اویل ایندستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

ترک برداشتن ناشی از خوردگی تنشی SCC فولاد کربنی در محیط آمونیاک

سیروس یحیی پور

ASME Authorized Inspector

Sirus_yehipoor@yahoo.se

چکیده

از نیمه دوم سالهای ۱۹۲۰ گزارش هایی در آمریکا منتشر شد، که در برخی مزارع، تعدادی از مخازن سیار آمونیاک مایع تحت فشار، منفجر شدند. با نمونه برداری از مخازن آسیب دیده، مشخص شد که همه آنها دارای ترک های ناشی از خوردگی تنشی SCC بودند. برای رخدادSCC حداقل دو مقوله، تنش و خوردگی لازم است. تنش به تنهایی، معمولا اثراتی نظیر خزش، خستگی و گسیختگی به همراه دارد و خوردگی به تنهایی، هم، به واکنش انحلالی منتهی می شود. اما ترکیب این دو اگر با شرایط دیگری همراه شود می تواند اثر فاجعه بار داشته باشد. عوامل مهم در SCC عبارتند از درجه حرارت، ترکیب محلول خورنده، ترکیب شیمیایی و ساختار متالورژیکی فلز. در SCC هر دو نوع ترک بین دانه ای Intergranular و میان دانه ای Transgranular رخ می دهد. فولادهای ساده کربنی گرچه در مقابل خوردگی عمومی ضعیفتر از فولادهای زنگ نزن هستند، اما در برابر SCC از فولادهای زنگ نزن مقاومترند. به عنوان اصل کلی، فولادهای کربنی و کم آلیاژی با استحکام کمتر در قبال SCC نسبت به فولادهای با استحکام بیشتر مقاوم ترند. با افزایش سختی و استحکام، فولاد به ترک خوردن مستعدتر می شود. یکی از روشهای معمول برای کاهش سختی در مخازن جوش شده، استفاده از عملیات حرارتی پس گرمایش PWHT بعد از جوشکاری است. SCC فولاد کربنی در محیط آمونیاک مایع، در درجه اول به میزان ناخالصی اکسیژن، بستگی دارد. در غیاب اکسیژن، اصولا احتمال وقوع SCC در محیط آمونیاک منتفی می گردد. افزودن مقادیر کوچکی از آب اثر محافظ دارد و اغلب از رخداد SCC در این محیط ممانعت می کند. این بررسی بر خوردگی تنشی فولادهای کربنی، در مخازن ذخیره کروی تحت فشار ثابت Spherical Tanks ، مخازن متحرک Nurse Tanks و مخازن ذخیره کم فشار دو جداره و روشهای ممانعت از آن متمرکز است.

واژه های کلیدی

ترک خوردگی تنشی SCC، آمونیاک مایع Ammonia Anhydrous، فولاد کربنی، اکسیژن محلول، اثر آب، مقاومت کششی فولاد

مقدمه

خوردگی تنشی آمونیاک علاوه بر فولاد کربنی، در مس، روی و آلیاژهای مس هم رخ می دهد. در کاربرد واشرها، Bearings و رینگهای پیستون پمپ ها و کمپرسورهایی که در محیط آمونیاک کار می کنند، باید کنش، آمونیاک با مصالح فوق را در نظر گرفت. اما چون به علت های اقتصادی، ظروف نگهداری آمونیاک مایع تحت فشار یا فوق سرد، از فولادهای کربنی ساخته می شوند، مقوله ترک خوردگی تنشی فولادهای کربنی، در محیط آمونیاک مایع، از اهمیت ویژه ای برخوردار شده است. عدم توجه به مکانیزم و دلایل این نوع خوردگی، می تواند سبب حوادث فاجعه بار شود. در عین حال با کنترل چند مقوله ساده، مخازن فولاد کربنی، برای زمان های طولانی و گاهی بیش از ۳۰ سال به خوبی بهره برداری شده اند. مقاله پیش رو حاصل ترکیب و ترجمه از چندین منبع است و گاهی در یک جمله، از اطلاعات چند منبع مختلف استفاده شده است، برای ممانعت از ارجاع پی در پی به منابع، اسامی آنها در انتهای مقاله آمده است.

این مقاله بر خوردگی تنشی فولاد کربنی در محیط آمونیاک مایع، متمرکز است و قرار نیست که بطور مفصل، به توضیح و تشریح نظری SCC پرداخته شود. فرض بر این است که خوانندگان، با مقوله SCC آشنایی کافی دارند. اما برای ورود به مطلب، در مورد آن دسته از نکات عمومی، که در بحث خوردگی تنشی آمونیاکی روی فولادهای کربنی مطرح است، توضیح مختصری داده می شود.

