A-PDF Watermark DEMO: Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

علت یابی و روش های تعمیر تنون و شرود پره در روتور توربین های بخار

محمد زیدی
کارشناس توربین های بخار
zeidim@yahoo.com

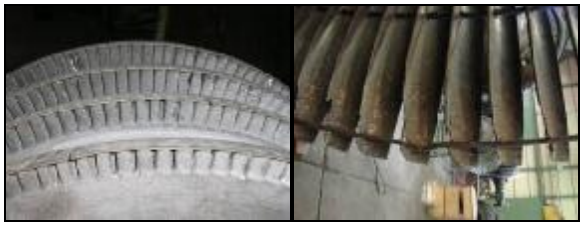
ابراهیم صبغی
کارشناس توربین های گاز
esabghi@gmail.com

شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران

واژه های کلیدی: توربین ، پره ، شرود (Shroud)، تنون (Tenon)

مقدمه

پره های توربین بخار و اجزاء آن یکی از المان های اصلی نیروگاه ها هستند که انرژی بخار را به انرژی جنبشی تبدیل می کنند . طبق گزارشات ، بیشترین لطمه و شکست از طرف این پره ها به سیستم وارد می شود که اغلب این موارد در توربین های فشار پایین اتفاق می افتد و نمونه هایی در شکل 1 آورده شده است. در این راستا دانستن عوامل اثر گذار بر روی تخریب پره ها و اجزاء آن ، همچنین راههای مقابله با آنها می تواند در بالا بردن عمر کاری نیروگاه موثر باشد. با علم به این موضوع ، پس از بروز حادثه، علم ترمیم عیوب و انتخاب روش بهینه برای رفع آنها از نیازهای اصلی یک گروه تعمیراتی می باشد. لذا در این مقاله درباره ی علل بروز آسیب در پره ها، خاصه در روی تنون و شرود آنها، روش های جلوگیری از آسیب، راههای تعمیرات آنها، و نهایتا در مورد معایب و مزایای هر روش بحث گردیده است.



شکل 1 - نمونه ای از آسیب دیدگی پره ها

عوامل ایجاد آسیب به تنون و شرود ها

در حین کار توربین ، شرود های نصب شده بر روی پره ها ، تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز ناشی از وزن خودشان، نیروهای عامل ارتعاش در پره، خوردگی، و فرسایش می باشند. و به عبارتی اغلب پدیده هایی که سبب خسارت بر روی پره ها می شوند به همان اندازه بر روی تنون و شرودها اثر می گذارند. با این مقدمه، عوامل مخرب بصورت زیر ارائه می گردد:

http://mohandes-iran.com

الف - خوردگی در اثر برخورد

شرود ها و تنون ها که معمولا از جنس پره ساخته می شوند همواره تحت تاثیر خوردگی هستند که این خوردگی میتواند در اثر برخورد اجسام ریز فلزی معلق در بخار، برخورد قطرات ریز آب، ویا رسوبات اکسیدی باشد. این ذرات همراه بخار به همه شرود ها و تنون ها برخورد کرده و باعث سایش سر تنون ها می گردد که به مرور، تنون ها ضعیف شده و استحکام کافی جهت نگه داشتن شرود را از دست می دهند و باالطبع کنده شدن شرود موجب خسارت خواهد گردید. این عوامل بطور جداگانه در زیر تشریح شده اند:

خوردگی ناشی از برخورد ذرات صلب

اغلب، پلیسه ها و ذرات باقیمانده در سیستم سبب اینگونه خوردگی می شوند. بخار درطول مسیرش که از بویلر شروع می شود این ذرات ریز را جدا کرده و در ادامه تا خروج از سیستم آنها را به سایر سطوح می کوبد و موجبات سایش را فراهم می کند. شکل 2 نمایانگر اینگونه صدمات می باشد

شکل 2 - آسیب دیدگی در اثر برخورد ذرات

خوردگی ناشی از فرسایش

با گذشت زمان و فرسودگی سیستم ، بخار به مرور سبب ورقه ورقه شدن فلزات داخل سوپر هیتر[1]، ری هیتر[2]، هدر[3] و سایر المان های قبل از روتور می گردد و این ذرات ریز سخت، وارد روتور شده و سبب خوردگی می شوند.

