

« استاندارد RP 0403 NACE »

« جلوگیری از ترک خوردگی تنشی قلیایی

فولادهای کربنی در تجهیزات و خطوط لوله پالایشی »

تهیه کننده : مهندس ابراهیم خیر

شرکت نفت فلات قاره

سایت مرجع بازرسی فنی و کنترل کیفیت

www.Inspector.ir

۱- کلیات :

۱.۱. این استاندارد به منظور ارزیابی ترک خوردگی تنشی قلیایی^۱ فولادهای کربنی در تجهیزات و خطوط لوله پالایشی تدوین گردیده است و در مورد تجهیزاتی است که با قلیای تازه^۲ سرو کار دارند. ترک خوردگی تنشی از نوع قلیایی به کرات در حضور قلیای آلوده (خصوصاً حاوی گوگرد) در سرویس هایی که در ناحیه ی A از نمودار قلیا قرار می گیرند، مشاهده گردیده است.

۱.۲. مواردی که در زیر توضیح داده شده است در رابطه با محلولهای حاوی قلیا می باشد. البته شرکت های مختلفی از این استاندارد به منظور دیگر ترکیبات قلیایی نظیر هیدروکسیدپتاسیم KOH و هیدروکسیدلیتیم LiOH نیز استفاده کرده اند.

۱.۳. بعضی از محلولهای مخصوص قلیا که در صنایع به کار می روند (بعنوان مثال برای حذف دی اکسید کربن در واحدهای مرتبط با هیدروژن) حاوی مواد بازدارنده ای به منظور به تعویق انداختن ترک خوردگی تنشی هستند. در اینگونه موارد استفاده از موارد ذکر شده در استاندارد زیر عملاً بیهوده خواهد بود. البته بایستی تأثیر بازدارندگی بازدارنده مورد استفاده را نیز در نظر گرفت.

۲- مکانیزم ترک خوردگی :

۲.۱. موارد زیادی از ترک خوردگی قلیایی در بویلرهای بخار ، خصوصاً بویلرهای پرچی مشاهده شده است. در ساختارهای پرچی ترک از فلزی شروع می شود که تحت تنش زیادی قرار دارد. عمده ی موارد ترک خوردگی قلیایی در تجهیزات ساخته شده از فولادهای کربنی عبارتند از : جوشهای تنش زدایی نشده ، خصوصاً در منطقه ی متأثر از حرارت (HAZ)^۳ و نزدیک فلز پایه.

^۱ . Caustic Stress Corrosion Cracking (Caustic Embrittlement)

^۲ . Fresh Caustic

^۳ . Heat affected Zone

۲.۲. ترک خوردگی تنش قلیایی در تجهیزات ساخته شده از فولادهای کربنی عموماً از نوع بین دانه ای^۱ بوده اگر چه به صورت درون دانه ای^۲ نیز می تواند رخ دهد. این ترکها عموماً از نوع ترکهای ترد شکننده بوده و حاوی اکسید نیز می باشند و اغلب چندین ترک با هم وجود دارند. ترک خوردگی در فلز جوش معمولاً از نوع بین دانه ای بوده و در راستای ساختار فریتی در شبکه می باشد. ترک خوردگی قلیایی فولاد کربنی را می توانید در شکل های ۱ و ۲ (مربوط به فلز جوش) و در شکل های ۳ و ۴ و ۵ (مربوط به فلز پایه) مشاهده نمائید.



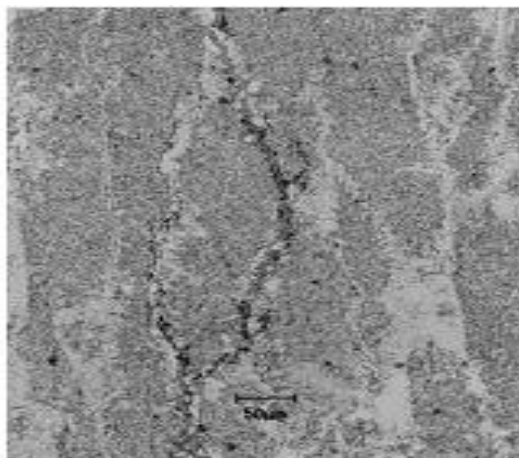
شکل ۱- ترک خوردگی قلیایی در فلز جوش فولاد کربنی - اچ نشده.

