



۱-۶) اثر ضریب انبساط حرارتی^۱ در ترک خوردن خستگی در مخازن فولادهای زنگ نزن:

Effect of CTE on Fatigue Cracking of Stainless Steel Vessels

مخازن راکتور هیدرید^۲ جهت تولید هیدرید لیتیوم^۳ در یک فرآیند واکنش گرما زا مورد استفاده قرار می گیرد. در طی بازرسی چشمی بعضی از این مخازن، ترکهای محیطی در امتداد قسمت زیرین مخزن مشاهده گردید. یکی از مخازن ترک خورده در شکل ۱-۶ نمایش داده شده است.



شکل (۱-۶): مخزن هیدرید لیتیوم [38]

تفسیر خصوصیات مخازن مورد بحث در اوایل دهه ۹۰ انجام شده است. یک بررسی از تاریخچه فرآیند معلوم کرد که پس از پذیرش کارخانه، ترکی در ناحیه جوش داده شده یکی از مخازن فولاد زنگ نزن نوع 309s وجود دارد. مخزن ترک خورده با استفاده از ماشینکاری فلز جوش اولیه مورد تعمیر قرار گرفته و از بیرون با سیم پر کننده INCONEL 617® مجدداً جوشکاری شد،

¹ - CTE-Coefficient of Thermal Expansion

² - Hydride Reactor Vessels

³ - Lithium Hydride

و داخل آن با سیم فولاد زنگ نزن ER-Type 309 LT لایه نشانی^۱ شد. فرآیند حرارت دهی سیکلی^۲ پس از آن و انجام آزمایش رادیوگرافی^۳ از مخزن تعمیر شده و همچنین از مخازن دیگری که به طریق مشابه تعمیر شده بودند ترکی را نشان نداد [38].

تاریخچه مختصری از کارکرد حیات این مخازن و نتایج بازرسی در جدول ۶-۱ آورده شده است. نمونه ای از سیکل عملیات حرارتی شامل افزایش آهسته دما تا حدود دمای 700°C سپس نگهداری برای چند ساعت و خنک کردن بوسیله هوای پر فشار می باشد [38].

جدول (۶-۱): تاریخچه مخازن و نتایج بازرسی چشمی [38]

Vessel Number	Number of Thermal Cycles*	Estimated Hr > 425°C	Inspection Results	Results
1	44	821	4 intermittent cracks < 5 cm long	Rejected
2	33	612	One crack ~ 10 cm long on bottom outside weld	Rejected
3	49	916	One continuous crack on bottom weld	Rejected
4	41	436	One crack on bottom outside weld	Rejected
5	24	433	5 crack-like areas on bottom outside weld	Rejected
6	44	501	6 cracks on bottom outside weld	Rejected
7	45	752	Numerous linear cracks at edge of weld on bottom outside weld	Rejected

* Includes experimental and operational runs

بیشتر ترکها در راستای جوشهای محیطی در پایین مخازن تشخیص داده شده اند. تعدادی از مقاطع دارای ترکهایی در کنار جوش های محیطی بود. شبیه آنچه که در شکل ۶-۲ نمایش داده شده است. دو دیواره مخزن برای آنالیز عیب برش داده شد [38].

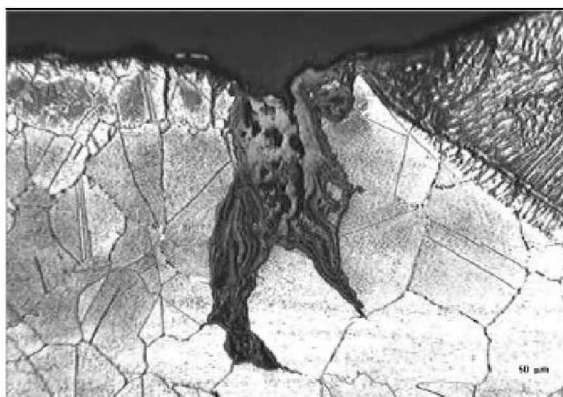


شکل (۶-۲): ترکهایی در کنار جوش در پایین مخزن [38]