خوردگی ناشی از برخورد قطرات آب

این نوع خوردگی از اصلی ترین عوامل خورنده در توربین ها بوده و مهار آن می تواند کمک بزرگی در بهبود وضعیت نیروگاه داشته باشد. لذا بحث در این زمینه گسترده تر از سایر موارد می باشد. قطرات کوچک آب موجود در ردیف های اولیه به مرور با هم جمع شده و بزرگتر می شوند ونهایتا به پره ها، شرود ها و تنو ن ها برخورد می کنند. این قطرات بر اثر نیروی گریز از مرکز قصد دارند به طرف شعاع بیرونی حرکت کنند اما پس از برخورد با سطح داخلی کیسینگ[4] دوباره به طرف شرود و تنون ها برمی گردند. این سیکل رفت و برگشتی بین شرود و کیسینگ تا خروج قطرات از استیج ادامه پیدا می کند و سبب خوردگی این سطوح می شود. در شکل 3 چگونگی خورده شدن تنون در اثر برخورد قطرات آب مشاهده می شود.

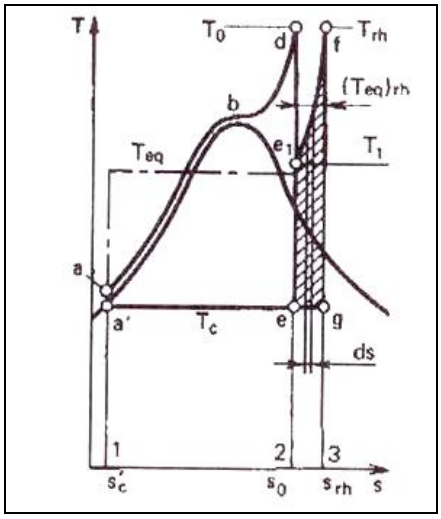
شکل 3 - خوردگی در اثر برخورد قطرات آب

همانطور که در نمودار T-S چرخه ایده آل نیروگاه حرارتی (شکل 4) نیز پیداست، بخار خروجی از توربین در محدوده دو فازی[5] بخار و آب قرار دارد و بیانگر این موضوع است که در ردیف های آخر روتور توربین فشار پایین، قطرات آب وجود دارد و این قطرات سبب خوردگی خواهند شد. در قسمت های بعدی در مورد میزان مجاز رطوبت در

[1] Super heater
[2] Reheater
[3] Header
[4] Casing
[5] Saturated

http://mohandes-iran.com

استیج های انتهـایی و راه هـای مقابلـه بـا آن بحـث خواهـد گردید.



شکل 4 - نمودار T-S یک چرخه ایده آل

ب - سرعت بیش از اندازه

معمولا تنـون هـا بـا در نظـر گـرفتن یـک ضـریب اطمینان مناسب جهت دور نامی طراحی می شوند اما سـرعت بیش از اندازه و بالاتراز سرعت نامی همچنین ضعف تنون هـا مطابق شکل 5 می تواند باعث جدا شدن شرود هـا از محـل خود گردد.

شکل 5 - کنده شدن تنون و شرود در دور بالا

ج - تماس شعاعی شدید

در حالتی که مالش شدیدی بین شرود و بدنه پـیش می آید شرود خیلی سریع بر اثر نیروی اصطکاک گرم شده و خیلی سریع سرد می شود که باعث کوئنچ شـدن شـرود مـی گردد. این گرم شدن و سرد شدن سـبب شـکنندگی و ایجـاد ترک شده و به شرود آسیب می رساند .

شکل 6 - تماس شعاعی شدید

لازم به ذکر است که اگر برخورد در ناحیه فـشار بـالا انجـام گیرد بدلیل جنس سیل هـا کـه از فـولاد سـخت بـا خـواص مکانیکی بالاساخته شده اند ، آسیب جدی بـه شـرود و تنـون وارد می شود. حال آنکه در ناحیه فشار پایین سیل ها از جنس آلیاژهای مس ساخته شده اند و آسیب به سیل وارد می شود .

دلایل ایجاد برخورد های شعاعی

- آنبالانسی[6] روتور، مخصوصا در دور های بحرانی در موقع استارت و استاپ که دامنه زیاد می شود
- پرچ کاری نامناسب که می تواند سبب مـواج شـدن شرود شده و برخورد صورت گیرد .
- وجود پلیسه در حد فاصل بین شرود و پوسته

د - تماس محوری شدید

این برخورد شکل عمومی دارد و معمولا وقتی اتفاق می افتـد که انبساط روتور و کیسینگ بـا نـرخ مختلفـی در اسـتارت و استاپ نسبت به هم انجام می شود. این محل هـا معمـولا بـه صورت چاقویی شکل طراحی می شوند و در موقع تماس، به لبه قـسمت چـاقویی شـکل صـدمه وارد مـی شـود و سـبب خسارت زیادی نمی گردد.