توضیح شکل ۱: خطوط جوش از نوع اتصال لب به لب بوده که به روش SMAW در یک مخزن ذخیره قلیا انجام شده است. محیط تانک شامل قلیای صنعتی ۲۰٪ بوده که در محدوده ی دمایی ۳۵ الی ۴۶ °C به کار برده شده است. ترک خوردگی ها زمانی رخ داده که در حین عملیات رقیق کردن قلیای ۵۰٪، قلیایی

^۱. Intergranular

^۲. Transgranular

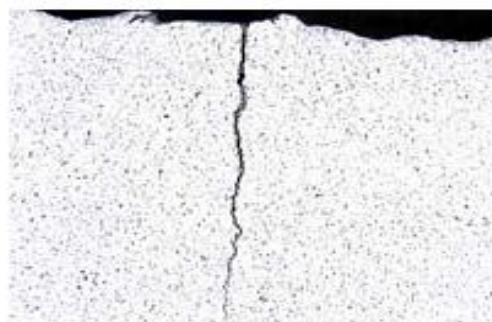
گرم در سرویس به گردش درآمده است. تصویر نشان داده شده در شکل ۱ بیانگر ترکهای قلیایی در سطح گرده ی فلز جوش بوده و در این مورد ترکها بیشتر از گرده ی جوش نفوذ نکرده اند.



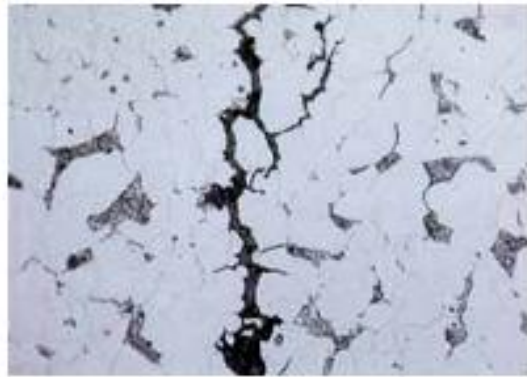
شکل ۲ - ترک خوردگی قلیایی فلز جوش فولاد کربنی که بوسیله ی اچ کردن با محلول نایتال بدست آمده است.

توضیح شکل ۲: تصویر ریز ساختاری که در شکل ۲ ملاحظه می کنید بوسیله ی اچ کردن با محلول نایتال بدست آمده و نشان دهنده ی ترکهای موجود در مستطیل شکل ۱ می باشد. ترکها از نوع ترد شکننده، حاوی اکسید و عموماً در راستای ساختار فریتی فلز جوش می باشند.

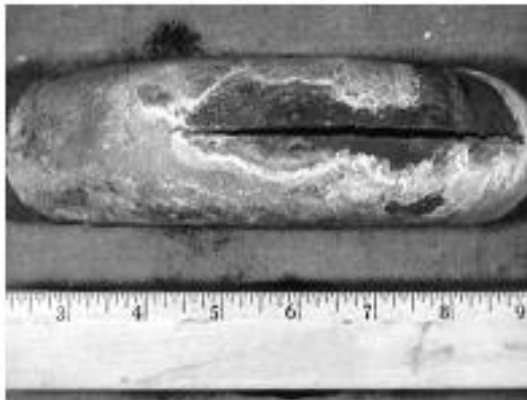
شکل های ۳ تا ۵ که در زیر نشان داده شده اند بیانگر ترک خوردگی قلیایی فولاد کربنی در فلز پایه می باشند.



شکل ۳. ترک خوردگی قلیایی فولاد کربنی در فلز پایه - اچ شده توسط نایتال بزرگنمایی 75x.



شکل ۴. ترک خوردگی قلیایی فولاد کربنی در فلز پایه - اچ شده توسط نایتال - بزرگنمایی 50x



شکل ۵. تیوب بویلری که به دلیل فراتر رفتن غلظت^۱ قلیا متحمل ترک خوردگی قلیایی و از سرویس خارج گردیده است.

۲.۳. میزان غلظت و دمای کاری بر روی احتمال ترک خوردگی تأثیر می گذارند.