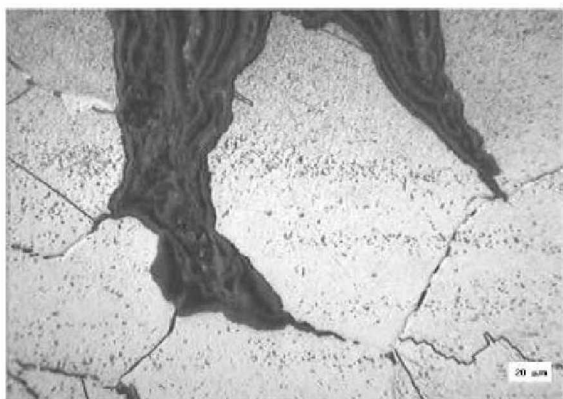
- ¹ - Buttering
- ² - Subsequent Thermal Cycling
- ³ - Radiography Test

۱-۱-۶) بررسی ریز ساختار: Examination of Microstructures

سطح مقطع دو مخزن ترک خورده برای آزمایش متالوگرافی آماده سازی شد تا وسعت ترک خوردن تعیین شود و نیز ریز ساختار جوش و بدنه مورد بررسی قرار گیرد. مقاطع عرضی نواحی ترک خورده مانده، سپس پولیش شده، و در مخلوط ۵۰٪ اسید نیتریک - ۵۰٪ آب مورد اچ قرار گرفت همچنین ریزساختار با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ و عکسبرداری بازگشت الکترون^۲ مورد بررسی قرار گرفت. توانایی متفرق کننده پرتو^۳ نیز جهت تعیین عناصر فلزی مورد استفاده قرار گرفت. ترک در مخزن شماره ۶ در شکل ۶-۳ نمایش داده شده است. عمق ترک نشان داده شده در شکل ۶-۳ تقریباً $300\mu m$ است و ریز ساختار پدیدار شده مشابه با فولاد زنگ نزن نوع 309 می باشد. ریز ساختار حاصله به دلیل حضور رسوبات بسیار در مرز دانه ها اندکی حساس شده است. همچنانکه در شکل ۶-۴ نمایش داده شده است [38].



شکل (۶-۳): ناحیه ترک خورده در مخزن شماره ۶
[38]



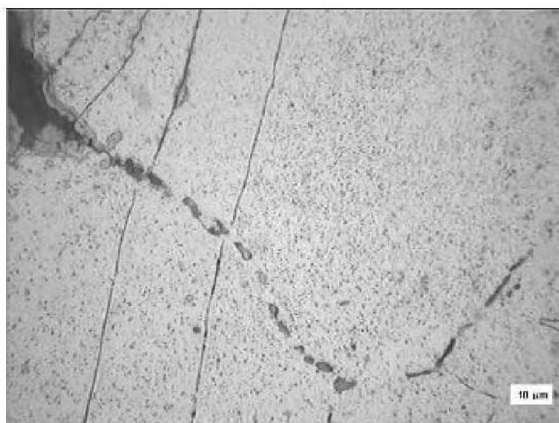
شکل (۶-۴): رشد بین دانه ای و حضور رسوبات
میله مانند در طول مرز دانه ها [38]

- 1 - SEMI-Scanning Electron Microscope
- 2 - Backscattered Electron Imaging
- 3 - EDX-Energy Dispersive X ray

یکی از نواحی ترک خورده مخزن شماره ۷ در شکل ۶-۵ نشان داده شده است. اندازه بزرگترین ترک تقریباً $500\mu m$ است و نشانه هایی از حساس شدن بوسیله رسوبات مرزدانه ای (که در شکل ۶-۶ نشان داده شده اند) قابل مشاهده است. ترکی با طول تقریبی 0.3 cm در ورق پایه مشاهده شد. همچنین مقطعی از جوش و فلز پایه جهت مقایسه فلز پرکننده و فلز پایه بریده شدند. آنالیزهای شیمیایی حاکی از آن است که فلز پرکننده آلیاژی با پایه نیکل مشابه با INCONEL 617® و یک متریال زیرلایه، مشابه فولاد زنگ نزن نوع 309 باشد، آنچنانکه در جدول ۶-۲ نشان داده شده است [38].