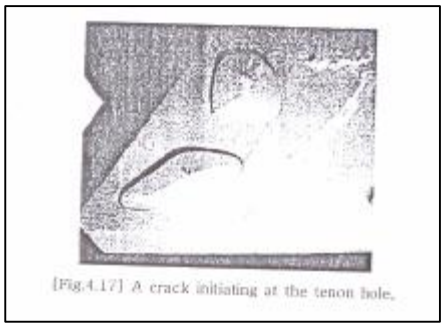
ه - ترک هایی که از سوراخ های شرود آغاز مـی شوند

معمولا شکست شرودها از ترک سوراخ های آنها بوجود مـی آید که میتواند دلایل زیر را داشته باشد

[6] unbalancing

http://mohandes-iran.com

- طراحی غلط تنون که موجب تیز شدن لبه های سوراخ و تمرکز تنش در روی شرود می گردد
- پرداخت نبودن سطح داخلی سوراخ شرود
- چکش کاری خارج از نرم[7] تنون

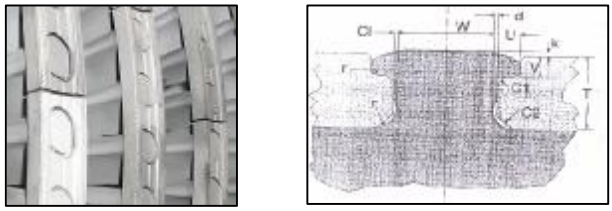


شکل 7 - شروع ترک از سوراخ شرود

روش های مقابله با صدمات ناشی از وجود ذرات معلق و قطرات آب

الف - روش Fox holed riveting

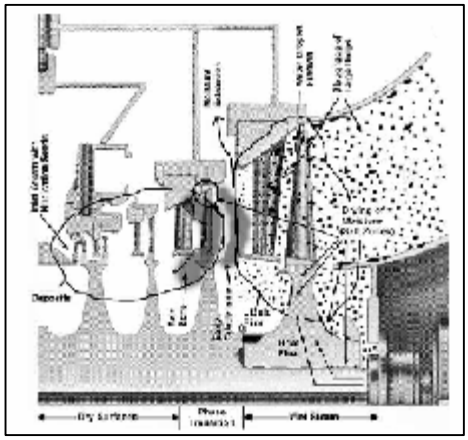
در این روش تنون داخل گودی که بر روی شرود ایجاد شده است کوبیده می شود و سطح تنون در زیر سطح شرود قرار می گیرد. گرچه هنوز سطح بیرونی تنون قابل خورده شدن می باشد اما جهت خوردگی آن زمان بیشتری مورد نیاز خواهد بود.



شکل 8 - پانچ تنون با روش Fox hole

ب - افزایش دمای بخار ورودی به توربین

با افزایش دمای بخار ورودی به توربین، در حالت تئوری مطابق با نمودار T-S نه تنها می توان بازدهی نیروگاه را بالا برد بلکه می توان ری هیتر ها را نیز از پروسه حذف نمود و میزان آب موجود در خروجی توربین را کاهش داد اما در عمل چنین چیزی امکان پذیر نمی باشد زیرا ساخت پره و تجهیزاتی که بتواند این دما وفشار را تحمل کند امکان پذیر نیست لذا در عمل ری هیتر ها در داخل سیستم گنجانده شده تا درصد رطوبت در بخار خروجی را تا حد امکان کاهش دهیم. باید یاد آور شد که رطوبت بخارخروجی تا 10% مورد قبول می باشد اما در مورد رطوبت بیشتر از این مقدار باید حساس بود که با افزایش دمای بخار ورودی و بررسی عملکرد تجهیزات میانی قابل کنترل است.



شکل 9 - چگونگی و محدوده تشکیل قطرات آب در توربین LP

ج - استفاده از جدا کننده های رطوبت

جدا کننده های رطوبت به دو نوع داخلی و خارجی تقسیم بندی می شوند. در نوع خارجی، بخار از توربین به داخل یک جدا کننده مخصوص، که معمولا بین سیلندر فشار قوی و فشار ضعیف قرار گرفته، زیرکش می شود و رطوبت در جداکننده ها در چند مرحله جدا می گردد.