۱. ۲.۳. قلیاهای با غلظت بالاتر از ۵٪ در محلول ها می توانند منجر به ترک خوردگی قلیایی در فولادهای کربنی گردند. توجه به این نکته نیز مهم است که ترک خوردگی ممکن است در سرویسهایی

¹. Carry Over

که غلظت آنها از این محدوده هم کمتر است رخ دهد که به دلیل افزایش غلظت موضعی در نقاط می باشد .

۲.۳.۲ ترک خوردگی قلیایی در گستره ی وسیعی از دما، از 46°C تا نقطه ی جوش اتفاق می افتد .

۲.۴. میزان تنش مورد نیاز برای ترک خوردگی تابعی از دمای فلز و غلظت قلیا می باشد . منبع این تنش ها نیز ممکن است تنش های اعمالی و یا تنش های پسماند باشد . از جمله تنش های اعمالی می توان به بارهای وارده ، گرماهای اعمال شده و یا دیگر تنش ها اشاره کرد . از تنش های پسماند نیز می توان به تنشهای باقیمانده ناشی از جوشکاری ، خمکاری ، شکل دهی و یا ... اشاره کرد . محصولات خوردگی موجود در نواحی محدود نیز منجر به ایجاد تنش های بالایی می گردند .

۳- کاربرد تنش زدایی حرارتی در مقابله با احتمال ترک خوردگی قلیایی

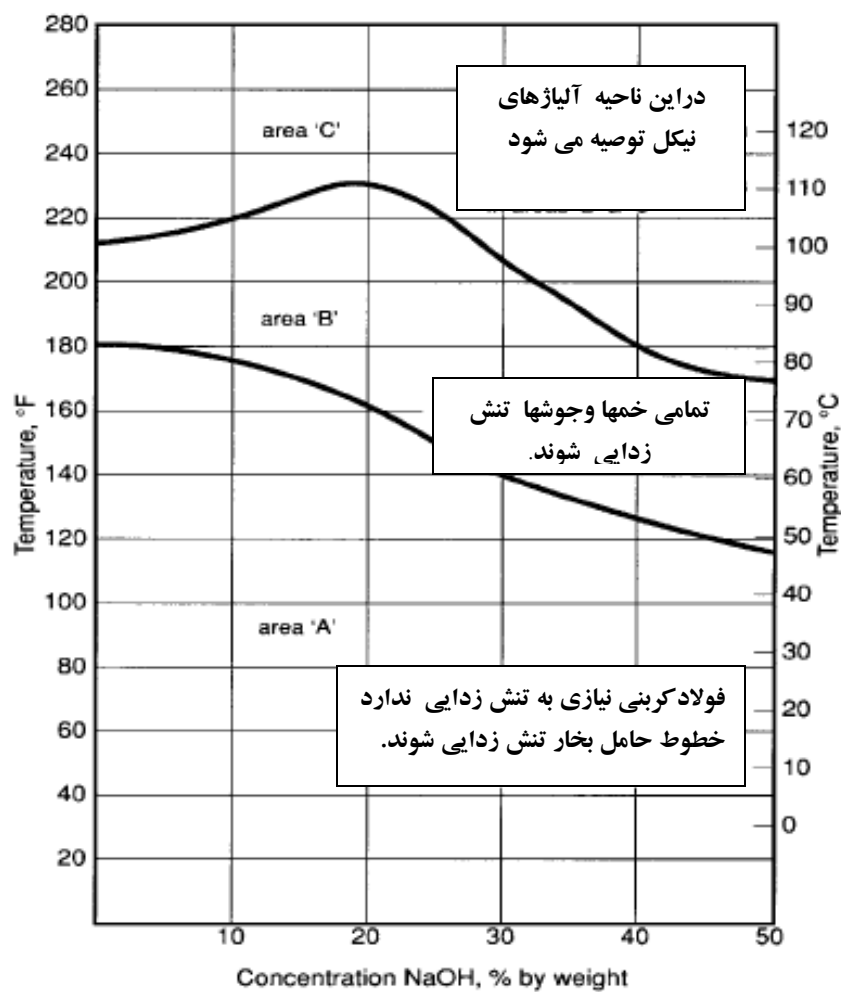
۳.۱. همانطور که در نمودار شماره ی ۱ ملاحظه می کنید با توجه به دمای فلز و غلظت قلیا ، برای تنش زدایی حرارتی فولادهای کربنی نموداری تهیه شده که شامل سه منطقه ی A و B و C می باشد . جوشها در فولادهای کربنی (شامل جوشهای شیاری ، جوشهای ساکتی^۱ و درز جوشها^۲) ، خم های لوله ای نورد سرد شده و تیوبهای U شکل مبدل های حرارتی در زمره ی نواحی B و C این نمودار قرار گرفته که می بایست مطابق پاراگراف ۳.۲ تنش زدایی حرارتی گردند .

