

مطالعه موردی

بررسی علت نشستی های ایجاد شده در بدنه درایرهای شرکت پتروشیمی شهید تندگویان

علی حقیری^{۱*}، مهدی حیدر نژاد^۲

^۱ رئیس، ^۲ سرپرست خوردگی و حفاظت فلزات، اداره بازرسی فنی، پتروشیمی شهید تندگویان، بندر ماهشهر، ایران
* نویسنده مسئول: haghiri.a@stpc.ir

تاریخ ارسال : ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰

چکیده

در این پژوهش به بررسی علت به وجود آمدن ترک‌های خوردگی تنشی در بدنه درایرهای 2DR-1745 و DR-1402 مربوط به شرکت پتروشیمی شهید تندگویان واقع در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی بندر ماهشهر پرداخته شده است. این درایرها به عنوان خشک کننده پودر اسید ترفتالیک در واحدهای CTA-2 و CTA-1 می باشد. کیک مرطوب پس از عبور از تجهیزات RVF با رطوبت حدود ۱۴٪ و ۹۰ °C دمای به درایر وارد شده و در نهایت با رطوبت کمتر از ۱٪ و دمای حدود ۱۴۰ °C از آن خارج و به سیلوها ارسال می گردد. پس از اعلام واحد بهره‌برداری مبنی بر مشاهده نشی اسید از زیر عایق بخش ابتدایی درایر مقرر شد که در اولین فرصت، این موضوع مورد بررسی قرار گیرد. لذا پس از توقف واحد و پس از شست و شوی درایر عایق اطراف آن باز گردید و مشخص شد که دیواره تجهیز از چند نقطه ترک برداشته و نشی رو به بیرون پیدا کرده است. در این پژوهش به بررسی علت ایجاد نشی و ترک در بدنه این تجهیزات پرداخته شده است.

کلیدواژه: ترک خوردگی تنشی، تنش باقیمانده، استنلس استیل آستنیتی، یون برم.

Case Study

The Investigation of leakage on the shell of Dryers Shahid Tondguyan Petrochemical Company (STPC)

A. Haghiri ^{1*}, M. Heidarnejad ²

¹ Head, ² Supervisor of Corrosion and Protection of Metals, Technical Inspection Department, Shahid Tandguyan Petrochemical, Bandar Mahshahr, Iran

* **Corresponding Author:** haghiri.a@stpc.ir

Submission: 2022, 03, 11 **Acceptance:** 2022, 06, 10

Abstract

This research has been to investigate the cause of the stress corrosion cracking on dryer equipment (2DR-1745 & DR-1402) in Shahid Tondguyan Petrochemical Company (STPC). This dryer is as a drying powder Terphetalic acid in CTA2 and CTA1 units. After passing through RVF equipment wet cake moisture content of about 14% and temperature of 90°C changed in to dry cake with a moisture content of less than 0.1% and the final temperature of about 140°C and sent out Final Silos. After declaration of the operation department concerning the observation of acid leakage under the primary insulation was decided that at the first opportunity, this issue must be investigated. So, after the shutdown of unit and after washing the dryer wall, insulation around wall opened and it was found crack and leakage from some points.

Keywords: Stress Corrosion cracking, Residual stress, Austenitic stainless steel, Br⁻ ion.

۱- مقدمه

خوردگی را به روش های مختلف طبقه بندی نموده اند ولی عمومی ترین آن ها طبقه بندی بر اساس ظاهر و شکل فلز خورده شده می باشد. به این روش با مشاهده فلز خورده شده با چشم غیر مسلح به راحتی می توان نوع خوردگی آن را مشخص نمود. در بین انواع خوردگی می توان نه نوع منحصر به فرد را پیدا نمود ولی تمام آن ها کم و بیش وجه مشابهی دارند که به شرح ذیل می باشند: [1]

الف - خوردگی یکنواخت^۱

ب - خوردگی گالوانیک یا دو فلزی^۲

ج - خوردگی شیاری^۳

د - حفره دار شدن^۴

ه - خوردگی بین دانه ای^۵

و - جدایش انتخابی^۶

ز - خوردگی سایشی^۷

ح - خوردگی توأم با تنش^۸

ط - خسارت هیدروژنی^۹

در ادامه به توضیح مورد "ح"؛ خوردگی توأم با تنش که نقش اساسی در ایجاد ترک در پژوهش حاضر را دارد پرداخته می شود.

