محور سمت راست مشخص کنید.
3. خط افقی نشان دهنده فشار معکوس را روی نمودار رسم کنید.
4. دمای ورودی سیال ثانویه را به دمای کنترل متصل نمائید.
5. نقطه میانی خط 4 را در وضعیت 50% تعیین و خط افقی را به سمت راست ترسیم کنید این نقطه نشان دهنده متوسط دمای جریان ثانویه برابر با 60°C است.
6. دمای بخار در حالت بار کامل در محور سمت راست متصل کنید. این خط بهتر است در تقاطع با خط دمای کنترلی قطع شود.
7. در محل تقاطع این خط با خط فشار برگشتی، خط عمودی را به سمت محور پائینی ترسیم و درصد جریانی که در آن استال رخ می دهد را مشخص نمائید که برابر با $3.1 \text{ kg/s} = (4 \text{ kg/s} \times 0.77)$ خواهد بود.



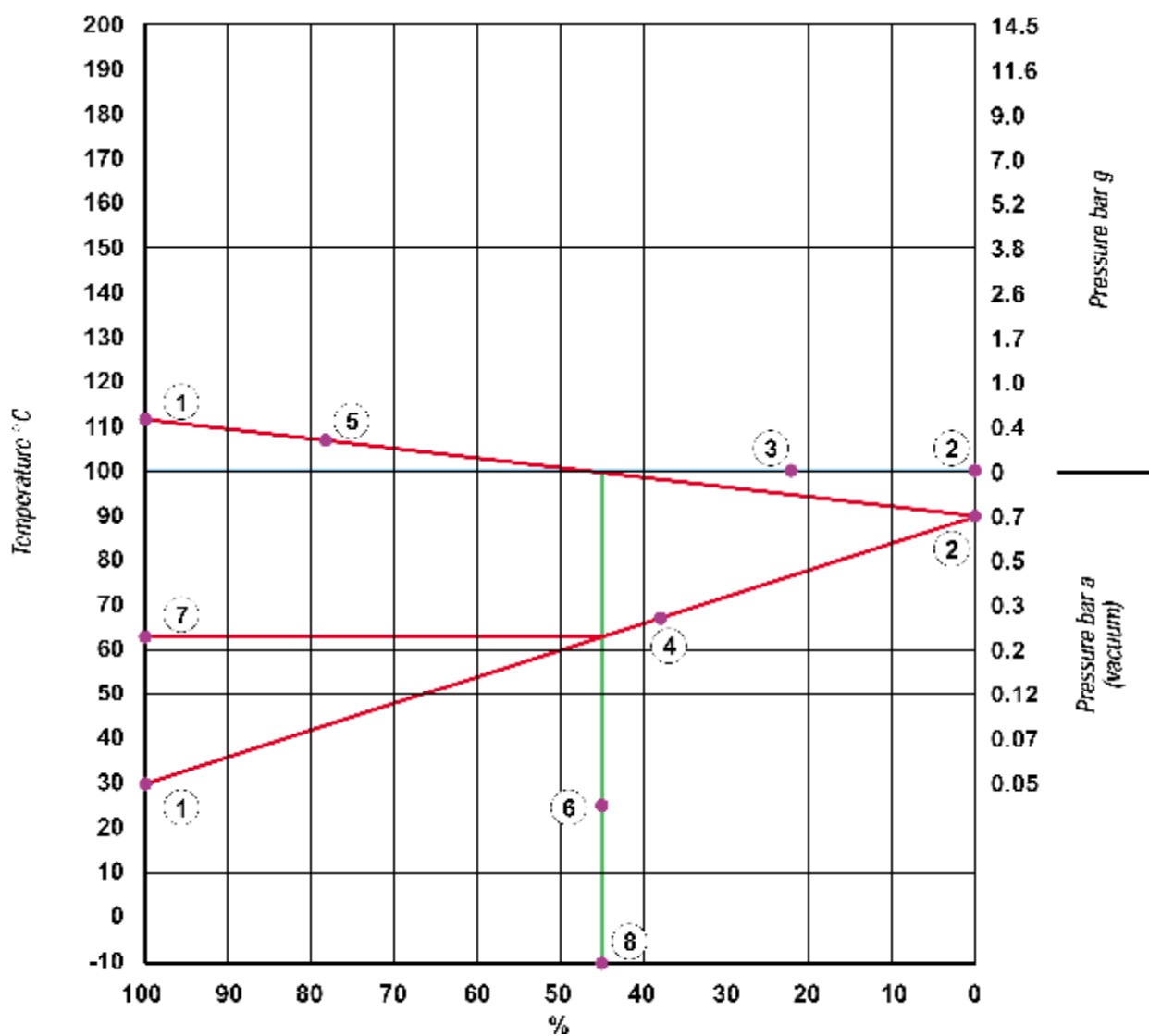
نمودار شماره یک : تعیین شرایط استنال در حالت جریان متغیر



*بمنظور تعیین دمای ورودی سیال ثانویه و درصدی از ΔT که منجر به ایجاد استال می شود از روش زیر استفاده کنید:

1. همانند حالت پیش دمای بخار 112°C و دمای ورودی سیال ثانویه 30°C را بر روی محور سمت چپ تعیین کنید.
2. دماهای کنترل فرایند 90°C و دمای معادل با فشار برگشتی را 100°C بر روی محور سمت راست تعیین کنید.
3. خط افقی نشان دهنده فشار برگشتی را رسم کنید.
4. دمای ورودی سیال ثانویه 30°C را به دمای کنترل یا خروجی سیال ثانویه 90°C متصل کنید.
5. دمای کنترل را به دمای بخار در حالت بار کامل متصل کنید.
6. در محل تقاطع خط فوق (5) با فشار برگشتی ، خط عمودی را به سمت محور پائین امتداد دهید تا درصدی از اختلاف دما که منجر به ایجاد استال می شود بدست آید . این مقدار در مثال حاضر برابر با 45 % خواهد بود. بنابراین $0.45 \times 60^{\circ}\text{C} = 27^{\circ}\text{C}$
7. از محل تقاطع خط عمودی مذکور (شماره 6) با خط شماره 4 ، خط افقی به سمت محور چپ رسم کنید تا دمای ورودی سیال ثانویه که منجر به استال می شود را تعیین کنید (63°C)

کنترل



علاقمندان جهت دریافت اطلاعات بیشتر می توانند با شرکت پارس جم کنترل (شماره تلفن های 24 , 88708223 و

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