۱- منطقه ی A: در این ناحیه برای فولادهای کربنی نیازی به تنش زدایی نبوده ولی برای خطوط حامل بخار در مناطق جوشکاری شده نیاز به تنش زدایی می باشد .

^۱ . Socket Weld

^۲ . Seam Weld

Δ : تمامی خطوط حامل بخار نظیر تیوب های بویلرها که از نوع جوشی هستند می بایست تنش زدایی گردند .



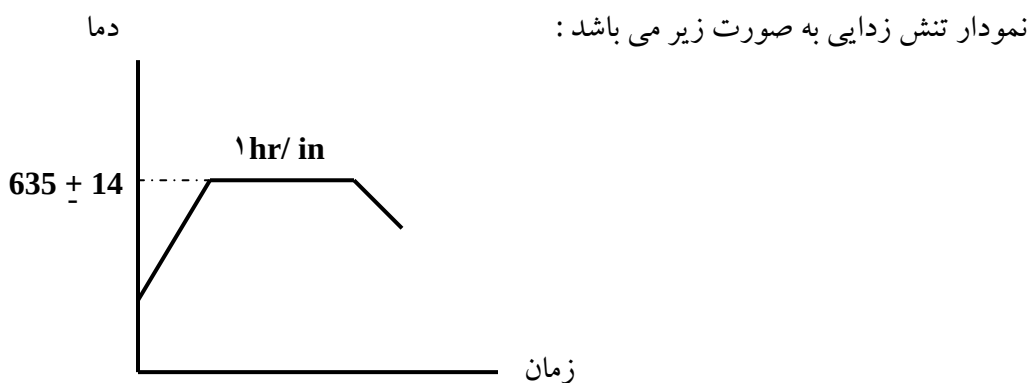
نمودار ۱ : نمودار سرویس قلیا

۲- منطقه ی B : در این ناحیه کلیه جوشها و خم ها در فولادهای کربنی نیاز به تنش زدایی حرارتی دارند .

۳- منطقه ی C : در این ناحیه کاربرد آلیاژهای پایه نیکل توصیه می شود. همچنین برای ولوهایی که در

ناحیه ی B و C می افتند می بایست از آلیاژهای نیکل استفاده شود .

۳.۲. تنش زدایی حرارتی یک روش مؤثر برای بهبود بخشیدن مقاومت در برابر ترک خوردگی تنشی در جوشها و خم های شکل دهی شده فولادهای کربنی که در سرویس قلیا هستند ، می باشد . دستورالعمل مؤثر تنش زدایی به این شکل می باشد که ابتدا می بایستی تا دمای $635 \pm 14^{\circ}\text{C}$ ($1175 \pm 25^{\circ}\text{F}$) حرارت دهی شده و سپس در همین دما به میزان ۱ ساعت به ازای هر اینچ ضخامت (1hr / in) نگهداری شود و حداقل زمان نگهداری نیز ۱ ساعت و سپس به آرامی سرد گردد .



نمودار تنش زدایی فولادهای کربنی در سرویسهای کاستیک

این نکته را نیز می بایست مد نظر قرار داد که تغییرات مجاز در ترکیب شیمیایی فولادها حتی اگر دارای grade یکسانی باشد نیز می تواند مهم باشد و این عامل به اتفاق پارامترهای جوشکاری ، سبب ایجاد سختی بالایی در منطقه ی HAZ می گردد که با این دستورالعمل تنش زدایی سختی به اندازه کافی کاهش پیدا نخواهد کرد. برای مؤثر بودن این عملیات حرارتی می بایست تمام متغیرهای موجود را در نظر گرفت .