ترک خوردن ناشی از خوردگی توام با تنش Stress Corrosion Cracking

SCC نتیجه تاثیر همزمان تنشهای کششی و محیط خورنده، روی آلیاژها است. درSCC فلز یا آلیاژ تقریبا خورده نمی شود اما ترک های ریزی درون آن بوجود می آید و رشد می کند. قدیمی ترین گزارش های SCC، مربوط به ترک خوردن فصلی Season Cracking پوکه های برنجی فشنگ های نظامی، در اوقات بارانی جنگ جهانی اول، و تردی بازیCaustic Embrittlement فولاد است، که در لوکوموتیوهای بخاری اولیه رخ میداد.

برای رخدادSCC حداقل به دو مقوله جداگانه تنش و خوردگی نیاز است. تنش به تنهایی معمولا اثراتی نظیر خزش، خستگی و گسیختگی ایجاد می کند و خوردگی تنها هم، به واکنش انحلالی منتهی می شود. اما ترکیب این دو اگر با شرایط مساعد دیگری همراه شود، می تواند اثر فاجعه بار داشته باشد. در احتمال رخداد SCC بزرگی تنش، درجه حرارت محیط، ترکیب شیمیایی محلول خورنده، ترکیب شیمیایی و ساختار متالورژیکی فلز از عوامل مهم هستند. در SCC هر دو نوع ترک بین دانه ای Intergranular و میان دانه ای Transgranular رخ می دهد.

معیار اصلی تنشهایی که سبب SCC می شوند این است که از حدی بالاتر و از نوع کششی باشند. تنش می تواند از نوع تنش های ناشی از بهره برداری، پس ماند، حرارتی یا جوشکاری باشد. خوردگی نیز مولد تنش است و گاهی تنشهای بزرگی در اثر محصولات خوردگی بوجود می آید.

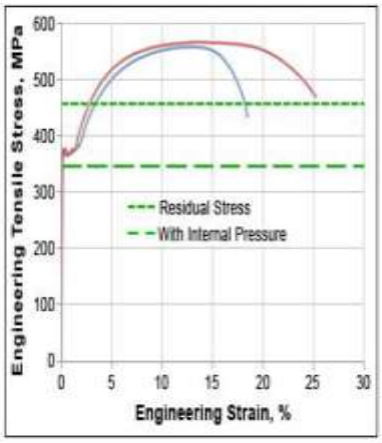


Figure 9. Graph. Superimposition of the maximum residual tensile stress measured at LANSCE (lower horizontal line) with the stress-strain plot for the steel coupons measured from that tank in tensile testing.

زمان شکست اهمیت زیادی دارد و خسارت های مهمی که در SCC رخ می دهد در مراحل نهایی صورت می گیرد. نزد محققان خوردگی، الگویی کلی برای محیط هایی که در آن آلیاژهای مختلف دچار SCC می شوند وجود ندارد. برخی از خوردگی های SCC در محیط آبی، برخی در نمکها و فلزات مذاب و برخی در مایعات معدنی فاقد آب رخ می دهند. شیبه اکثر واکنشهای شیمیایی، SCC با افزایش درجه حرارت، شدت می یابد. ترک خوردگی SCC در فلزاتی که بطور کامل درون مایع قرار داشته باشند، معمولا کمتر از مناطقی است که در معرض خشک و تر شدن متناوب باشند.

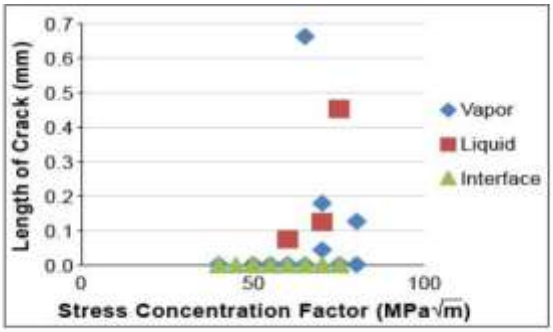


Figure 10. Graph. Crack size as a function of stress intensity factor after 4 months of exposure to NH_3.

فولادهای ساده کربنی گرچه در مقابل خوردگی عمومی ضعیفتر از فولادهای زنگ نزن هستند، اما در برابر SCC از فولادهای زنگ نزن مقاومترند. به عنوان اصل کلی، فولادهای کربنی و کم آلیاژی با استحکام کمتر در قبال SCC نسبت به فولادهای با استحکام بیشتر مقاوم ترند. با افزایش استحکام فولاد به ترک خوردن مستعدتر می شود.

