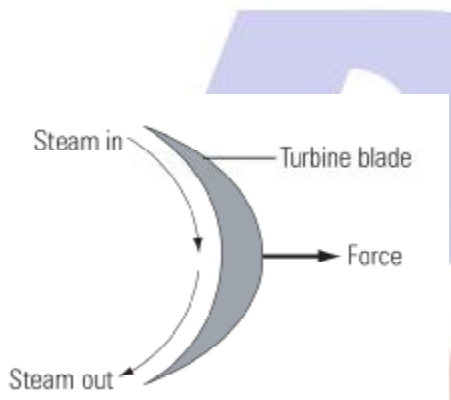


بخار سوپرهیت یا بخار اشباع ؟

شرکت پارس جم کنترل

نویسنده مقاله: مهندس عادل قهرمانی

در صورت تماس بخار اشباع تولید شده دردیگ با سطوح دما بالا، دمای بخار به بالاتر از دمای تبخیر افزایش خواهد یافت .
به این بخار ، بخار سوپرهیت گفته شده و به تفاوت دمای بخار اشباع و دمای افزایش یافته بخار ، درجه سوپرهیت اطلاق می گردد.
سوپرهیت نمودن بخار در صورت وجود آب درون بخار ممکن نبوده و افزایش حرارت موجب تبخیر قطرات آب خواهد شد .
بمنظور گرمایش مجدد ، بخار اشباع باید از درون یک مبدل حرارتی عبور نماید . این مبدل می تواند قسمت ثانویه ای در داخل بویلر بوده و یا بصورت سوپرهیتر جداگانه باشد . سیال گرم کننده نیز می تواند گازهای داغ خروجی مشعل بوده و یا اینکه مشعل جداگانه ای تعبیه شود .



بخار سوپرهیت در کاربردهای خاصی استفاده می شود ، بعنوان مثال در توربین های بخار از بخار سوپرهیت جهت عبور از نازل ها و هدایت به سمت رتور استفاده شده که منجر به چرخیدن رتور می شود. از آنجائیکه انرژی لازم فقط از بخار تأمین می شود ، بنابراین بخار خروجی از رتور دارای انرژی کمتری خواهد بود.

در صورتیکه بخار در دمای اشباع باشد ، این کاهش انرژی منجر به کندانس شدن قسمتی از بخار می شود .

توربینها دارای طبقات مختلفی هستند ، بخار خروجی از اولین قسمت به سمت محور رتور دوم هدایت می شود در واقع با هدایت بخار در طول طبقات توربین ، رطوبت آن افزایش پیدا خواهد نمود . این شرایط نه تنها باعث ایجاد ضربه چکش خواهد شد ، بلکه قطرات آب موجب خوردگی شدید پره های توربین می گردند . راه حل جلوگیری از این مشکلات ، استفاده از بخار سوپرهیت در ورودی توربین و استفاده از انرژی آن جهت چرخش رتور بوده که در نهایت بصورت بخار تقریباً اشباع از توربین خارج می شود .
علت دیگر استفاده از بخار سوپرهیت در توربینهای بخار ، افزایش راندمان حرارتی است .

بازده ترمودینامیکی یک موتور حرارتی نظیر توربین ، توسط دو تئوری قابل محاسبه است :

□ سیکل کارنو که در آن تغییرات دمای بخار خروجی و ورودی با دمای ورودی مقایسه می شود .

□ سیکل رانکین که در آن تغییرات انرژی حرارتی بخار ورودی و خروجی با کل انرژی ورودی مقایسه می شود .

با بررسی سیکل های رانکین و کارنو نتایج زیر حاصل می شود :

□ درجه حرارت یا انرژی ورودی به توربین باید تا حد امکان بالا باشد که بمعنی بالا بودن فشار و دما بشرط عملی بودن آن است.

استفاده از بخار سوپرهیت ساده ترین و مناسب ترین روش جهت این امر می باشد .

□ درجه حرارت یا انرژی خروجی توربین حتی المقدور پایین نگاه داشته شود که بمعنی فشار و دمای حداقل عملی در این

قسمت بوده و معمولاً توسط کندانسور در خروجی توربین تأمین می گردد .

- آیا می توان از بخار سوپرهیت در فرآیندهای انتقال حرارت استفاده نمود ؟

اگرچه بخار سوپرهیت سیال ایده آلی در کاربردهای گرمایشی نیست ، با این وجود از این نوع بخار در سایت های صنعتی ، خصوصاً صنایع نفت و پتروشیمی استفاده می شود . در این موارد ، قبل از اینکه بگوئیم بخار سوپرهیت مزیت خاصی بر بخار اشباع جهت کاربرد حرارتی دارد ، باید توجه کرد که بخار سوپرهیت به علت استفاده در توربین های تولید نیرو مستقر در سایت ، موجود و در دسترس می باشد .