شکل (۶-۵): ناحیه ترک خورده در مخزن شماره ۷
[38]

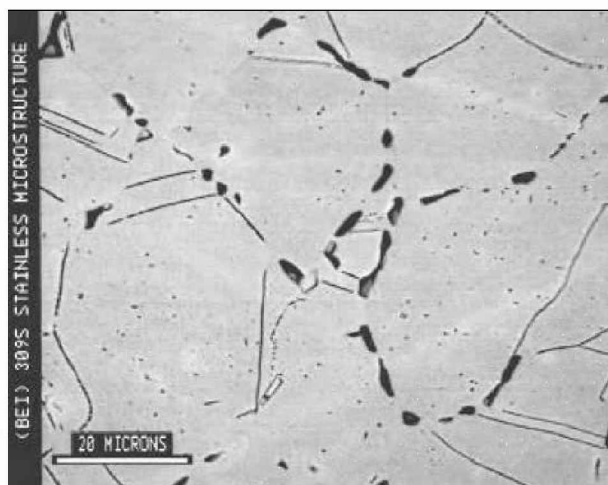


شکل (۶-۶): نوک ترک نمایش داده شده در
شکل (۶-۵) که نشان دهنده تشکیل رسوبات زیادی
در طول مرز دانه ها است
[38]

جدول (۶-۲): ترکیبات شیمیایی [38]

Material	Cr	Si	C	Base
Type 309S	22-24	0.75	0.08	Fe
Ni Alloy	22	0.5	0.07	Ni

رسوبات غنی از کرم مرزدانه ای ، (که در شکل ۶-۷ نشان داده شده است) نزدیک به ترک مشاهده شده و بوسیله توانایی متفرق کننده پرتو¹X تشخیص داده شدند . همچنین با استفاده از میکروسکوپ الکترونی به وجود کربن در رسوبات مرزدانه ها پی برده شد [38].



شکل (۶-۷): مقطع نزدیک ترک که نشان دهنده رسوبات غنی از کرم و کربن در نوع 309S می باشد

[38]

به نظرمی آید که فلز پایه با حضور کار بیدهای غنی از کرم اندکی حساس شده باشد و ترک خوردن در راستای تعدادی از این مرزدانه ها در هر کجا که کاربیدهای میله ای شکل در یک ردیف قرار گرفته باشند پدیدار می شود . اکسید در طول سطح و در داخل دهانه ترک حضور دارد ، بخصوص در ترکهای بزرگتر یا بهتر . در چنین حالتی که حساس شدن ، علت اولیه عیب می باشد ، نواحی تهی شده از کرم در طول مرزدانه ها وجود دارد . ترک خوردن ، شاخه مانند است و یک عنصر خورنده حضور دارد [38].

بر خلاف حضور اکسید معمولی ، حساس شدگی اندک فلز پایه و فقدان حضور عنصر خورنده ، به نظر نمی رسد که به اندازه کافی مهم باشد که علت اولیه ترک خوردن دانسته شود . در صورتیکه این شرایط امکان دارد در جواهر زنی و یا گسترش ترک مشارکت داشته باشد . به نظر می رسد که علت اولیه ترک خوردن بوسیله تمرکز تنشهای سیکلی در فلز پایه مجاور جوش باشد . بر طبق آزمایشات ، ضریب انبساط حرارتی (CTE) فلز پرکننده (INCONEL 617®)

¹ - EDX-Energy Dispersive X ray

$14/8 \mu m/m/^{\circ}C$ است. در صورتیکه ضریب انبساط حرارتی برای فلز پایه (فولاد زنگ نزن نوع 309S) از دمای اتاق تا $700^{\circ}C$ ، $20/7 \mu m/m/^{\circ}C$ می باشد. اختلاف ضریب انبساط حرارتی بین دو فلز، $5/9 \mu m/m/^{\circ}C$ می باشد. آنالیز کشسان خطی^۱ تنشهای سطح جوش نشان داد که ماکزیمم تنش، 83000 psi (572 MPa) است، که از استحکام کششی و تسلیم فولاد زنگ نزن بدنه در دمای $700^{\circ}C$ تجاوز می کند [38].