۱-۱ - خوردگی توأم با تنش

در نتیجه اعمال همزمان تنش های کششی و محیط خورنده روی فلز که ایجاد ترک های پراکنده می کند و در نهایت باعث خوردگی آن ها می گردد توأم با تنش یا خوردگی تنش^{۱۰} ایجاد می شود.

بنابراین شکل ترک ها CRACK MORPHOLOG نقش اساسی را در این نوع خوردگی دارند [2].

در خوردگی تنش دو نوع ترک کلی دیده می شود:

۱-۱-۱ - ترک های بین دانه ای INTERGRANULAR

این نوع ترک ها در طور مرز دانه ها حرکت می کنند مانند خوردگی تنش بین دانه ای برنج.

۱-۲ - ترک های میان دانه ای TANSGRANULAR

این نوع ترک ها از داخل دانه ها عبور می کنند مانند: خوردگی تنش میان دانه ای در فولاد زنگ نزن. غالباً در یک آلیاژ، هر دو نوع ترک ممکن است به وجود بیایند. نوع ترک بستگی به محیط خورنده و ساختمان فلز دارد. ترک خوردن معمولاً در جهت عمود بر تنش اعمال شده اتفاق می افتد و بسته به ساختمان فلز و ترکیب شیمیایی محیط خورنده شکل ترک ها می تواند به صورت چند شاخه ای و یا شاخه شاخه باشند. [3]

۱-۱-۳ - عوامل مؤثر در خوردگی تنش

الف - اثرات تنش

افزایش تنش، زمان شکست را کاهش می دهد و برای هر آلیاژ تنش وجود دارد که در کمتر از آن شکست اتفاق نخواهد افتاد. حد تنش مجاز برای مصونیت از نظر خوردگی تنش بستگی به درجه حرارت، ترکیب شیمیایی فلز و ترکیب شیمیایی محیط دارد. به طور کلی حد تنش مجاز بین ۱۰٪ تا ۷۰٪ درصد تنش تسلیم است [4].

ب - زمان شکست

زمان در خوردگی تنش پارامتر مهمی است، زیرا خسارت فیزیکی مهمی که در خوردگی تنش اتفاق می افتد در مراحل نهائی صورت می گیرد. با نفوذ ترک ها به داخل فلز سطح مقطع مؤثر فلز کم می شود و در نتیجه تنش افزایش می یابد و نهایتاً شکست نهائی، مکانیکی خواهد بود [4].

ج - فاکتورهای محیطی

در حال حاضر الگوی کلی برای محیط هائی که در آلیاژهای مختلف باعث ایجاد SCC می شوند وجود ندارد. خوردگی تنش در بعضی محیط های آبی، نمک های مذاب، فلزات مذاب، مایع معدنی فاقد آب اتفاق می افتد. وجود اکسیدکننده ها غالباً اثر زیادی بر تمایل به ترک خوردن دارد، [5].

محیط های مستعد برای ایجاد SCC در چند آلیاژ برای نمونه در جدول شماره ۱ آورده شده است.

- 1 - Uniform Corrosion
- 2 - Galvanic or two Metal Corrosion
- 3 - Crevice Corrosion
- 4 - Pitting
- 5 - Inter Granular Corrosion
- 6 - Selective Leaching
- 7 - Erosion Corrosion
- 8 - Stress Corrosion
- 9 - Hydrogen Damage
- 10 - Stress Corrosion Cracking

جدول شماره ۱ - متریال و محیط های مستعد برای ایجاد SCC

Material	Environments
Aluminum alloys	Chlorides, moist air
Magnesium alloys	Chloride-chromate mixtures, moist air Nitric acid, fluorides. Sodium hydroxide
Copper alloys	Ammonia, moist air, moist sulfur dioxide
Carbon steels	Nitrates, hydroxides, carbonates Anhydrous ammonia
Austenitic steels	Chlorides, sulfur acid
High strength steels	Moist air, water, chlorides, sulfates, sulfides
Nickel alloys	Hydroxides
Titanium alloys	Halides, methanol

خوردگی در اثر SCC بوده است نه در اثر تردی هیدروژنی،

زیرا در غیر این صورت حالت عکس دارد.