۳.۳. تحقیقات نشان داده اند که کافی نبودن پهنای منطقه ی حرارتی می تواند منجر به تنشهای باقی مانده بالایی پس از عملیات حرارتی شود. تنشهای باقی مانده در لوله هایی با قطر بزرگ نیز به دلیل

جریانات همرفتی داخلی و میزان انتشار بیشتر گرما به دلیل قطر داخلی بزرگ لوله ، در بیشترین مقدار خود می باشند. از کدهای مربوط به ظروف تحت فشار می توان به منظور محاسبه ی پهنای باند حرارتی بهره برد . به منظور به حداقل رساندن تنشهای پسماند و نتیجتاً افزایش مقاومت در برابر ترک خوردگی تنشی لوله می توان از دستورالعمل زیر استفاده کرد .

Δ : با افزایش قطر لوله میزان تنش باقی مانده پس از عملیات حرارتی نیز افزایش می یابد به عبارت دیگر ، افزایش قطر لوله می بایست پهنای باند حرارتی را افزایش داد .

۳.۳.۱ حداقل پهنای باند حرارتی برای لوله ها را می توان از جدول شماره ۱ در زیر بدست آورد .

قطر اسمی لوله	حداقل پهنای باند حرارتی
19 to 25 mm (.75 to 1.0 in.)	100 mm (4.0 in.)
38 to 76 mm (1.5 to 3 in.)	150 mm (6.0 in.)
100 to 150 mm (4.0 to 6.0 in.)	200 mm (8.0 in.)
≥ 200 mm (≥ 8.0 in)	$BW = 4.12(RT)^{0.5} + 51 \text{ mm (200 mm min)}$ $BW = 4.12 (RT)^{0.5} + 2.0 \text{ in (8.0 in min)}$

BW: پهنای باند حرارتی

R: قطر لوله (قطر بیرونی)

T: ضخامت دیواره لوله .

مثال : حداقل پهنای باند حرارتی برای یک لوله " ۱۲ با sch ۸۰ چقدر می باشد ؟

حل: با استفاده از جدول

$$R = 12.75 = \text{قطر بیرونی}$$

$$T = (\text{sch } 80) = 0.638 \text{ in} \implies BW = 4.12 (Rt)^{1/2} + 2.0 \text{ mm (8.0 in . min)}$$

$$\implies BW = 13.75 \text{ in} = 34.92 \text{ cm}$$

۳.۳.۲ تمامی پهنای باند حرارتی و حداقل 230 mm (9.0 in) از هر دو طرف را می بایست به وسیله

پتوی عایق با حداقل ضخامت 50mm (2.0 in) عایق بندی نمود .

۳.۳.۳ در مورد جوشهای مربوط به فلنجهای ، تمامی فلنج از داخل و بیرون به اضافه حداقل 230 mm

(9 in) از لوله را می بایست عایق بندی نمود .

۳.۳.۴ به منظور به حداقل رساندن جریانهای همرفت گرمایی ، در صورت امکان می بایست دو سر لوله

را مسدود نمود .

۳.۴ همه ی تجهیزات و خطوط لوله ای که گرما از آنها عبور می کند در معرض خطر رسیدن دمای فلز

به محدوده وقوع ترک خوردگی تنشی می باشند که اگر کنترل دمایی صحیحی به منظور نگهداشتن دمای

فلز در ناحیه ی A از نمودار سرویس قلیا انجام نگیرد ، در این صورت برای جلوگیری از ترک خوردگی

قلیایی می بایست از جوشها و خمهای فولاد کربنی تنش زدایی حرارتی صورت پذیرد .

۳.۵ تمامی تجهیزات و خطوط لوله ای که با بخار سرو کار دارند می بایستی تنش زدایی حرارتی گردند

Δ.توجه : تجربه های عملیاتی نشان داده است که شستشو بوسیله ی آب قبل از ورود بخار به سیستم در

تجهیزات تنش زدایی نشده می تواند بعنوان یک عامل موفق در کاهش احتمال ترک خوردگی قلیایی

مؤثر واقع گردد .

Δ: در تجهیزاتی که تنش زدایی نشده و یا امکان تنش زدایی آنها مشکل می باشد شستشو با آب دقیقاً قبل

از ورود بخار به سیستم می تواند بعنوان یک عامل کاهنده احتمال ترک خوردگی قلیایی مؤثر واقع گردد .

