

## آب تغذیه دیگ بخار

نوشته‌ی :

مهندس مرتضی حسینیان

مهندس سازمان آب منطقه‌ای تهران

### کلیات

از هیچ منبع طبیعی نمیتوان آب خوب و مناسبی برای استفاده در دیگ بخار بدست آورد . اگرچه پاره‌ای از آبها بدون احتیاج به تأسیسات تصفیه میتواند مورد استفاده قرار گیرد ولی بهتر است برای نگهداری دیگ در شرایط بهتر و جلوگیری از خسارات ناشی از مصرف آب تأسیسات تصفیه را برای آب آنها پیش بینی نمود . آبهای نامناسب اشکالات زیر را در دیگهای بخار پیش میآورند :

A - فساد تدریجی صفحات و اجزاء تشکیل دهنده دیگ بخار و بروز شیارهائی در زوایای آن .  
B - چکه کردن و یا گاهی بریدن از نقاط میخ پرچ که بعلت انبساط و یا انقباض زیاد ممکن است حاصل شود .  
C - برآمده شدن و شکم‌دار شدن لوله‌های داخلی .

D - کف کردن و جوش آمدن شدید که همراه اشکالات توربینی ناشی از وجود ذرات آب در بخار است خوردگی ناشی از مصرف آبهای نامناسب در دیگها ممکن است یکی از صور زیر اتفاق افتد :

- ۱- حفرهای منفردی که بدون کم کردن قدرت صفحات آنها را سوراخ میکنند .
- ۲- حفره‌هایی که بصورت شانه عسل درآمده و شامل فضا‌های منفرد و یا نزدیک بهم است باید توجه داشت اشکال این حفرات بمراتب از قسمت ۱- کمتر است و بستگی کلی بعمق آنها دارد .
- ۳- پیدایش حفره‌های متلافی در سطوح جداری دیگ که موجب ضعیف شدن قدرت آنها میشود .
- ۴- اتلاف گرافیت از چدن که اغلب در لوله‌های صرفه‌جوئی کننده رخ میدهد و در این نقاط در حالیکه قسمتی از آهن حل میشود بقیه آن به اکسید سیاه آهن تبدیل شده و همراه گرافیت و سیلیس به صورتی ته نشین میگردد که اکثراً با اکسید آهن قابل اشتباه است .

نشت کردن و شکم‌دار شدن و سایر ضایعات دیکه اغلب در قسمت‌هایی که بیش از حد گرم شوند پیش می‌آید خاصه جاهائی که رسوبی روی آن تشکیل شده باشد این رسوبات تأخیری در انتقال حرارت ایجاد نموده و در نتیجه حرارت در محل مزبور بیش از حد بالا می‌رود و این خود باعث ایجاد فشارها و کشش‌های اضافی خواهد شد.

### کف کردن آب در دیکه بخار

کف کردن و اشکالات ناشی از آن در توربین مخصوصاً اگر بمقادیر زیادی بخار نیاز باشد بعلمت وجود پاره‌ای از تشکیل دهنده‌های آب پیش می‌آید و تحت شرایط خاص آب همراه بخار وارد مخازن می‌شود باین ترتیب که حبابهای بخاری که در سطح آب تشکیل شده‌اند عوض متلاشی شدن در سطح آب همانطور باقی مانده و حین ورود به محفظه‌های بخاری مقداری آب همراه خود حمل مینمایند. کف کردن در دیکه‌های بخار را میتوان بصورت زیر بیان نمود :

« کف کردن عبارت است از پر شدن کامل یا قسمتی از فضای بخار دیکه از کفی که شامل حبابهای ریز و بیشماری از بخار آب است. بعبارت دیگر کف کردن نوعی جوشیدن آزاد میباشد» و برای تعریف کف میتوان علل زیر را بیان داشت :

۱- نوع آب طوری است که اگر بشدت بهم بخورد ایجاد کف مینماید مثل آنچه که در صابونها دیده میشود.