ه - اضافه کردن ممانعت کننده ها به سیستم در صورت امکان در محیط های خورنده متوسط، فسفات ها و ممانعت کننده های آلی و معدنی دیگر به طور موفقیت آمیزی SCC را کاهش می دهند.

و - ساچمه زنی (شات بلاست کردن)

۲- روش تحقیق

تجهیزات درایر 2DR-1745 و DR-1402 به عنوان خشک کننده پودر اسید ترفتالیک در واحدهای CTA-2 و CTA1 می باشد. کیک مرطوب پس از عبور از RVF ها با رطوبت حدود ۱۴٪ و دمای °C ۹۰۰ به درایر وارد شده و در نهایت با رطوبت کمتر از ۰/۱٪ و دمای حدود °C ۱۴۰۰ از آن خارج و به سیلوها ارسال می گردد.

مشخصات تجهیز درایر در جدول شماره ۲ و مشخصات سیال ورودی به تجهیز در حالت نرمال در جدول شماره ۳ آمده است.

د - فاکتورهای متالورژیکی

فاکتورهای مؤثر در خوردگی تنش عبارتند از:

ترکیب شیمیائی متوسط، طرز قرار گرفتن کریستال ها (دانه ها)، ترکیب و توزیع رسوبات در داخل فلز، واکنش ناهنجاری ها با یکدیگر و میزان پیشروی حالت های فازی در آلیاژها. این فاکتورها به علاوه ترکیب شیمیائی محیط و تنش اعمال شده، زمان شکست را تعیین می کنند [6].

۱-۱-۴- روش های جلوگیری از خوردگی تنش [7]

الف - کم کردن تنش تا زیر حد مجاز مثلاً با کم کردن باروی فلز یا ضخیم تر کردن قطعه

ب - حذف اجزا و ناخالصی های مضر محیط مانند دگازه کردن، دهینداله کردن یا تقطیر نمودن.

ج - استفاده از آلیاژ مناسب مثلاً استفاده از اینکونل که دارای مقدار نیکل بیشتر می باشد به جای فولاد زنگ نزن

د - کاربرد حفاظت کاتدی

این مورد باید مواقعی به کار برده شود که مطمئن باشیم

جدول شماره ۲- مشخصات تجهیز درایر

Item No.	2DR-1745		Remark
Service	CTA-2 Dryer		
Product Capacity	51.0		Ton/h
	Shell	Tube	
Design Temp	150	175	°C
Design Pressure	1000/- 500mmH ₂ O	8	Kgf/cm ² G
Sell Size	3100 ID * 17500 L		Mm
Material	316L SS	316L SS	
Tube No	-	90	
Insulation Thickness	(HWB) 55	(HWC) 70	mm

جدول شماره ۳- مشخصات سیال ورودی به تجهیز در حالت نرمال

Component	TPAS	H ₂ O	Acetic Acid	4-CBA	Co	Mn	Br
Concentration wt%	84.7	1.3	13.7	0.2	<0.001	<0.001	<0.001

۴- بحث و تحلیل نتایج

اثر همزمان خوردگی و تنش، خوردگی تنش است که Stress Corrosion Cracking و به اختصار SCC نام دارد. این نوع خوردگی بیشتر در جاهایی که تنش باقیمانده و همچنین محیط خورنده دارای یون های کلر و یا برم وجود دارد، ظاهر می شود. تنش های باقیمانده نیز ناشی از هر گونه عملیات جوشکاری، نورد، کار سرد و کار مکانیکی می باشد. عواملی همچون تنش باقیمانده و محیط خورنده و آلیاژ استنلس استیل آستنیتی حساس به دو عامل قبل باعث ایجاد خوردگی تنش می گردند [10][11].