در نوع داخلی، با دو روش رطوبت از بخار جدا می شود :

در روش اول، قطرات رطوبت توسط نیروی اینرسی به سمت محیط مرحله[8] توربین دفع می شوند و در آنجا این قطرات در محفظه های مخصوص، توسط تورفتگی های جمع کننده رطوبت احاطه شده وسپس از مسیر بخار توربین دفع می

[7] norm

[8] stage

http://mohandes-iran.com

گردند. باید توجه داشت که سرعت مماسی ذرات درشت رطوبت بعد از پره های متحرک معمولا بیشتر از سرعت آنها در قبل از پره ها است به همین دلیل دفع ذرات رطوبت از فضای بعد از پره های متحرک نسبت به دفع رطوبت از فضای آزاد بعد ازنازل ها، بسیار موثر تر می باشد.

در روش دوم، رطوبت بر روی پره ثابت توربین تقطیر می شود زیرا قطرات رطوبت در گذرگاه دارای انحناء در زنجیره های پره جدا می گردند و از طریق شکاف های ویژه ای که بر روی پره های ثابت تعبیه شده ، دفع می شوند. این روش کاربرد زیادی در زنجیره های نازل دارد. شکاف هایی که لایه آب از میان آنها مکیده می شود، از طریق فضای داخلی نازل ها به یک ناحیه کم فشار تر (کندانسور ها) راه دارند. شکاف های مذکور در فاصله دورتر از ریشه نازل ها ایجاد می گردند تا کاملا موثر باشند. در این حالت قطرات درشت رطوبت می توانند تقریبا بطور کامل از طریق شکاف ها دفع گردند.

د- عدم استفاده از نوارآبندی[9] دراستیج های آخر

وجود آبند در سر پره ها ی متحرک استیج های آخرکه در آنها تراکم قطرات آب زیاد شده باعث جلوگیری از خروج آنها شده و بالطبع غلظت آب بالا می رود و درصد خوردگی را افزایش می دهد

ه- استفاده از یک نوار مقاوم به خوردگی

لبه های راهنمای پره های متحرک استیج های آخر روتور های LP را می توان با استفاده از ورق های پوششی از جنس استلایت[10] که توسط مفتول های نقره ای لحیم می شوند، در برابر سایش مقاوم نمود. استلایت یکی از آلیاژهای کبالت است که سختی و همچنین مقاومت سایشی بالایی دارد. ورق های پوششی استلایتی شامل چندین قسمت در امتداد ارتفاع پره می باشند، تا هنگام انبساط حرارتی، تنش های برشی در درز های لحیم کاری شده بین ورق ها و پره ها به حداقل برسد. در زیر نمونه ای از ترکیبات این آلیاژ آورده شده است:

(Metallurgy) A hard, wear- and corrosion-resistant family of nonferrous alloys of cobalt (20-65), chromium (11-32), and tungsten (2-5); resistance to softening is exceptionally high at high temperature.

روش های بازسازی تنون ها

الف- بازیابی تنون اوریجینال

اگر تنون ها تحت خسارت و خوردگی باشند مقرون به صرفه است که تنون تعمیر شود تا اینکه پره تعویض گردد. در این راستا می توان مراحل زیر انجام داد:

- برداشتن شرود
- براده برداری از تنون تا رسیدن به ارتفاع مورد نظرو برداشتن لبه های تیز
- تنش زدایی ازتنون
- ساخت شرود جدید

ب- جوشکاری روی تنون های موجود

با استفاده از تکنولوژی مدرن، این روش یکی از موفق ترین روش های ممکن است و می تواند تضمین کندکه هیچ افتی به مجموعه وارد نشود. اغلب جهت انجام تعمیرات بر روی تنون لازم است که پره بیرون آورده شود تا عملیات پیش گرم و پس گرم با تسلط کامل انجام پذیرد اما اگر دقت کافی در حین بازسازی تنون انجام پذیرد تنش زدایی بر روی روتور نیز قابل انجام است . در این روش باید به نکات زیر توجه نمود :

- استفاده از فیلر مطابق جنس پره یا فیلر از خانواده اینکونل
- عملیات پیش گرم و پس گرم
- تنش زدایی از پره ها که به صورت نرمال، انجام می گیرد