۲- وجود مواد معلق در آب که مثل هسته‌ای برای ایجاد تعداد زیادی حباب بخار عمل مینمایند. وجود مقادیر کم مواد معلق ممکن است برای آرام بجوش آوردن آب مفید باشد ولی مقادیر زیاد آن بعلمت فراهم نمودن مراکز بیشماری برای تولید حباب بخار منظره کف مانندی به آب خواهد داد. اگر آب در شرایطی باشد که در تشکیل و انتشار حبابهای بخار دخالت کند ممکن است برای مدت کوتاهی بی حرکت بماند و در نتیجه گرمای فوق العاده‌ای بخود گرفته و سپس حبابهای بخار بزرگی تشکیل میشوند و بروی سطح آب آمده هنگام ورود در لوله‌ها و فضای بخار مقدار زیادی آب همراه خود حمل میکند. این حالت در شرایط زیر ممکن است پیدا شود :

a - با محلولهای مخصوصی که تمایل جوشش آنها مثل بالاست مانند محلولهای سود سوزآور.  
b - در صورتیکه ورقه نازکی از محلولهای نمک دار و چربی روی سطح آب را پوشانیده باشد. با ورود آبهای با سختی زیاد یا آبهای ناهمگن تصفیه شده‌اند کف زیادی در محیط پیدا خواهد شد درحالیکه آبهای سبک باعث شل شدن رسوبات قدیمی جدار دیکه و حتی جدا شدن مواد آلی از بدنه دیکه میشود. باید توجه داشت که غلظت سود در آب دیکه بخار هیچگاه بمقداری نمیرسد که ایجاد Priming<sup>۱</sup> کند فقط غلظت زیاد بعضی املاح ممکن است باعث پیدایش پوسته نازکی از املاح در سطح آب بشود و در

۱- Priming حمل ذرات ریز آب توسط بخار آب که در اثر جوشیدن و کف کردن ایجاد شده است.

بسیاری موارد این پوسته یک ورقه چربی می باشد. یکی از مهمترین شرایط Priming احتیاج بمقادیر زیاد بخار است. در صورتیکه مخزن بخار تکافوی احتیاجات لازم را نکنند نقصان ناگهانی در فشار بخار پدید آمده که خود باعث پائین آمدن نقطه جوش آب میشود در نتیجه آب برای رسیدن بحال تعادل با شدت بیشتری می جوشد معمولاً برای جلوگیری از Priming از روشهای زیر استفاده میشود:

- ۱- تهیه فضای کافی برای بخار مخصوصاً اگر احتیاج بمقادیر زیادی بخار باشد.
- ۲- خارج کردن آب صابون دار و روغن دار مخصوصاً اگر آب حاوی مواد کف کننده باشد.
- ۳- استفاده مرتب از شیر تخلیه مواد اضافی تا بدین وسیله از تجمع مواد نمکی جلوگیری شود.
- ۴- سمانعت از ورود مواد معلق از طریق تصفیه و سبک کردن آب در این عمل باید دقت نمود تا مقدار منیزیم آب بحداقل ممکنه برسد.

### اثر وجود روغن در آب دیک بخار

روغن بدو صورت معلق و امولسیون در آب دیک دیده میشود و اگر بصورت معلق باشد خطرات جدی تری در بر خواهد داشت و تنها حالت امولسیون آن ایجاد Priming مینماید. چربی معلق را بطریق زیر میتوان حذف کرد: آب را در ظرفهای بزرگ ریخته و مدتی بحال خود میگذارند تا چربی در سطح آب جمع شود در اینحال آب بدون چربی را از ته ظرف خارج مینمایند و بقایای چربی موجود در آب را بوسیله استفاده از مواد شیمیائی میتوان از آب حذف نمود.

FABER معتقد است که روغن و چربی را میتوان با داخل کردن مخلوطی از کلر و هوا در آب از محیط حذف نمود. برای انعقاد چربی معلق معمولاً از سولفات آلومینیم و کربنات سدیم یا آلومینات سدیم استفاده میشود ولی چربی امولسیون را با روشهای الکتریکی کاتافورز بهتر میتوان منعقد نمود باین ترتیب که آب و روغن را از بین دو الکترود آهنی یا فلزی عبور میدهند تا انعقاد و بهم پیوستگی ذرات عملی شود و سپس آب حاصله را از صافیهای مناسبی عبور میدهند و آب صاف شده را در دیک بخار با اطمینان کامل میتوان بکاربرد. راندمان دیک بخار ممکن است بعلا رسوب املاح محلول آب در اثر جوشیدن و با رسیدن غلظت املاح به بیش از حد تعادل و یا فعل انفعالات بین املاح کم گردد.