در اکثر مواقع از بخار اشباع جهت کاربردهای گرمایشی استفاده می شود ، حتی اگر مجبور به دی سوپرهیت کردن بخار باشیم . در بسیاری از سایت های پتروشیمی و پالایشگاهی نیز بخار سوپرهیت موجود تا حدود 10 درجه دی سوپرهیت شده و سپس جهت فرآیند گرمایش استفاده می شود . این مقدار ناچیز نیز در تماس با قسمتهای اولیه سطوح حرارتی منتقل می گردد . درجه های بالای بخار سوپرهیت غالباً مشکل ساز و غیراقتصادی بوده و بهتر است در کاربردهای گرمایش استفاده نشوند .

از دلایل نامناسب بودن بخار سوپرهیت جهت گرمایش می توان به موارد زیر اشاره نمود :

- مقدار آنتالپی بخش سوپرهیت بخار در مقایسه با آنتالپی اشباع آن نسبتاً کم می باشد .

در صورتیکه بخار از درجه سوپرهیت کمی برخوردار باشد ، سرعت انرژی خود را از دست داده و به بخار اشباع تبدیل میشود و اگر درجه سوپرهیت بالا باشد ، زمان زیادی جهت خنک شدن تا دمای اشباع صرف شده و در این زمان نرخ انرژی منتقل شده کم می باشد .

- بر خلاف بخار اشباع ، دمای بخار سوپرهیت یکنواخت نیست . بخار سوپرهیت هنگام پس دادن انرژی کاهش دما می یابد ، در حالیکه بخار اشباع با دارا بودن دمای ثابت ، تغییر فاز می دهد ، در نتیجه استفاده از بخار سوپرهیت ممکن است باعث گرادیان دما در سطوح انتقال حرارت گردد.

در مبدل های حرارتی ، استفاده از بخار سوپرهیت می تواند منجر به تشکیل لایه نازک خشک در حال جوشش در ناحیه جریان ثانویه گردد. این قسمت براحتی و به سرعت پوشیده از جرم و رسوب شده و متعاقبا با افزایش دما در این ناحیه ، شکست و سوراخ شدن لوله ها رخ خواهد داد .

در نتیجه دیده می شود که در کاربردهای انتقال حرارت ، بخار با درجه زیادی از سوپرهیت چندان مناسب نمی باشد ، زیرا :

- هنگام سرد شدن تا دمای اشباع ، انرژی کمی را انتقال می دهد.

- باعث گرادیان دما در سطوح انتقال حرارت می گردد .

- آهنگ انتقال حرارت را کاهش می دهد .

- سطوح انتقال حرارت بیشتری را نیازمند است .

نتیجه مذکور جهت بخار سوپرهیت کمی عجیب به نظر می رسد ، چرا که آهنگ انتقال حرارت در یک سطح ارتباط مستقیم با اختلاف دمای طرفین دارد . اگر بخار سوپرهیت دارای دمای بیشتری نسبت به بخار اشباع در یک فشار ثابت باشد ، آیا انتقال حرارت به همان نسبت افزایش می یابد ؟ جواب خیر می باشد که طبق جزئیات ذیل بیشتر به آن می پردازیم :

واضح است که افزایش دما باعث افزایش نرخ انتقال حرارت می گردد:

$$Q^* = UA\Delta T$$

Q^* (W) آهنگ انتقال حرارت در واحد زمان =

U ($W/m^2\text{ }^\circ C$) ضریب انتقال حرارت عمومی =

A (m^2) سطح انتقال حرارت =

ΔT ($^\circ C$) اختلاف دما بین سیال اولیه و ثانویه =

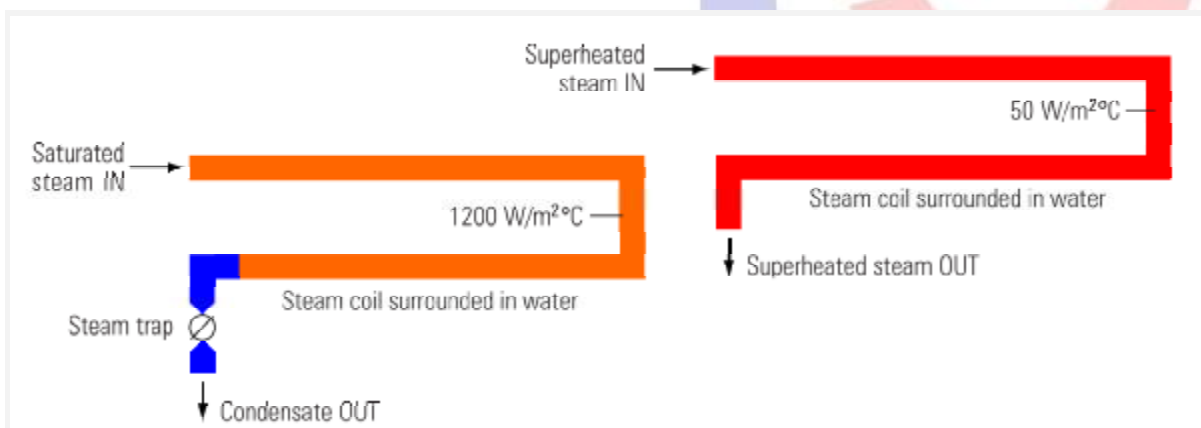
معادله فوق همچنان نشان دهنده ارتباط نرخ انتقال حرارت به ضریب هدایت (U) و سطح انتقال حرارت (A) می باشد .