۳.۶. جوشهای مربوط به اتصالات خارجی معمولاً تولید تنش پسماند بالایی در ضخامت دیواره می کنند و بنابراین می بایستی آنها را در عملیات حرارتی تنش زدایی مد نظر قرار دهیم حتی اگر شواهد نشان دهنده این باشد که این تنش های پسماند در عمق ضخامت دیواره وارد نشده اند . متغیرهایی که عمق نفوذ تنش پسماند را تحت تأثیر قرار می دهند عبارتند از : گرمای ورودی ناشی از جوشکاری ، ضخامت فلز پایه و اندازه جوش اتصالات .

Δ: عوامل مؤثر در عمق نفوذ تنش پسماند :

- گرمای ورودی ناشی از جوشکاری .

- ضخامت فلز پایه .

- اندازه جوش اتصالات .

۴ - ملاحظات دیگر

۴.۱. اثرات احتمالی غلظت را می بایستی به عنوان یک جزء حساس در محاسبات مربوط به ارزیابی های احتمال ترک خوردگی قلیایی و جلوگیری از آن بوسیله ی عملیات حرارتی تنش زدایی و یا انتخاب مناسب موارد در نظر گرفت . از جمله نواحی که در آن احتمال افزایش موضعی غلظت وجود دارد می توان به مواضع سرعت جریان کم در مبدل های حرارتی ، خطوط لوله ساکن و تجهیزاتی که مرتباً با خیس شدگی و تبخیر^۱ (تعادل فاز مایع بخار) سرو کار دارند را نام برد . (نظیر مخازن ذخیره قلیا) .

۴.۲. بیشتر از کار افتادگی های صنعتی ناشی از ترک خوردگی قلیایی به دلیل افزایش غلظت بیش از حد قلیا بوده است. در ارزیابی احتمال ترک خوردگی قلیایی و ضرورت پیشگیری از آن می بایست فرآیندهای عملیاتی و احتمال افزایش بیش از حد غلظت قلیا (Carry over) را مد نظر قرار داد .

^۱ . Wetting

۴.۳. روشهای مؤثر آزمایشات غیر مخرب در شناسایی ترکهای قلیایی عبارتند از : آزمون ذرات تر مغناطیسی فلورسافت (WFMT)^۱ ، اندازه گیری با میدانهای جریان متغیر (ACFM)^۲ . و امواج برشی آلتراسونیک (UT) . مؤثرترین روش برای شناسایی ترکهای خارجی در خطوط لوله استفاده از امواج برشی آلتراسونیک است . تمامی آزمایشات غیر مخرب نیز می بایست مطابق استانداردها و دستورالعمل های رایج در صنایع باشد .

۴.۴.۸. قبل از تعمیرات جوشکاری و یا ایجاد اصلاحات در تجهیزات فولاد کربنی که در سرویس های قلیا قرار دارند بایستی نکات زیر را مد نظر قرار داد :

۴.۴.۱. سطح مورد جوشکاری و سطوح نزدیک به آن می بایست عاری از هرگونه اکسید یا آلودگی های قلیایی باشد ترکیبات قلیایی در جوش می تواند منجر به ترک خوردگی شود .

۴.۴.۲. اگر تجهیزات قبلاً مورد تنش زدایی حرارتی واقع شده باشند ، بعد از تعمیر و یا اصلاح جوش می بایست دو مرتبه عملیات تنش زدایی را انجام داد .

۴.۴.۳. جوشکاری در حین سرویس (مانند جوشکاری به منظور Hot Tapping) دارای ریسک بالایی از احتمال ترک خوردگی هستند . جوشکاری در حین سرویس را می بایست با ارزیابی تمامی خطرات احتمالی انجام داد .

۴.۴.۴. دیگر روشهای جوشکاری مانند Temper bead , Controlled deposition در پیشگیری از ترک خوردگی قلیایی چندان مؤثر نیستند . این روشها نیز به اندازه کافی تنش های پسماند را کاهش نداده و بنابراین نمی توان آنها را جایگزین عملیات حرارتی تنش زدایی نمود .