آبهای کندانسه که مجدداً در دیک مورد استفاده قرار میگیرد ممکن است حاوی مقداری چربی و روغن باشد که بنوبه خود میتواند یا ئیدرولیز شود و یا همراه رسوب ته نشین گردد. در حالت اول بعلا آزاد شدن اسیدهای چرب باعث فساد و خورده شدن جدار دیکها خواهد شد و در صورت دوم باعث سخت شدن رسوبات جدار می گردد.

اگر در رسوبات جدار روغن موجود باشد باعث سختی آنها شده و گاهی باعث نرمی فلز بدنه و بروز درز ویرآمدگیهای در نقاط میخ پرچ لوله ها و صفحات سازنده بدنه دیک میشود در نتیجه فروریختگی و

شکستگی در دیکه حاصل میگردد. حتی درایتحال سوختن قسمتی از جدار لوله امکان پذیر است که در نتیجه آن فلز آن قسمت شدت سرخ شده و در تماس با آب داخل خود یونهای ئیدروژن و اکسیژن بدست خواهد آمد و از این دو یون اکسیژن باعث اکسیداسیون فلز بدنه میشود. بالنتیجه خسارات عمقی و شدیدی بروز خواهد نمود علاوه بر آن بالا رفتن حرارت در نقطه ای از دیکه تغییراتی در تشکیل دهنده های آب دیکه پدید آورده و خوردگی آب را بالا میبرد و اثر آنرا تشدید مینماید.

وجود روغن در آب دیکها نه تنها باعث سختی رسوبات جداری شده بلکه بعلت آزاد کردن اسیدهای چرب که خاصیت خوردگی شدید دارند قابل اعتراض است.

### رسوب در دیکهای بخار

رسوبات جداری دیکها را بسه طبقه زیر تقسیم نموده اند:

الف - رسوبهای نرم که شامل گل ولای و پاره ای رسوبهای خیلی نرم و شل است.

ب - رسوبهای نیمه سخت که بجدار دیک می چسبد ولی حذف آنها احتیاج به کندن و اعمال نیروی میکائیکی ندارد.

ج - رسوبهای بسیار سخت که برای حذف آنها احتیاج به نیروی میکائیکی میباشد و اشکال عمده تشکیل رسوب در دیکهای بخار بخاطر اینگونه لایه های رسوبی است.

کربنات کلسیم عمومی ترین رسوب جدار دیکهاست که بدو صورت کالسیت یا آرگونیت دیده شده از این دونوع آرگونیت بعلت سختی بیش از حد بسیار خطرناک است گاهی در جدار دیکها هر دونوع توأمآ دیده میشود.

سولفات کلسیم رسوب دیگری است که در جدار دیکها دیده میشود و بعلت حلالیت کم آن در حرارت دیک بصورت بسیار سخت در جدار دیک راسب میگردد و در حین ته نشینی سایر رسوبات نرم و گرد مانند را همراه خود ته نشین مینماید. سولفات کلسیم خوشبختانه خورنده نیست و برای افزایش انحلال آن از کلرور سدیم و سولفات سدیم استفاده مینمایند. سایر املاح کلسیم بندرت در آب موجودند ولی اگر وجود داشته باشند مخصوصاً در حضور املاح منیزیم بشدت خطرناک اند. باید توجه داشت خود املاح منیزیم مخصوصاً اگر همراه بنیانهای اسیدی باشد بعلت تولید املاح پیچیده بشدت خورنده بوده و وجودشان در آب خطرناک است. (مثل کلرور منیزیم) بعلت مشاهدات GRIBB در امکان تقطیر و عمل کلرور منیزیم در غلظتهای زیاد و آزاد نشدن اسیدهای آزاد پیشنهاد شده بهتراست املاح کلسیم را با منیزیم جانشین ساخت و این عمل با عبور آب از بسترهای منیزیت عملی میشود. اما امروزه بخاطر سهولت ئیدرولیز املاح منیزیم پیشنهاد فوق مورد قبول نیست. ممکن است در آب دیک بخار املاح فرو - آلومینیم و منگنز دیده شود که کم و بیش میتوانند تولید اسیدهای آزاد بنمایند ولی با استفاده از مواد قلیائی میتوان تا حدود زیادی اثر آنها را از بین برد املاح آلومینیم بعلت مصرف زیاد از حد سولفات آلومینیم و یاسایر کوا گولانهای آلومینیم در آب بوجود میآید سیلسیم یکی دیگر از