آمونیاک

آمونیاک گازی سبکتر از هوا، با وزن مخـصوص در حـدود ۰/۵۸۹ هوا، قلیایی، بی رنگ و با بویی بسیار زننده است. آمونیاک به ندرت محترق می شود و طبق استاندارد NFPA Fire Protection Guide to Hazardous Materials فقط ترکیب خاصی از بخار آمونیـاک بـا ۲۸-۱۵ درصـد هـوا، ممکن است آتش بگیرد، درجه رطوبت و دمای هوا تاثیر زیادی در پدیده آتش گیری مخلوط آمونیاک- هوا دارد. در صنایع شیمیایی معمولا آمونیاک را بصورت مایع Ammonia Anhydrous تولید می کنند.

نام آمونیاک یاد بودی است از معبد "آمون" مصر، که برای اولین بار، ترکیبی به نام کلرور آمونیاک (نشادر)، در آن محل کشف شد. ظاهرا آمونیاک به شکل "نمک آمونیاک" توسط جابربن حیان در قرن۸ هجری شناخته شد. شایع است که، عربها از تقطیر ماده ای که از شاخ گوزن گرفته می شد محلول آمونیاک را بدون اینکه شناختی از آن داشته باشند بدست آوردند. نخستین کسی که گاز آمونیوم خالص را بدست آورد شیمیدان انگلیسی جوزف پریستلی بود. وی آمونیوم خالص را در سال ۱۷۷۴ تهیه کرد و اسمش را هوای قلیایی نهاد در ابتدا آمونیاک بیشتر از روش تقطیر خشک سبزیجات نیتروژن دار و فضولات حیوانی بدست می آمد. امروزه و در روش های مدرن، برای تولید آمونیاک از گاز طبیعی یا LPG و یا نفت استفاده می شود.

کاربردهای آمونیاک

بیش از نیمی از آمونیاک تولیدی، در ساخت کودهای شیمیایی بکار می رود. علاوه بر این آمونیاک در صنایع نفت، شیمیایی، اسید نیتریک، ساخت مواد منفجره، حفاری، استخراج و انتقال گاز، کارخانجات یخ سازی، تهیه اوره ، هیدروکسیل آمین و هیدرازین، تولید دارو، اکریلونیتریل ، الیاف سنتزی نیتر و پارافین و نیتروسلولز کاربرد دارد. در آمریکا، آمونیاک مایع را بطور مستقیم به خاک تزریق می کنند و یکی از عناصر تشکیل دهنده پروتئین ها است که ماده کلیـدی بـرای رشـد و نمـو گیاهان محسوب می شود. دمای جوش نرمال آمونیاک، ۳۳c°- است . آمونیاک در شکل مایع خود باید در "فـشار بـالا و دمای محیط" یـا در "دمای پایین و فشار آتمسفر" نگهداری شود. در مصارف عادی، آمونیاک بصورت محلول آبی ۵ تا ۱۰ درصد وزنی بکار می رود.

حالت فیزیکی	>گاز و مایع
نام شیمیایی	NH3
وزن ملکولی	17.031
نقطه ذوب	-77.73 °C, 195 K, -108 °F
نقطه جوش	°C-33.3
دمای بحرانی	°C132.4
چگالی (گاز)	(1.013 bar at 0.73 kg/m3 15 °C)
حلالیت در آب (mg/l)	47% (0 °C) 31% (25 °C)
ب	تند
درجه سمی بودن	سمی
UN number	- Liquid 1005
CAS number	7664-41-7

ملاحظه های عمومی در مورد مکانیزم SCC

مکانیزم SCC به دلیل پیچیدگی روابط فلز، فصل مشترک و محیط خورنده، هنوز بخوبی روشن نشده است. بیشتر نظرها بر این است که مکانیزم SCC درتمام سیستمهای خورنده یکسان نیست. اما همه اذعان دارند که در بوجود آوردن و آغاز ترکها، خوردگی رل مهمی بازی می کند. وجود حفره، شیار، یا هر غیر یکنواختی دیگر روی سطح، سبب تمرکز تنش در آن نقاط می گردد و امکان ایجاد ترک را تسریع می کند. با شروع ترک، تمرکز تنش در راس شیار، به علت کوچکی شعاع شیار، به شدت افزایش و ترک ایجاد می شود. با حفاظت کاتدی

نمونه ای که در آن ترکها در حال پیشرفت بودند، حرکت ترک ها متوقف شد و با برداشتن حفاظت کاتدی، ترک ها دو باره شروع به پیشرفت کردند. نقش تنش کششی در پاره کردن پوسته های محافظ، در حین شروع و رشد ترک بسیار مهم است.