گام های مهم در بازسازی تنون بوسیله جوشکاری

گرچه تکنیک های این روش شناخته شده است اما جهت حصول اطمینان از روند پروسه و رسیدن به نتایج قابل قبول در جهت دستیابی به خواص طراحی اولیه ، کاهش تنش و رسیدن به ابعاد مورد نظر، همچنان به دقت و مهارت خاص نیاز است . در این روش میتواند مشکلات پیچیده ای پیش

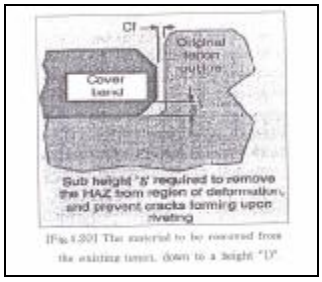
[9] Seal ring
[10] Stellite

http://mohandes-iran.com

بیاید و اگر پروسه کاری تحت کنترل نباشد، سبب کج شدن ، تابیدگی و یا پیچش پره ها می شود . مراحل کار عبارتند از:

برداشتن متریال از تنون به مقدار کافی

تنون ممکن است مقدار زیادی کاهش ارتفاع نداشته باشد اما پس از برداشتن شرود ، تنون باید تا ارتفاع دلتا (δ) کوتاه شود. این کار باعث می شود که منطقه HAZ در پایین تر از گلویی تنون قرار بگیرد و این ناحیه دفرمه نخواهد شد و یا تحت حداقل دفرمگی پس از پانچ قرار خواهد گرفت .

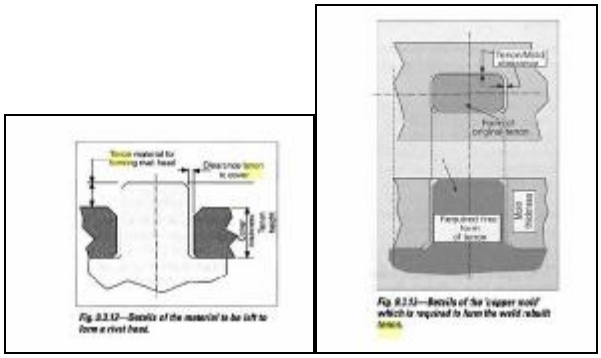


شکل 10 - مقدار متریالی که از تنون برداشته میشود

- تمیز کاری تنون و بلید[11]
- تست NDT تنون و بلید
- ساخت قالب مسی مطابق تلرانس مورد نظر

a.قالب 3,8 ~ 2,7 میلی متر بلندتر از ارتفاع نهایی تنون می باشد

b.ارتفاع تنون باید 2,8 ~ 2,3 میلی متر بلندتر از شرود باشد تا بتوان آن را پرچ نمود



شکل 11 - استفاده از قالب مسی وجوشکاری تنون

- پیش گرم پره ها ، که مقدار آن به جنس پره و مواد جوشکاری بستگی دارد و به طول 5 cm انجام میشود
- در فرایند جوشکاری ممکن است به بلوک های سرد کننده نیاز شود
- پس از جوشکاری عملیات ، deslaging وعایق کردن سر پره انجام می گیرد

ممکن است بسته به فیلر جوش استفاده شده ، تنش زدایی نیز مورد نیاز باشد که با روش های زیر قابل انجام است :

- استفاده از تورچ که به طور یکنواخت بر روی موضع حرکت کند و دما بوسیله tempil stick سنس شود این روش برای مواردی که زمان کمتر از 20 دقیقه است مناسب می باشد
- استفاده از المنت های حرارتی ، در مواردی که پروسه های دقیق و طولانی مدت مد نظر باشد مورد استفاده قرار می گیرد (پس از عملیات حرارتی پره باید توسط مواد عایق پوشانده شده و به مرور سرد شود)

در شکل دادن مجدد تنون باید به موارد زیر دقت نمود :

- اگر پره بیرون باشد میتوان از ماشین های ابزار جهت براده برداری استفاده نمود
- قبل از نهایی کردن ابعاد تنون ، باید به تلرانس بین تنون و سوراخ شرود دقت کرد.
- وجود فیلت بین بیس[12] تنون و پره از نکات مهم در موقع نهایی کردن ابعاد تنون می باشد. این فیلت باید به اندازه ای باشد که تلاقی با لبه شرود پیدا نکند..
- هر لبه تیز و نقطه ای که سبب تمرکز تنش باشد باید از بین برود.
- کیفیت مناسب سطوح تنون مد نظر قرار گیرد.
- تست نهایی غیر مخرب برروی تنون قبل از پرچ آن.