اجزای رسوب کننده در دیکهای بخار است و درعین حال که مقدار آن کم می باشد ولی برای بهم پیوستن اصلاح راسب شده عامل مهمی بشمار میرود و اکثراً بعلت استفاده از صافیهای ماسه ای در تصفیه آب دیک بخار داخل آن میشود و برای جلوگیری از ورود سیلیس در آب استفاده از صافیهای انتراسیتی را پیشنهاد نموده اند و برای جلوگیری از رسوب سیلیس استفاده از فسفاتهای قلیائی که حلالیت اصلاح سیلیسی را بالا برده و مانع راسب شدن آنها میشود توصیه شده است. استفاده از آلومینات کلسیم برای حذف سیلیس مفید است زیرا این جسم با سختی موقت آب رسوب کربنات کلسیم تولید مینماید و آلومین آزاد شده آن که بصورت نیدرات است باعث رسوب اصلاح سیلیس میشود. سیلیس جسمی است که میتواند همراه بخار داخل پرها و یا سایر قسمت های توربین شده و عامل مهمی در پائین آوردن راندمان و ایجاد خطراتی در توربینها بشمار میرود. اگر اصلاح قلیائی مدتی بیحرکت باقی بماند بصورت متبلور راسب شده و از محیط خارج میشوند بجاست با پدیدار شدن این بلورها دیک بخار را خوابانده و بشستشوی آن اقدام نمود زیرا پیدایش این رسوبات فعل انفعالاتی را پیش میآورد که از چشم و دید آزمایش کننده پنهان است. آب دریا در دیکهای بخار دریائی اگر فشارشان کم باشد اثر سوئی ندارد ولی در فشارهای زیاد مصرف اینگونه آبها خطرناک است. مصرف آبهای اسیدی قبل از تصفیه کامل بعلت خاصیت شدید خوردندگی بهیچ عنوان مجاز نیست زیرا در حرارت های بالا اثر تجربی آنها افزایش مییابد.

### جلوگیری از تشکیل رسوب و آماده کردن آب دیک بخار

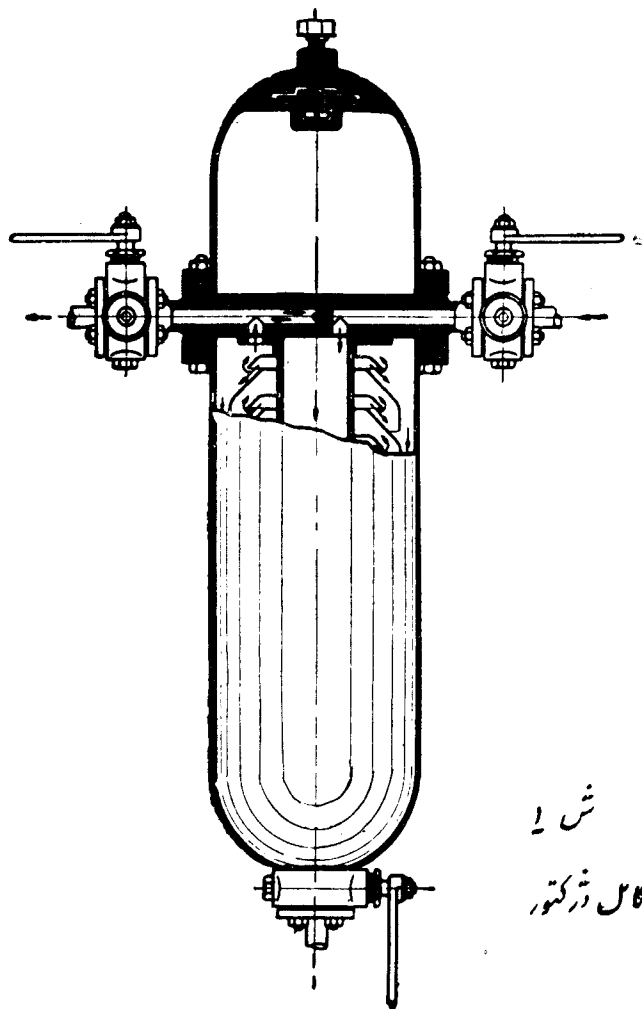
برای ممانعت از تشکیل رسوب در داخل دیکهای بخار میتوان از روشهای سبک کردن آب استفاده نمود این عمل را داخل یا خارج دیک انجام میدهند و از مهمترین مواد ضد رسوبی میتوان سود و کربنات سدیم را با ویا بدون مواد آلی که بحالت تعلیق بکار میروند نام برد و این مواد بعنوان مرکزی برای تجمع مواد رسوب کننده عمل میکنند.