سطح انتقال حرارت ثابت بوده ولی میزان ضریب انتقال حرارت U بین بخار اشباع و بخار سوپرهیت متفاوت است .

ضریب انتقال حرارت کلی بخار سوپرهیت در طی فرآیند تغییر خواهد نمود ولی همواره از بخار اشباع کمتری باشد. تخمین مقدار U در سوپرهیت مشکل است چرا که پارامترهای زیادی در آن تأثیر گذار هستند، ولی در کل با افزایش درجه سوپرهیت مقدار U کاهش می یابد.

بطور مثال، در یک کویل بخار افقی احاطه شده با آب مقدار U برای بخار سوپرهیت در حدود $50-100 \text{ w/m}^2\text{C}$ است که در مورد بخار اشباع به $1200 \text{ w/m}^2\text{C}$ افزایش پیدا می نماید. (شکل 2)

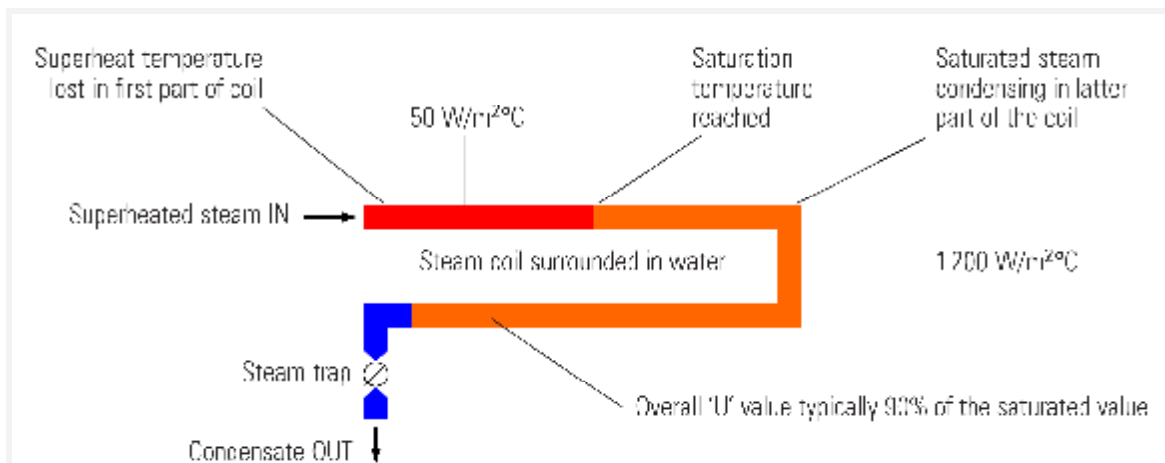
همچنین در مورد کویل بخار درون مخزن روغن، مقدار U جهت بخار سوپرهیت حدود $20 \text{ w/m}^2\text{C}$ و در صورت استفاده از بخار اشباع برابر با $150 \text{ w/m}^2\text{C}$ می باشد. اعداد مذکور تقریبی و نمونه بوده واعداد واقعی با توجه به ملاحظات طراحی و کارکرد متفاوت می باشند.



شکل 2: مقادیر نمونه U جهت کویل بخار سوپرهیت و اشباع درون آب

اگرچه دمای بخار سوپرهیت همیشه بالاتر از دمای بخار اشباع در یک فشار ثابت است، قابلیت انتقال حرارت آن بسیار کمتری باشد. استفاده از معادله فوق جهت بخار سوپرهیت بسیار مشکل است زیرا دمای بخار در هنگام انتقال حرارت کاهش می یابد. اندازه گذاری تجهیزات انتقال حرارت در بخار سوپرهیت نیز امری پیچیده است، ولی واضح است که اندازه این تجهیزات نسبت به تجهیزات مشابه در بخار اشباع بزرگتر می باشند زیرا دیده شد که بخار سوپرهیت از انتقال حرارت کم تری برخوردار است.