^۱ Wet fluorescent Magnetic Test

^۲ . Alternating Current Field Measurement

۴.۵. به طور کلی روشهای تنش زدایی مکانیکی در جلوگیری از ترک خوردگی قلیایی چندان مؤثر نیستند. از عملیات ساچمه زنی Peening نبایستی برای تنش زدایی تجهیزات موجود در سرویس قلیا استفاده کرد زیرا بازدهی چندان ندارد. اگر قرار است از دیگر روشهای مکانیکی تنش زدایی (نظیر تنش زدایی لرزشی^۱) استفاده شود، می بایست آنالیز دقیقی از شرایط تنش زدایی از عیوب مربوط به طراحی، بارگذاری و شرایط عملیاتی را انجام داد.

۴.۶. معمولاً استفاده از فولادهای کربنی برای شرایطی که غلظت و دما در ناحیه ی C از نمودار سرویس قلیا می افتد چندان مناسب نمی باشد مگر اینکه غلظت بسیار کم باشد (کمتر از ۵٪ وزنی). سرعت خوردگی فولادهای کربنی در ناحیه C به اندازه کافی بالا بوده و استفاده از آلیاژهای نیکل در این ناحیه توصیه می شود.

۴.۷. به کرات در سرویس هایی که حاوی قلیای آلوده (خصوصاً ترکیبات گوگردی) هستند مشاهده گردیده با اینکه در ناحیه ی A از نمودار سرویس قلیا قرار گرفته اند اما دچار ترک خوردگی قلیایی گردیده اند که در اینگونه شرایط نیاز به تنش زدایی می باشد.

۴.۸. پوشش های آلی و یا غیر آلی از عوامل بازدارنده ترک خوردگی قلیایی هستند. به همین منظور به هنگام انتخاب پوشش می بایستی دقت کافی در انتخاب پوششی که دارای عملکرد قابل قبولی در فرآیند، محیط و یا عملیات داشته باشد، را انجام داد. به منظور ارائه حفاظت و کارائی بهتر نیز می بایستی بازرسی های دوره ای و نگهداری از پوشش در طول زمان سرویس دهی تجهیزات انجام شود.

۴.۹- اتصالات کوچک ساکتی که جوشکاری می شوند نیز دارای ناپیوستگی های هندسی بوده که خود این امر می تواند بعنوان یک افزایش دهنده موضعی تنش عمل کرده و ترک از این نقاط شروع شود. در

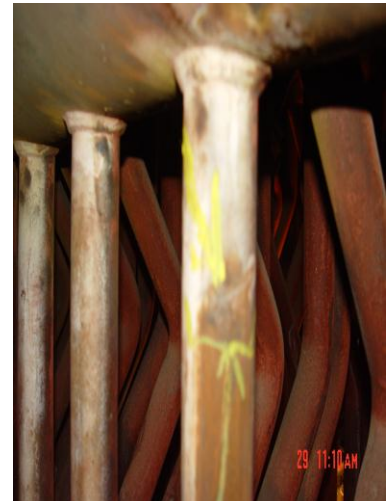
^۱ . Vibration Stress Relieve

کاربردهایی که تنش زدایی حرارتی برای خطوط لوله و تجهیزات فولاد کربنی توصیه شده است ، اتصال جوشی ساکتی نیز بایستی تنش زدایی حرارتی شوند .

۴. ۱۰ - اتصالات تردی (Threaded) نیز دارای مقادیر بالایی از تنش باقی مانده بوده و هنگامی در سرویس های قلیا قرار می گیرند می توانند بعنوان نقطه ی شروع ترک ایفای نقش کنند . در محل اتصالات تردی (Thread) تبخیر موضعی ممکن است رخ داده و منجر به افزایش غلظت کاستیک در این مواضع شود. در جاهایی که تنش زدایی حرارتی برای مقاوم سازی در برابر ترک خوردگی قلیایی توصیه شده است می بایستی استفاده از این گونه اتصالات را مورد بازنگری قرار داد.

موارد عملی اتفاق افتاده در پالایشگاه آبادان

۱. ترک خوردگی جوش، خمها و نواحی مستقیم تیوب دیگهای بخار جدید آبادان



۲. ترک خوردگی ظرف کاستیک واحد آب صنعتی S.P.A پالایشگاه آبادان