خوردگی SCC فولاد کربنی در محیط آمونیاک مایع

از دهه ابتدای قرن بیستم، با افزایش نیاز به آمونیاک در صنایع کشاورزی و سپس در صنایع دیگر، تولید، نگهداری و حمل، آمونیاک مایع گسترش یافت. کشور آمریکا از جمله کشورهایی است که تزریق مستقیم آمونیاک، برای بهبود خواص خاک، در آن رواج داشت و دارد. از نیمه دوم ۱۹۲۰ گزارش هایی در آمریکا منتشر شد، که در بعضی مزارع، مخازن قابل حمل آمونیاک مایع ، منفجر شدند، که به مرگ تعدادی منجر گردید. به این ترتیب مطالعه برای روشن شدن علل حادثه به جریان افتاد. با نمونه برداری از مخازن آسیب دیده، مشخص شد که همه آنها دارای ترک های ناشی از خوردگی تنشی SCC بودند. در نتیجه تحقیق پیرامون سه عامل اصلی، یعنی، فولادهایی که مخازن با آن ساخته شده بودند، کیفیت آمونیاک مایع و دمایی که در آن حادثه رخ داد، متمرکز گشت. بیشترین مطالعه در سالهای بین ۱۹۶۰ تا ۸۰ صورت گرفت. خوردگی تنشی فولادهای کربنی در محیط آمونیاک مایع، در مخازن ذخیره تحت فشار ثابت Spherical Tanksو متحرک Nurse Tanks بیش از مخازن ذخیره کم فشار دو جداره که در دمای ۳۳c°- کار می کنند گزارش شده است.

از میان سه نوع مکانیزم خوردگی

- Active Path Dissolution,
- Hydrogen Embrittlement
- Film-Induced Cleavage

گرچه تمام مطالعات در این مورد همزبان نیستند. تحقیقات نشان داده که خوردگی تنشی فولاد کربنی در محیط آمونیاک عمدتا بصورت APD صورت می گیرد. در خوردگی تنشی فولادهای کربنی در محیط آمونیاکی هر دو نوع ترک بین و درون دانه ای مشاهده شده است. APD در فلزات فعالی صورت می گیرد که دارای Passive Layer هستند. Passive Layer فولاد کربنی، در محیط آمونیاک، وقتی تحت تنش کششی از قبل موجود یا بوجود آمده، قرار گیرد، دچار ترک کوچکی می گردد. این شیار کوچک فلز فعال بدون پوشش را در معرض خوردگی قرار می دهد. ترکیب عوامل، تنش و تشدید خوردگی در شیار ترک، ایجاد چاقوی الکتروشیمیایی می کند و فلز را می شکافد. شدت فعالیت Path Dissolution به سرعت خوردگی در راس شیار ترک بستگی دارد. در مطالعات انجام شده حدس زده شد که، سرعت رشد ترک در مخازن قابل حمل حدود ۱ میلیمتر در سال است.

چندین تئوری برای تبیین خوردگی تنشی آمونیاک وجود دارند. مدلی که مورد اقبال بیشتری قرار گرفته، مدل پاره شدن فیلم توسط وایلد است که بر اساس مطالعات الکتروشیمی تدوین شد. در این مدل فرض شده، که سطح فولاد در آمونیاک مایع به دو صورت سطح فعال بدون فیلم و Passive Layer وجود دارد. وقتی که تنش ها تا حدی بالا می روند که فلز در حالت Sleep Step پلاستیک شود، فیلم سطحی، پاره می شود. فیلم مذکور در شیار ترکها تشکیل نمی گردد، در این حالت زوج گالوانیکی Galvanic Couple بین دو قسمت تحت حفاظت فیلم و فلز بدون حفاظ ایجاد می گردد و Anodic Dissolution تا زمان تشکیل مجدد فیلم سطحی، رخ می دهد. در صورت وجود نیتروژن در محیط، نیتروژن با اکسیژن برای جذب شدن در سطح فلز رقابت می کند و وقتی که فیلم محافظ توسط تنش پاره می شود، حضور نیتروژن سبب می گردد که انحلال آندی به مدت بیشتری رخ دهد. به همین دلیل ترکیب اکسیژن- نیتروژن افزایش سرعت خوردگی و افزایش رشد ترک را تشدید می کند.