گرافیت وتانن دوماه مفید دیگری برای این منظور هستند که از آن دو تانن دارای اهمیت بیشتری میباشد زیرا در محیط های قلیائی جسمی بنام اسید گالیک که باسانی به اسید پیرو گالیک تبدیل میشود بوجود میآورد جسم اخیر قادر است اکسیژل محلول آب تغذیه دیک را جذب نماید و این خود توفیقی در کم کردن خوردندگی آب بشمار میرود.

بکار بردن روغن بزرک از طرف BRUN پیشنهاد شد که بعدها HEUSS اظهار داشت چون مصرف آن باعث فراریت مقداری از چربی بسایر قسمت های تأسیسات شده و ممکن است فساد تدریجی ایجاد نماید مناسب نیست.

در مواردی که آب دیک بخار را قبلاً نرم نکرده باشند نصب یک دستگاه دژکتور DEJECTOR برای تزریق مداوم سود یا کربنات سدیم به آب نتایج خوبی داده است دستگاه را در سیستم سیر کولاسیون (گردش آب) دیک بخار نصب میکنند.

این عمل همراه با افت درجه حرارت بین دونقطه از فضای آب است. آب دیک بخار وارد لوله میانی «دژکتور» شده و بطرف پائین حرکت میکند و بعلت سطح مقطع زیاد لوله سرعت آب در آن کم میشود و در



انتهای لوله بعلت تغییر جهت سرعت آب باز هم کمتر میشود سپس آب پس از عبور از فضای «دژکتور» از بالای آن خارج میشود، گل ولای ولجن حاصله از ته «دژکتور» با گشودن شیر تخلیه خارج میگردد در عمل چون سختی موقت آب در تماس با کربنات سدیم از بین میرود لذا آب همیشه بحالت قلیائی بوده و خاصیت خوردندگی آن از بین میرود. (شکل ۱)

روش دیگری که در آن از هیچگونه ماده شیمیائی استفاده نمیشود استفاده از صفحات شماردار آلومینیومی است که دارای جریان القائی میباشد که اولین بار توسط NEFF و BRANDS مورد آزمایش قرار گرفت. آب در حین عبور از این صفحات بصورتی درمیآید که نه فقط قطر رسوبات جداری کم میشود بلکه رسوبهای قدیمی نیزها شسته میشود. قابل جدا شدن میگردد بدیهی است موجها و شیارهای صفحات را هر چند یک بار باید از

رسوبات متشکله تمیز نمود. تئوری عمل از این قرار است که در اثر عبور آب از شیار صفحات آلومینیم که بخاطر جریان القائی دارای بار مثبت هستند آب بار الکتریکی منفی خواهد گرفت و املاح محلول آب در اثر وجود این دو قطب یونیزه شده و بصورتهای بی شکل درمیآیند در همین حال آلومینیم بر اثر وجود اختلاف پتانسیل بصورت کلوئیدی آزاد میگردد که خود مراکز فعالی برای حذف گاز کربنیک و اکسیژن محلول است در نتیجه، علاوه بر ممانعت از تشکیل رسوب کمک بزرگی به تخفیف خوردندگی آب میشود. تخلیه گل ولای دیکهای بخاری که با این روش نرم شوند هر چند یکبار لازم و ضروری است و باید توجه داشت که آبهای اسیدی را قبل از تصفیه با این روش بهتر است خنثی کنیم.

SUGDEN کریستالهای فسفاتهای کلسیمی را که باین طریق راسب شده بود مورد آزمایش قرار داده و مشاهده نمود که آلومینیم در تشکیل این رسوبها نقش کاتالیزر را دارد.