ترک حاصل از SCC به صورت شاخه ای و همان گونه که در تصویر شماره ۱ نشان داده شده می باشد. ترک های ایجاد شده در دیواره تجهیز درایر نیز در تصاویر شماره ۳ و ۴ مشخص می باشد. با مقایسه شکل این ترک ها با نمونه ترک استاندارد (تصویر شماره ۱)، SCC بودن این ترک ها مشخص می گردد.

۳- آزمایشات

۳-۱- آزمایش سختی سنجی

از بدنه تجهیز سختی سنجی صورت گرفت تا تغییرات در سختی ناشی از کار سرد و یا جوشکاری مورد بررسی قرار گیرد. این آزمایش نشان داد که در برخی نقاط سختی نسبت به سختی استنلس استیل آستنیتی 316 که بایستی در حالت آنیل کامل 95HRB^۱ باشد تغییر یافته است.

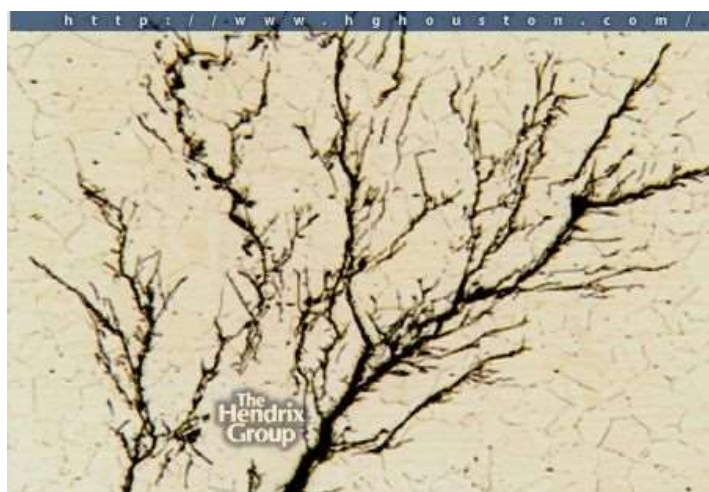
سختی سنجی توسط دستگاه Equotip3 ساخت شرکت Proceq و با استفاده از پروب ID50-001-0203 انجام گردید.

۳-۲- آزمایش مواد نفوذ کننده^۲

این آزمایش با توجه به ماهیت غیر مخرب بودن و در دسترس بودن جهت یافتن ترک و نشستی در صنایع کاربرد فراوان دارد. این آزمایش با استفاده از اسپری های شرکت Marker ساخت آلمان انجام گردید.

جهت انجام آزمایش از اسپری MR85 به عنوان تمیز کننده^۳ اسپری MR68C به عنوان مایع نفوذ کننده^۴ و اسپری MR70 به عنوان مایع ظاهر کننده^۵ استفاده گردید [8][9].

1 - HRB = Rockwell B scale
2 - Liquid Penetrate Test (LPT)
3 - Solvent Remover
4 - Penetrant
5 - Developer



شکل ۱- ترک‌های خوردگی تنشی ایجاد شده در تیوب مبدل به دلیل وجود 400PPM کلراید در آب کولینگ [2]



شکل ۳- ترک‌های بدنه پس از انجام آزمایش مواد نفوذ کننده - نمای نزدیک نفوذ کننده



شکل ۲- ترک‌های بدنه پس از انجام آزمایش مواد



شکل ۴- ترک‌های بدنه پس از انجام آزمایش مواد نفوذ

به طور کلی چهار عامل باعث ایجاد SCC گردیده است:

۱- آلیاژ استنلس استیل آستینیتی 316

۲- وجود تنش باقیمانده حاصل از نورد حین ساخت

۳- حضور یون Br^-

۴- حضور الکترولیت

لازم به ذکر است که SCC عمدتاً در دمایی بین ۶۰ تا ۱۵۰

درجه سانتی گراد اتفاق می افتد [12][13].

در مورد اخیر با توجه به اینکه از عوامل بالا تنها حضور یون برم قابل کنترل می باشد؛ بایستی شرایط فرآیندی به گونه ای کنترل گردد که از حضور این یون در تجهیزات دارای متریال استنلس استیل آستینیتی و در دمای کاری ۶۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد جلوگیری گردد.