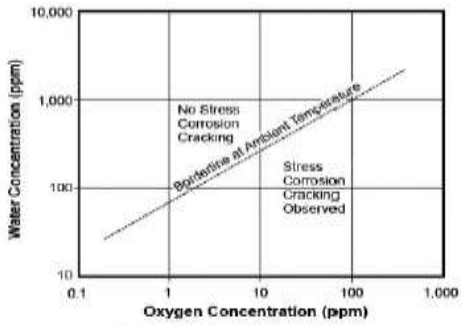


Figure 78. Graph. SSC susceptibility as a function of water and oxygen concentrations in anhydrous ammonia at 18° C (64.4° F). No liquid SSC has been observed above and to the left of the line drawn on the graph.

آب موجود در محیط نیز فیلمی سطحی بر اساس مولکول های قطبی می سازد، این فیلم نیز قادر نیست که در درون ترک ها تشکیل گردد و محدود به سطح است. فیلم آب، در قبال پاره شدن ناشی از تنش ها بسیار مقاوم است، به همین علت اضافه کردن آب همواره توصیه می شود. آب در عین حال به عنوان Inhibitor و پاک کننده اکسیژن عمل می کند، اما در طبقات بالای مخزن و محفظه بخار آمونیاک، اثر آب بشدت کاهش می یابد. بدون وجود اکسیژن، اصولا ترک رخ نمی دهد و در همه حالات وجود ترک ناشی از اکسیژن است. در غیاب آب حتی با میزان اکسیژن کمتر ازppm ۰/۵هم ترک رخ می دهد. بدترین حالت وقتی است که میزان اکسیژن در حدود ۳ تا۱۰ و آب کمتر از ۱۰۰ppm باشد. هایدرازین hydrazine در حد ۰/۲ درصد خواصی شبیه و کمی بهتر از آب دارد. اما استفاده از هیدرازین به علت ارزانی آب، توجیه اقتصادی ندارد و در عمل تعطیل شده است.

$$O_2 + N_2H_4 \longrightarrow 2\ H_2O + N_2$$

تاثیر دما بر SCC فولاد کربنی در محیط آمونیاک

دمای اتاق

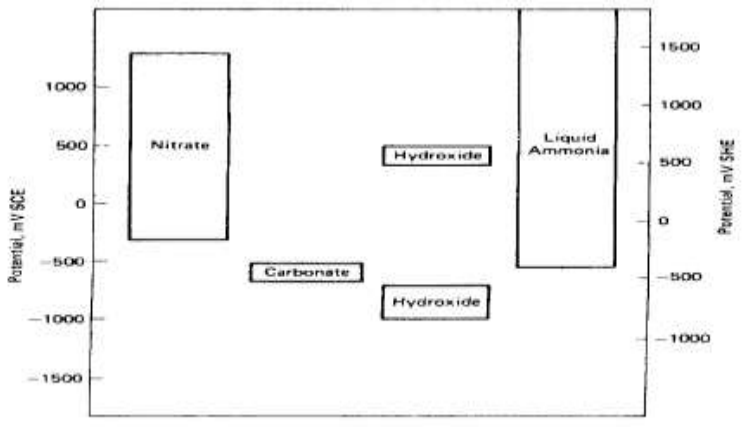
در دمای معمولی اگر آلودگی اکسیژنی در سیستم نباشد، SCC رخ نخواهد داد. اثر ناخالصی اکسیژن در فضای بالای مخزن که حاوی بخار آمونیاک است و آمونیاک در سطح فلز کندانس می شود، نسبت به محیط غرق در آمونیاک مایع، بسیار زیاد است. اگر میزان آب در این فضا کمتر از ۵۰۰ppm باشد، حتی با مقدار ناچیزی از اکسیژن (در حد ۰/۵ ppm) نیز، احتمال ایجاد ترک وجود دارد

دمای ۳۳c°-

اصولا در دمای پایین احتمال ایجاد ترک کمتر می شود. اگر میزان اکسیژن بین ۰/۵ تا ۱ و آب کمتر از ۱۰۰ ppm باشداحتمال ایجاد ترک های ریز, وجود دارد، در حالتی که میزان اکسیژن بین ۶-۱۰ و آب کمتر از ۱۰۰ ppm باشد ترک های بزرگتر رخ می دهد. بدترین حالت در این دما، مربوط به وقتی است که میزان اکسیژن بیش از ۱۰ و مقدار آب کمتر از ۵۰ppm شود.