دیگر از روشهای فیزیکی عمل آوردن آب دیکهای بخار استفاده از سیستم Buoy Scal است که

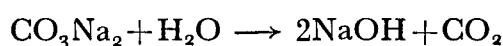
شامل محفظه شیشه‌ای است که دهانه آن محکم بسته شده و داخل آن از گازهای خنثی پر شده است و در آن مراکز جیوه‌ای تعبیه گردیده، این حباب را در جریان آب ورودی قرار میدهند که بطور نوبتی در اثر تخلیه الکتریکی که انجام میدهد روی یونهای آب اثر نموده و مانع چسبندگی رسوبات حاصله از یونهای آب میشود و آنها را بصورت نرم ولجن مانندی در می‌آورد که با سانی قابل تخلیه میباشد بهتر است در موقع استفاده از این دستگاه دیک بخار از رسوبات کهنه قدیمی تخلیه و پاک گردد باید تذکر داد که استفاده از نیروی الکتریسته در تخفیف رسوبات دیکهای بخار بطور مؤثری از طرف دانشمندان تأیید نشده است حتی از تحقیقاتی که توسط گروه تحقیقی Water pollution research laboratory روی نمونه‌های آزمایشگاهی و نمونه‌های تجارتي دیک بخار انجام داده‌اند نتایج مختلفی بدست آمده و شاید بهمین علت باشد که هنوز در تأثیر نیروی الکتریسته روی رسوبات دیکهای بخار اظهار نظر قطعی نشده است با مطالعاتی که در زمینه چگونگی تشکیل رسوب در جدار دیکها شده ثابت کرده‌اند که اگر مانع تشکیل رسوب املاح کلسیم مخصوصاً سولفات کلسیم شویم خود بخود مانع ایجاد رسوب املاح منیزیم و سیلیکاتها نیز شده‌ایم.

اکسیژن محلول آب را همانطور که قبلاً گفته شد میتوان با استفاده از تانن حذف نمود، مصرف سولفاتها برای حذف این گاز توصیه شده است منتها باید دقت شود که مقدار سولفات بیش از حد لزوم بکار برده نشود زیرا زیادی آن خاصیت خوردگی دارد، چون باین روشها هنوز آثاری از اکسیژن محلول در محیط باقی مانده که بمرور باعث فساد و خوردگی بدنه دیک خواهد شد، بهتر است با استفاده از آمینهای فرار مثل سیکلو هگزیل آمین و مورفولین آخرین آثار اکسیژن محلول را حذف نمود، ازئیدرازینهای صد درصد نیز میتوان برای این منظور استفاده نمود چون علاوه بر اکسیژن محلول میتوانند گاز کربنیک آزاد آبرآ حذف نمایند فقط مصرف این مواد احتیاج به pH های بالا داشته و اگر در مصرف آن دقت کافی نشود ازت و آمونیاک که ممکن است اثرات سوئی داشته باشند تولید خواهد شد.

HALL و همکارانش ثابت کردند که اگر ترکیب املاح آب طوری باشد که نسبت بین کربناتها و سولفاتها محدود به حد معینی گردد هنگام تبخیر آب دیک ابتدا از کربناتها اشباع خواهد شد در نتیجه رسوبات کربناتی در دیک بصورتی نرم و شکل درآمده که با سانی قابل حذف است.

نسبت معمولی  $\frac{CO_3}{SO_4}$  در حالت عادی به حلالیت این دو در حرارت عمل ارتباط دارد و در هر فشاری از دیک بخار دارای مینیمی میباشد افزایش فشار حلالیت این ترکیبات را زیاد میکند. کنترل این نسبت و نگهداشتن آن در حدود استانداردهای توصیه شده مانع ایجاد رسوب در دیکهای بخار میگردد و در ضمن از تشکیل رسوبات سیلیکاتی ممانعت بعمل میآید و برای حذف املاح منیزیم با افزایش یونهای ئیدروکسیل در آب نیست.

زیرا در فشارهای زیاد کربناتها بصورت زیر تجزیه میشوند:



حتی در فشارهای پائین فعل انفعال بالا طوری انجام خواهد گرفت که سود حاصله بتواند اصلاح منیزیم را راسب نماید باید توجه داشت که امکان حذف املاح منیزی بصورت سیلیکات در نقاط انتهائی دیک امکان پذیر است.

JONES برای نسبت  $\frac{CO_3}{SO_4}$  در فشارهای مختلف مقادیر زیر را پیشنهاد کرده است :

فشار به پوند بر اینچ مربع	می نیمم مقدار
۱۰۰	۰/۰۴۵
۲۰۰	۰/۱۴۵
۳۰۰	۰/۲۸۵
۴۰۰	۰/۴۶

همین دانشمندان تجزیه یک نمونه آب برای دیک بخار را شرح زیر گزارش داده است :

قلیائیت کل	$\sqrt{\sqrt{}}$
» کستیک	۰/۵°
» کربناتی	$\sqrt{\sqrt{}}$
سختی کل	۳/۱° (درجه فرانسوی)
سولفات سدیم	$\sqrt{\sqrt{}}$
اختلاف بین قلیائیت و سختی کل (سختی دائم آب)	۴/۶°