تمامی نشستی ها و ترک ها رفع گردیدند و با نصب پد بر روی محل های جوشکاری شده (شکل ۵) قابلیت اطمینان این تجهیز بهبود یافت و در سرویس قرار گرفت.



شکل ۵- محل نشستی و ترک روی بدنه، جوشکاری و نصب پد

نتیجه گیری

ترک های ایجاد شده در بدنه این تجهیز از نوع SCC می باشند و برای جلوگیری از ایجاد خوردگی تنشی، علاوه بر اصلاح محل های دارای نشستی با تعویض ورق (طبق دستورالعمل های بازرسی فنی)؛ بایستی به نکات ذیل دقت گردد:

الف - جلوگیری از توقف های مکرر واحد به دلایل مختلف که منجر به ایجاد تنش حرارتی در تجهیزات می گردد.

ب - پایش منظم آنالیز سیال ورودی مطابق دستورالعمل های فرآیندی.

ج - کنترل دمای Carrier Gas

د - اصلاح عملکرد نامناسب Shower ها و Demister pad قسمت بالای تاور در جذب مناسب رطوبت از گاز حامل.

ه - استفاده از متریال مناسب با توجه به محیط خورنده (در صورت امکان عدم استفاده از استنلس استیل های آستینیتی حساس به SCC)

و- استفاده از پوشش سطحی مناسب

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری دادند تقدیر و تشکر می‌کنم.
ضمناً از مدیریت ارشد شرکت پتروشیمی شهید تندگویان تشکر می‌کنیم، که با حمایت های خود از کمیته خوردگی مجتمع ما را جهت تهیه مقاله ترغیب نمودند.

مراجع

- [1] M.G. Fontana, N.D. Green, Corrosion Engineering, McGraw-Hill, New York, 1978.
- [2] ASM: American Society of Metals. "ASM Metals Handbook of Corrosion", In: Stress-corrosion cracking. Materials Park, OH: ASM International Vol. 13, 2002, Pp. 828-860.
- [3] S. Zhou, A. Willetts, A. Turnbull, Stress corrosion cracking of 316S11 stainless steel in acetic acid solution, in: Proceedings of Corrosion Paper No. 02440, 2002, NACE, Houston, 2002.
- [4] R.W. Hertzberg, "Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials", John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [5] D.D. Macdonald, M. Urquidi-Macdonald, "Modeling of the Electrochemistry of Stress Corrosion Cracks in Sensitized Type 304SS in Boiling Water Reactors". In: Proc. International Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors, 4, NACE, Jekyll Island, Georgia, Aug. 6-10, Pp. 1-11, (1989).
- [6] S. Wang, Y. Takeda, K. Sakaguchi, T. Shoji. "The Initiation of Environmentally Assisted Cracking in BWR High Temperature Water", In: Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power System-Water Reactors -Edited by T.R. Allen, P.J. King, and L. Nelson TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2005, Pp. 49-53.
- [7] O.F. Aly, M. Mattar Neto, M.M.A.M. Schwartzman, "A Methodology for Modeling Stress Corrosion Cracking with an Example", Proceedings... COBEM-Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 21, ABCM: Natal, 2011, 10p (in press)
- [8] ASME V, Nondestructive Examination, Article 6.
- [9] SNT-TC-1A, Recommended Practice for Nondestructive Testing Personnel.
- [10] P. McNlyre, C. Younes, S.W. Chan, (1996), Synergistic effect of impurities and sensitization on IG corrosion and SCC in type 316H stainless steel, British Corrosion Journal, 31 (12), Pp 133-137.
- [11] S. Chechirlian, H. Mazille, C. Sinicki, Corrosion behaviour of austenitic stainless steel in concentrated acetic acid solutions—role of dissolved oxygen and molybdenum, in: Int. Corrosion Congress, Florence, vol. 1, 1990, Association Italiana de Metellurgia, Pp. 317.
- [12] R.C. Newman, Corrosion Science 25, 1985.
- [13] R.W. Staehle, A.J. Forlty, D. Van Rooyan, (1969), Fundamental Aspects of Stress Corrosion Cracking, Houston, TX, NACE, 46.