فولادهای کربنی مورد استفاده در ساخت مخازن آمونیاک

فولادهایی که در ابتدا طبق استاندارد ASTM در ساخت مخازن متحرک آمونیاک مایع تحت فشار، بکار گرفته می شدند. بیش از همه عبارت بودند از A285 Gr C ، A515 Gr 70 ، A516 G r70 و A455 ، پس از مدتی مشخص شد که کمترین حادثه در مخازنی رخ داده است که از فولادهای ASTM A516 & A455 ساخته شده بودند. در نتیجه ساخت مخازن متحرک با فولادهای دیگر عملا متوقف شد.



Schematic diagram showing potential ranges over which SCC of carbon steels occurs in various solutions.

فولاد A455 اکنون بیشترین کاربرد را در ساخت مخازن دارد. این فولاد و A516 بسیار بهم شبیه هستند. فولاد کم کربن با حدود ۰٫۷۵درصد کربن نظیر A455 بیش از دیگر فولادها در ساخت مخازن ذخیره متحرک آمونیاک استفاده می شود و کربن کم آن سبب می شود که جزایر پرلیت در سطح وسیع تشکیل نشود، در این فولاد عمدتا مناطق پرلیتی- فریتی به وجود می آید که بیشترین مقاومت را نسبت به ترک به عنوان یک قاعده مشخص شده است که فولادهای با مقاومت کششی کمتر در فبال فولادهای با مقاومت بالاتر در برابر خوردگی تنشی آمونیاکی مقاوم ترند. در کدهای ساخت حداکثر تنش تسلیم ۴۸۰ مگاپاسکال برای فولادهای کربنی توصیه شده است. برخی از فولادهایی که بیشترین استفاده را در ساخت مخازن آمونیاک دارند در جدول زیر ملاحظه می شود.

Carbon Steel (Stressed)	A 517 Grade F
A 202B (Base metal and heat-affected zone)	A 285
A 212	Spring Steel (High in carbon)
ASME Case 1056 Steel	Line Pipe Steel API x 42*
A 204B	Line Pipe Steel API x 46*
4130	Line Pipe Steel API x 52*
4140	Line Pipe Steel API x 60*
A 515 Grade 70	9% Nickel Steel[7]
Si-Mn-Al Fine Grain (Denmark)	403 Stainless Steel (Rivets - soft condition)
T-1 (U. S. Steel Corporation)	

(Water was not present under these service or test conditions.)

بطور کلی فولاد دانه ریز نسبت به فولاد دانه درشت مقاومت بیشتری در مقابل خوردگی تنش در محیط آمونیاک بدون آب دارد و حساسیت به ترک با افزایش اکسیژن بیشتر و با افزایش آب کاهش می یابد. ترک خوردگی فولاد کربنی در آمونیاک مایع، هم در دمای ۳۳c°- و هم در دمای محیط می تواند اتفاق بیافتاد. اما در مورد ترک در دمای اتاق مطالعه بیشتری صورت گرفته است. شدت پیشروی ترک در دمای اتاق به مراتب قوی تر از دمای ۳۳c°- است. در اغلب مطالعات، مقایسه شدت دو دما، ، نسبت ۱ به ۳ را نشان می دهد و منحنی رشد ترک در هر دو دما با افزایش زمان شدت زیادی می گیرد. ترک خوردگی فولاد کربنی در فصل مشترک مایع و گاز و درفضای گازی بالای مخزن، معمولا شدید تر از محیط مایع رخ می دهد. . تخمین زده شده که اثر اکسیژن بر خوردگی در محیط گاز آمونیاک بخصوص در در سطحی که آمونیاک گازی کندانس می شود، تا ۶۰۰ برابر شدیدتر رخ می دهد. مطالعه روی حدود ۲۰ تانک نشان داد که کاهش کربن Decarburizations فولاد عاملی در خوردگی تنشی فولاد کربنی در محیط آمونیاک نیست. Decarburization فرایند رانش دیفوزیونی Diffusion در حالت جامد است که بخصوص کربن فولاد را در سطح کاهش می دهد وآن را ضعیف می کند.