در مورد این آب نسبت بین کربناتها و سولفاتها  $\left(\frac{CO_3}{SO_4}\right)$  برابر ۰/۸۲ خواهد شد و همانطور که دیده میشود این مقدار بیش از حد می نیمم برای دیک با فشار ۱۰ پوند بر اینچ مربع میباشد و این خود مؤید آنستکه هیچگاه حالت بحرانی که در آن قسمتی از کربنات به سود تبدیل شود پیش نخواهد آمد در دیکهای با فشار زیاد حفظ شرایط سماعت از تبدیل کربنات به سود بسیار مشکل است زیرا با افزایش فشار نسبت  $\frac{CO_3}{SO_4}$  اضافه میگردد و در نتیجه خطر تبدیل کربنات به سود بالا میرود و به همین علت خطر شکستگی و خورد شدن جدار دیک از نقاط میخ پرچ اجتناب ناپذیر است و این عمل را اصطلاحاً Embritement گویند.

برای رفع این اشکال HALL استفاده از فسفاتها را پیشنهاد نموده تری فسفات سدیم یکی از فسفاتهای پیشنهادی است که اثر مثبتی در حلالیت سایر املاح باقی گذارده و در عمل مصرف آن حتی تا فشارهای ۱۳۵ پوند بر اینچ مربع مانع تشکیل رسوب سولفات کلسیم میگردد.

HALL مشکل فوق را با فرمول ریاضی زیر بصورتی ساده بیان کرده و معتقد است مقدار فسفات مورد لزوم بحسب  $mg/l$  باید بیشتر از  $(PO_4 = Kp \times (SO_4)_3 \times D - \frac{1}{2} \times SO_4)$  باشد، که در آن  $PO_4$  و  $SO_4$  بحسب میلی گرم در لیتر بیان شده و مقدار  $K$  در هر فشاری مقدار ثابتی است و  $D$  نسبت بین سولفاتهای یونیزه



شده بکل سولفات میباشد شرط کلی عمل این است که قلیائی آب با اندازه ای باشد که مانع ئیدرولیز املاح محلول و آزاد شدن اسیدهای آزاد گردد. در فشارهای بیش از ۰.۵ پوند بر اینچ مربع آثار جزئی رسوب در جدار دیک ضایعات جبران ناپذیری ببار خواهد آورد لذا باید سعی نمود که آب تغذیه اینگونه دیکها عاری از هر ماده رسوب کننده باشد در این نوع دیکها احتمال آلودگی آب با املاح رسوب کننده فقط از راه نشت لوله های کندانسور امکان پذیر است در عمل برای جلوگیری از ایجاد فسفات مونوکلسیک مقداری سود در تصفیه آب دیک بخار بکار میبرند باین ترتیب کلیه یونهای کلسیم بصورت املاح تری کلسیک رسوت خواهد نمود.

HALL مقادیر مورد لزوم فسفات را بحسب  $PO_4$  نسبت به مقادیر موجود  $SO_4$  در فشارهای مختلف بترتیب زیر بیان کرده است :

فشار دیک	$SO_4$	$PO_4$
۱۰۰ پوند بر اینچ مربع	۱۰۰۰	۱/۲
» » » ۱۰۰	۲۰۰۰	۳/۱
» » » ۱۵۰	۱۰۰۰	۴/۲
» » » ۱۵۰	۲۰۰۰	۱۱/۳
» » » ۲۱۰	۱۰۰۰	۱۲/۹
» » » ۲۱۰	۲۰۰۰	۳۴/۵

Spittgerber در تأیید گفته های HALL ارقام زیر را داده است :

فشار عمل	غلظت $PO_4$ بر حسب درصد غلظت $SO_4$	عدد HALL بر همین مبنا
۱۵۰	۰/۵	
۳۰۰	۱۰	
۱۳۵۰	۱۴	0.49

مطالعاتی که روی Caustic Embritlement انجام شده نشان میدهد که این عمل بیشتر با آبهاییکه با ژنولیت سبک شوند و یا غلظت بیکربنات آنها زیاد باشد که بتواند به سود و کربنات تبدیل گردد انجام میگیرد.