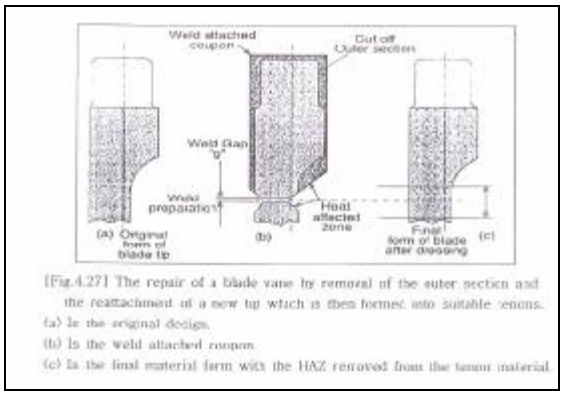
ج- روش کار در مورد استیج های حساس

[11] blade

[12] base

http://mohandes-iran.com

در مـورد بعـضی از اسـتیج هـای حـساس ، امکـان ارزیـابی وضعیت جـوش بوسـیله تـست غیـر مخـرب وجـود نـدارد مخصوصا در منطقه HAZ که نقطه حساسی می باشـد . در این حالت مخصوصا برای پره هایی که زاویه ایر فویل کوچک و سطح مقطع صاف دارند روش دیگری جهت ترمیم تنون در نظر گرفته می شود که در آن تیپ[13] پره کاملا عوض خواهـد شد



[Fig.4.27] The repair of a blade vane by removal of the outer section and the reattachment of a new tip which is then formed into suitable sections.
(a) Is the original design.
(b) Is the weld attached coupon.
(c) Is the final material form with the HAZ removed from the tenon material.

شکل 12 - تعویض کامل قسمت تیپ پره

د- کوتاه کردن پره ها

بسته به شکل تنون، پره می تواند به اندازه کوچک dh کوتاه شود. این روش به عنوان tipping شناخته شده است و بـه اندازه ای از پره برداشته می شود که ارتفـاع تنـون بـه انـدازه کافی برسد تا کوبیده شود .

این روش دارای عیوبی است که ذیلا به آنها اشاره می شود :

- باعث کوتاه شدن پره می شود
- با عث تغییر فواصل آزاد شعاعی و محوری می گردد
- بعلت کوتاه شدن پره ها در مـواردی کـه تعـداد آنهـا زیـاد است امکان استفاده از شرود قبلی وجود ندارد.
- ممکن است کوتاه شدن پره بر روی فرکانس طبیعی سیستم تاثیر بگذارد و این در مدت زمان کوتاه برای کارشناسان قابـل پیش بینی نمی باشد.

و همچنین مزایایی دارد که به شرح زیر هستند :

- با این روش میتوان خیلی سریع واحد را به مدار باز گرداند
- این عملیات بدون بیرون آوردن پره ها انجام می گیرد

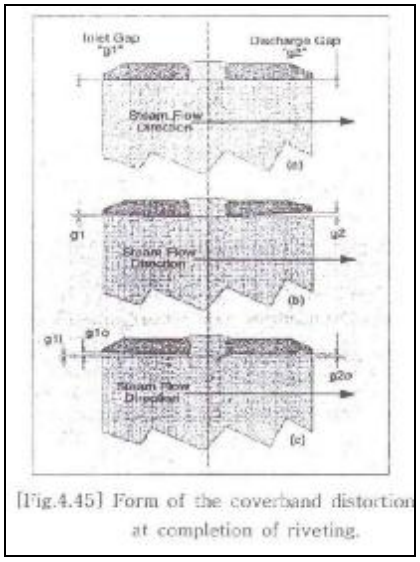
روش های ایجاد استحکام مضاعف در شرود هـای آسیب دیده

- بریزیگ محل نشیمن شرود بر روی پره
- پیچ کردن شرود بر روی پره

پانچ تنون و نکات مهم در این زمینه

پانچ تنون بوسیله روش دستی وپنوماتیک انجام مـی پـذیرد و وقتی پانچ کامل گردد شرود باید کـاملا بـر روی پـره نشـسته باشد مطابق شکل 13 ، در صورت پانچ غلط تنون، دو حالـت ممکن است پیش بیاید:

- در قسمت ورود و خروج پره گـپ وجـود دارد و فیلـر بـه ساقه تنون نمی رسد که دلیل سفت کوبیده شدن تنون می باشد
- بین شرود و پره گپ وجود دارد اما فیلر به ساقه تنـون مـی رسد و نشان دهنده خوب کوبیده نشدن تنون است



[Fig.4.45] Form of the coverband distortion at completion of riveting.