در صورت لزوم استفاده از بخار سوپرهیت، معمولاً در قسمتهای اولیه کویل کاهش درجه حرارت و خنک شدن بخار اشباع اتفاق می افتد. انتقال حرارت این قسمت در برابر انتقال حرارت بخار اشباع اندک است. پس بهتر است بخار سریعاً کاهش دما داده تا به بخار اشباع تبدیل شود (شکل 3). بدین منظور، بخار سوپرهیت تجهیزات انتقال حرارت نباید بیشتر از 10°C سوپرهیت باشد.



شکل 3 : درجه سوپرهیت کم ، اجازه کندانس شدن بخار در قسمت بیشتر کویل

و افزایش ضریب انتقال حرارت کلی را بدست می دهد.

در صورت استفاده از ترکیب فوق ، قسمت اول کویل صرف تبدیل بخار سوپرهیت به بخار اشباع شده و بقیه کویل مزیت استفاده از بخار اشباع را خواهد داشت و در نتیجه ضریب انتقال حرارت عمومی کاهش چندانی نسبت به بخار اشباع نخواهد داشت . از آزمایشات تجربی معلوم شده است که افزایش سطح مورد نیاز جهت هر 2°C از بخار سوپرهیت برابر 1% سطح کل است . استفاده از درجه سوپرهیت بیشتر از 10°C در کاربردهای حرارتی مناسب نیست ، زیرا باعث عدم تناسب و افزایش غیر اقتصادی سطوح انتقال حرارت ، افزایش احتمال رسوب و نیز احتمال جوشش و دمای ناخواسته در تولید می گردد.

Fouling -

فولینگ در واقع افزایش مقاومت حرارتی در سطوح ناقل حرارت بعلت تشکیل رسوب و ناخالصیهاست. بسیاری از سیالات می توانند در روی سطوح انتقال حرارت تولید رسوب و جرم نمایند . این فرآیند در دماهای بالاتر ، سریعتر اتفاق می افتد . بعلاوه از آنجائیکه بخار سوپرهیت گاز خشک است ، انتقال حرارت بخار به طرف دیواره فلزی باید از لایه ساکن مجاور دیواره عبور کند که خود مانع دیگری جهت انتقال حرارت است .

در بخار اشباع ، کندانس شدن بخار موجب حرکت بخار به طرف دیواره ها شده و درست در سطح مجاور دیواره مقادیر زیادی از انرژی نهان نهفته آزاد می شود .

ترکیب کلیه عوامل فوق باعث کاهش بسیار زیاد ضریب انتقال حرارت بخار سوپرهیت نسبت به بخار اشباع می باشد ، اگرچه اختلاف دمای بین بخار سوپرهیت و سیال ثانویه بیشتر است .

- کاربردهای دیگر بخار سوپرهیت :

در مثال های فوق بخار سوپرهیت از داخل گذرگاه باریکی مثل لوله در مبدل پوسته لوله ای و یا بین صفحات ، در مبدل حرارتی صفحه ای عبور می نماید .

در موارد دیگری مانند سیلندرهای خشک کن در صنایع کاغذ سازی ، ممکن است بخار سوپرهیت در حجم زیاد داخل سیلندر با سرعت کم استفاده شود . در این مثال بخار سوپرهیت نزدیک به جدار سیلندر سریعاً به دمای اشباع رسیده و کندانس می شود و میزان انتقال حرارت باحالت استفاده از بخار اشباع یکسان می باشد. (بخار سوپرهیت در قسمتهای میانی سیلندر باقی می ماند) . در مواردی نیز استفاده از بخار سوپرهیت به کاهش کیفیت محصول منجر می شود . در مواردی که بخار سوپرهیت بعنوان یکی از موارد فرآیند استفاده می شود ، بخار سوپرهیت ممکن است به خشک شدن فرآیند غذایی منجر شود .

- تأثیر کاهش فشار

یکی از روش های تولید بخار سوپرهیت ، علاوه بر استفاده از مبدل حرارتی یا سوپرهیتر ، استفاده از اریفیس یا شیرفشارشکن می باشد . ولی باید توجه داشت که این عمل تنها در صورتیکه انرژی مازاد کافی جهت تبخیر رطوبت بخار ورودی به شیر فشارشکن و سپس افزایش دما وجود داشته باشد ممکن خواهد بود.

در عمل سوپرهیت شدن بخار در اثر تقلیل فشار در شرایط هنگام بسیار خشک بودن بخار ورودی یا در صورت تقلیل فشار زیاد ، اتفاق خواهد افتاد .

در کاربردهای متداول و بویلرهای بخار اشباع ، با توجه به وجود حداقل 5 درصد رطوبت در بخار ، عملاً عمل تقلیل فشار منجر به خشک تر شدن بخار می گردد و وارد فاز سوپرهیت نخواهد شد.

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.