Parr و Staub دریافتند که دو شرط اصلی و اساسی زیر لازم است تا Embritlement اتفاق افتد :

۱- فشار واقعی باید بیش از حدودی باشد که در آن فشار فلز آزاد میشود.

۲- غلظت سود باید بیش از ۳۵ گرم در لیتر باشد.

بنابراین تنها دو راه برای پیش گیری Embritement موجود است یکی کم کردن فشار دیک که عملی نیست و دیگری ممانعت از امکان وجود فعل انفعالات شیمیائی. تجربه نشان داده است که سولفات سدیم

و کربنات سدیم هر دو از عوامل ممانعت کننده Embritelment هستند اما چون خود کربناتها در عمل به سود تبدیل میشوند لذا بهترین وسیله جلوگیری از Embritelment کنترل سولفات در آب تغذیه دیگهای بخار است.

Parr می نیمم مقادیر نسبت بین سولفات سدیم و کربنات سدیم را در فشارهای مختلف بشرح زیر بیان داشته :

فشار بر اینچ مربع	نسبت
۰-۱۰۰	برابر یا بیشتر از ۱
۱۰۰-۲۰۰	۲ » »
بیش از ۲۰۰	۳ » »

نگهداشتن نسبت سولفات سدیم به کربنات سدیم در این می نیمم ها کمک بزرگی به جلوگیری از Embritelment میکند ولی کلاً خطر آن را رفع نمی نماید بهمین مناسبت انجمن مهندسين مکانیک ایالات متحده بفکر رفع این اشکال افتاد و از راه ریاضی با دانستن فشار دیگ می نیمم مقدار خارج قسمت فوق الذکر را فرمول زیر مربوط دانست :

$$\text{خارج قسمت می نیمم} = \text{فشار مربوط} \times 0.14$$

باید دانست که استفاده از فرمول بالا مقادیر بزرگتر از جدول را ایجاب میکنند و دلیلی هم در دست نیست که تأیید کند که استفاده از آبهای با این مشخصات و با نسبت بین سولفات سدیم و کربنات سدیم بزرگتر از مقادیر می نیمم مناسبتر از سایر آنها باشد. برای رفع اشکالات فوق Splittgerber پیشنهاد نمود که می نیمم خارج قسمت بشرح زیر اصلاح بشود. برای دیگهای ۲۰ تا ۳۰ مقدار آن ۳ واحد و برای ۷۰ تا ۸۰ مقدار آن ۸ واحد انتخاب شود بعدها Parr مطالب بالا را بشرح زیر بیان کرد : که ۳/۵ واحد برای فشارهای ۰.۰۵ (پوند بر اینچ مربع) بیلا کافی بنظر میرسد. اما چون Parr در تحقیقات خود از محلولهای سودی که غلظت آنها از آنچه در عمل است بیشتر بوده استفاده نموده. لذا نظریات او مورد انتقاد قرار گرفت و وی جواب منتقدین را اینطور بیان داشت :

«اگرچه غلظت سود در آب دیگ بخار بحدی نیست که Embritelment پیش آید ولی در شمارها و درزها و شکستگی های موئین ممکن است غلظت سود بآن حد برسد و شاید از آنهم تجاوز نماید.»

نظریات جدیدی با مطالعات Berl و Straub و Baumann ارائه شد و این دانشمندان حداقل غلظت سود را که باعث Embritelment میشود ۱۰۰ گرم در لیتر بدست آوردند. بعدها Straub دریافت که علت خاصیت پیش گیری سولفاتها و کربناتها پیدایش لایه های خیلی نازک از رسوبات جامد روی صفحات و قضاای

باز است و برای پیدا کردن مقدار می نیمم خارج قسمت سولفات به کربنات انجلاال اصلاح پیشگیری کننده را در سودی بغلظت ... ۱ گرم در لیتر مطالعه نمود و بالاخره عدد ۲ را برای فشارهای معمولی دیک مناسب تشخیص داد همچنین Straub دریافت که اصلاح تری سدیم فسفات ارزش زیادی برای پیش گیری از ایجاد رسوب دارند و در نتیجه میتوان از Embrittlement جلوگیری نمود و HAL با تکمیل مطالعات او استفاده از ماده ای بنام تانات سدیم را پیشنهاد کرد گرچه از این ماده آنطور که باید در عمل آوردن آب تغذیه دیکها استفاده نمیشود ولی استفاده از اسید تانیک امروز در تهیه آب دیک های بخار زیاد متداول است ...