TABLE II. General Corrosion Performance of Various Materials in Liquid Ammonia

Alloy Designation	Weight Change (mg/dm²) 1-month Exposure	8-month Exposure
Type 304 SS	0	+3.0
Type 316 SS	0	+3.4
Type 430 SS	0	+3.8
Type 410 SS	-7.52	+0.75
Al-3003	+7.52	+1.9
Al-5454	+12.8	+1.12
Titanium	0	+3.0
Monel	-1.5	-3.4
Inconel 600	-1.5	+2.6
Zinc	-47.0	-21.0
Iron	-2.25	-1.5
Carbon Steel	-3.76	-0.75
Hastelloy C	-1.13	+0.75
ASTM 517 Grade F Steel	-3.0	-0.75

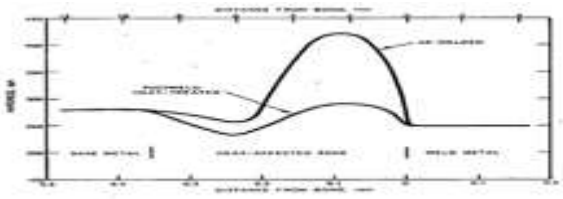
Note: + means weight gain, and - means weight loss. From Jones and Wilde.[76]

خوردگی فولادهای مختلف در محیط آمونیاک مایع

اثر جوشکاری بر SCC فولاد کربنی در محیط آمونیاک مایع

بطور کلی جوشکاری اثر نامناسبی بر SCC دارد. پس از جوشکاری، احتمال افزایش سختی، فلز جوش Weld Metal و ناحیه تحت تاثیر حرارت (HAZ) Heat Affected Zoon وجود دارد. مطالعات نشان میدهد که منطقه HAZ در جوش های ذوبی نسبت به فلز جوش دارای تنش پسماند و سختری بیشتری است. ترک ها در جوش و ناحیه تحت تاثیر حرارت سخت شده و دارای تنش پسماند،

تجمع می کنند. پیش گرمایی و تنش زدایی نقش زیادی در رفع سختی این نواحی دارد و از حساسیت به ترک می کاهد. توصیه می شود که تمام جوشهای اتصال Head به Shell و جوشهای طولی صد در صد پرتوگرافی شود. پس از تنش زدایی نیز توصیه می شود که جوشهایHead به Shell به ازای هر ۱/۵متر طول، حداقل ۱۵ سانتی متر، پرتوگرافی شود.



Typical Hardness Traverses in Weldments of ASTM A 517 Steel.

بازرسی

برنامه مداوم بازرسی، می تواند ترک ها را در مراحل اولیه شناسایی و از حوادث فاجعه بار جلوگیری کند. بازرسی چشمی و غیر مخرب مناسب، از سطح داخلی مخازن بهترین روش کشف ترک های احتمالی، حتی در مقیاس بسیار کوچک است. اما در عین حال بازررسی داخلی، خطر ورود اکسیزن به سیستم را افزایش می دهد. در برنامه بازرسی باید توجه خاصی به تکنیک های خروج هوا از مخزن در زمان شروع بهره برداری شود. بدلایل فوق بازرسی از خارج مخزن، گرچه از لحاظ اطمینان و دقت، قابل مقایسه به بازرسی داخلی نیست، اما اهمیت زیادی کسب کرده است. مناسبترین روش آزمایش غیر مخرب در تشخیص ترک عبارتند از بازرسی چشمی، روش پودرهای مغناطیسی، مایع نافذ فلورسانس و التراسونیک با پروب زاویه دار، برنامه متناوب و منظم بازرسی اهمیت دارد.

برنامه بازرسی مخازن

در فضای بالای مخزن و سطح کندانس

ترک رخ داده است؟

اگر بله، آیا این امکان وجود دارد که میزان آب سیستم را تا حد ppm ۲۰۰۰ افزایش داد؟

اگر آب تا میزان فوق افزوده شود، ترک جدیدی رخ نخواهد داد.

اگر امکان افزودن آب تا حد ppm۲۰۰۰ وجود ندارد، باید میزان اکیسژن را تا زیر ppm ۰/۵ پایین آورد.

اگر میزان اکسیژن به کمتر از ppm۰/۵کاهش یافته است، احتمال ایجاد ترک کم شده است.

اگر میزان اکسیژن بیش از حد فوق است، باید از فولادهای با مقاومت کمتر از۳۵۰ مگا پاسکال استفاده شود.

اگر استفاده از چنین فولادی مقدور نیست، حتی المقدور مخزن بصورت یک پارچه تنش زدایی گردد.

در صورتی که تنش زدایی یک پارچه مخزن مقدور نباشد، تمام درز جوشها بدون استثنا باید تنش-زدایی موضعی شوند. در چنین حالتی سنجش سختی فلز جوش و ناحیه تحت تاثیر حرارت HAZ الزامی است.

در صورت عدم امکان تنش زدایی برنامه دقیق بازرسی با آزمایش های غیر مخرب، حتما ضروری است

در دمای اتاق و درون آمونیاک مایع

میزان آب در محیط آمونیاک بالاتر از ۱۰۰ppm است؟ اگر بله، مشکلی نیست.