شکل 13 - خطا های احتمالی در پانچ تنون

در بحث تنون و شرود مطابق شکل 14 باید به آیتم های زیـر توجه نمود :

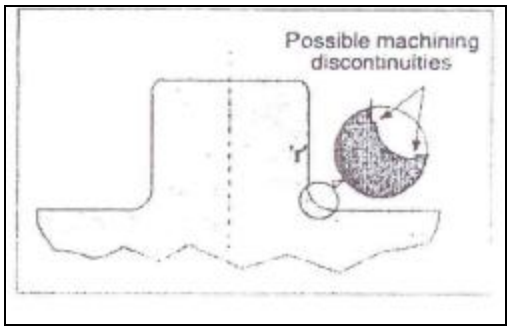
- اختلاف ارتفاع بـین H و T نـشان دهنـده مقـدار مـاده ای است که قابلیت فرم گرفتن دارد و باید مـد نظـر قـرار گیـرد . H -T = 2,3 ~ 2,8
- کلیرنس CI بین تنون و شرود در نظر گرفتـه شـود =0,2 CI . این کلیرنس برای پره های بلند می توانـد بـین 75% -

[13] tip

http://mohandes-iran.com

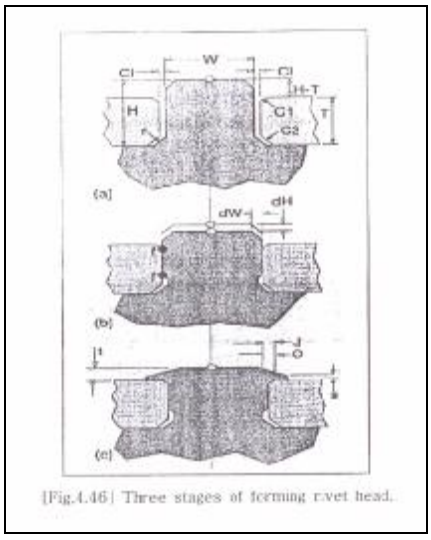
50% افزایش یابد و در مورد پره های کوتاه امکان بسته تر شدن این تلرانس وجود دارد .

- مقدار اوریب C1 و C2 باید کاملا ایجاد شود بطوریکه C2 با R تنون تلاقی نکند



شکل 14 - تعویض کامل قسمت بیرونی پره

- در مرحله اول پانچ کردن تنون ، کلیرنس بین تنون و شرود پر می گردد، تغیرات dw و dh اعمال می شود و سطح اصطکاکی بوجود آمده باید بتواند شرود را در برابر نیروی گریز از مرکز حفظ کند .
- نهایتا سر تنون وارتفاع t شکل می گیرد در این حالت محل اندازه گیری ما s میباشد که نباید از 0,4 میلی متر کوچکتر باشد .
- اگر اندازه H-T درست انتخاب شود تنون به اندازه مورد نظر بر روی شرود گسترده می شود
- فیلت ایجاد شده در انتهای تنون باید بدون هیچ گونه ناپیوستگی باشد .



شکل 15 - عدم پیوستگی در فیلت ایجاد شده

نتیجه گیری

ازکلیه تکنیک های بررسی شده می توان ترتیب زیر را از نظر اهمیت وکارآیی طبقه بندی کرد :

1- جوشکاری تنون
2- تعویض سر پره
3- ایجاد foxhole در شرود سر پره هایی که بر روی تنون کار دوباره انجام می شود و در صورت نیاز استفاده از عملیات بریزینگ .
4- کوتاه کردن سر پره که بعنوان یک روش موقت مورد استفاده قرار می گیرد.
5- همچنین است استفاده از پیچ های نگه دارنده

مراجع

1-Turbine steam path Volume II maintenance & repair By William P. Sanders
2-Steam and gas turbine By A.G.Kostyuk / V.V.Frolov ترجمه: دکتر داود توکلی

http://mohandes-iran.com