اگر نه، آیا میزان اکسیزن کم تر ازاست؟

اگر میزان اکسیژن کمتر از حد فوق است، احتمال رخ داد ترک پایین است.

در صورتیکه میزان اکسیژن را نتوان تا کمتر از ۳ppm پایین آورد، مخزن باید تنش زدایی شود.

اگر امکان تنش زدایی وجود ندارد، احتمال وقوع ترک زیاد است. مخزن باید با آزمایش های غیر مخرب، بازرسی شود.

در دمای ۳۳c°- و درون آمونیاک مایع

آیا مقاومت فولاداستفاده شده، کمتر از ۳۵۰ مگا پاسکال است؟ اگر بله، احتمال ترک برداشتن مخزن ناچیز است.

اگر مخزن از فولادی با مقاومت بیشتر ساخته شده است، احتمال وقوع ترک بالا است.

در صورت استفاده از فولاد با مقاومت ۳۵۰ مگا پاسکال، پیش گرمایی و تنش زدایی پس از جوشکاری انجام شده است؟

اگر بله، احتمال رخ دادن ترک بسیار کم است.

اگر نه احتمال ترک برداشتن بالا است. باید با آزمایش های غیر مخرب ترک های احتمالی را بررسی کرد.

راه حل هایی برای به حداقل رساندن احتمال وقوع ترک خوردگی تنشی در محیط آمونیاک مایع

۱ خارج کردن هوای درون مخزن با دمش Perge گازهای بی اثر، پس از باز شدن ورودی ها.

۲ افزودن حداقل ۰/۲ درصد وزنی آب به آمونیاک.

۳ استفاده از روش هایی که کندانس آمونیاک را به حداقل برساند. مانند پایین آوردن دمای آمونیاک، تا حدی که ممکن باشد.

۴ استفاده از عملیات حرارتی نرم کردن Anneling ، پس از جوشکاری و ساخت، میزان تنش های پسماند منطقه تحت تاثیر حرارت و فلز جوش را کم می کند، سختی را کاهش و انعطاف پذیری Ductility را افزایش می دهد.

۵ استفاده از فولاد با کمترین مقاومت کششی ممکن، احتمال ایجاد ترک را به حداقل می رساند.

۶ بازرسی دوره ای مرتب و طبق برنامه، بسیاری از ترک ها را در مرحله ابتدایی کشف می کند. الویت با بازرسی خارج از مخزن است. بهترین روش بازرسی غیر مخرب NDT ، بازرسی چشمی، بازرسی با پودر مغناطیسی، Liquied Flourescent Penetrant ، التراسونیک و Acoustic Emmision است.

منابع

۱. شیرآلات مورد استفاده در سیستمهای گاز مایع و آمونیاک بدون آب (بجز رهانه های اطمینان)، استاندارد ملی ایران شماره ۸۳۴۴، چاپ اول، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

1. *Ammonia Data Book*, IIar, May 2008.
2. "*Ammonia Stress Corrosion Cracking*", Report No: 98-3111, DNV.
3. API RP 571, *Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry*, 2011.
4. ASM Handbook, Vol(11), *Failure Analysis and Prevention*.
5. ASM Handbook, Vol (13A), *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection.*
6. ASM Handbook, Vol (13B), *Corrosion: Materials.*
7. ASM Handbook, Vol (13C), *Corrosion: Environments and Industries.*
8. Fontana, Mars. G, *Corrosion Engineering*, Third Edition, Macgraw-Hill Book Company, 1987.
9. *Guidance for Inspection of Atmospheric, Refrigerated Ammonia Storage Tanks*, European Fertilizer Manufacturer Association, 2008.
10. Loginow, A.W, *Stress Corrosion Cracking of Steel in Liquefied Ammonia Service* - U.S. Steel Corporation, Jan 1989.
11. Nyborg, Rolf. Lunde,Liv, *Stress Corrosion Cracking of Carbon Steels in Ammonia*, Dec 1989.
12. Ravagha, Nayak. Timbre. D.H, Venkat. Pattabathula, *The Safety and Integrity of Ammonia Storage Tanks*, nd.
13. Teel.R.B,*The Stress Corrosion Cracking of Steels in Ammonia- A Survey- With Consideration Given to OTEC Design*, ANL/OTEC-BCM, 2008.
14. Wilde, B. E, *Stress Corrosion Cracking of ASTM A517 Steel in Liquid Ammonia: Environmental Factors*, U. S. Steel Corporation.