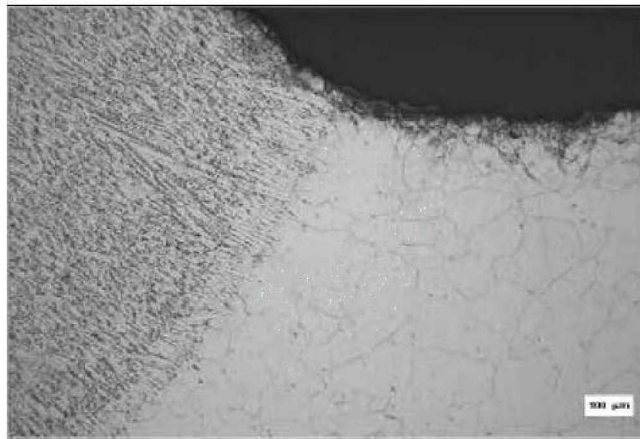
در طی بررسی این مخازن ترک خورده، گزارش شد که قبلاً مخازنی با طراحی متفاوت برای کاربردهای مشابه، رضایتبخش بوده است. انتهای مخازن مذکور خمیده شده بوده و گمان می شد که فلز جوش پرکننده، فولاد زنگ نزن نوع 309 باشد. براساس تعدادی از اسناد قدیمی، ماده مورد عملیات آنیل حلال سازی و کوئنچ قرار گرفته است، این عمل برای کاهش حساسیت فولادهای زنگ نزن مورد استفاده قرار می گیرد. مقطعی از یکی از مخازن ته خمیده جهت تعیین اینکه فلز پرکننده و پایه براستی فولاد زنگ نزن نوع 309 است مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان کربن بیشتر از حداکثر $0/08\%$ درصد وزنی مشخص شده برای فولاد زنگ نزن نوع 309 بوده است. با این وجود نشانه ای از ترک در آن یافت نشد. این به نظر می رسد که ترک مشاهده شده در مخازن با مکانیزم خستگی خزشی^۲ همراه بوده است، با اینحال نقش کربن در آلیاژ برای طولانی شدن دوره زمانی در دماهای بالا یک فاکتور مهم محسوب می شود. کاهش کربن محلول در انواع کم کربن (فولاد زنگ نزن نوع 304L و 316L) و انواع پایدار شده (فولاد زنگ نزن نوع 347 و 321) به کاهش استحکام خزشی و استحکام شکستگی خزشی منتج می شود [39]. هنگامیکه مدت زمان نگهداری در دمای بالا زیاد باشد، اثر داکتیلیتی شکست^۳ مشخص تر می شود. پایین آمدن داکتیلیتی شکست، استحکام خستگی خزشی را زیاد می کند، اما با افزوده شدن کربن، احتمال حساسیت بیشتر، افزایش می یابد. علاوه بر این، بر طبق ASME B& VP، محتوای کربن لازم برای فولاد زنگ نزن نوع 309 برای استفاده در این دماها حداکثر $0/04\%$ درصد وزنی و حداکثر $0/08\%$ درصد وزنی می باشد. در نتیجه به استفاده از مخزنی با محتوای کربن بیشتر توجهی نشد. مقطعی از مخزن ته خمیده دیگر برای ترکها و ریزساختار مورد آزمایش قرار گرفت. و آنالیزهای شیمیایی برای بررسی فلز پرکننده انجام شد. در این مقطع ترکی وجود نداشت. ریز ساختاری که در شکل ۸-۶ نشان داده شده است، عادی به نظر آمد، و فلز پرکننده و فلز پایه فولاد زنگ نزن نوع 309 تشخیص داده شدند. درحقیقت،

¹ - Linear Elastic Analysis

² - Creep Fatigue

³ - Rupture Ductility

ریز ساختار شواهد کمی از حساس شدن نشان داد، که نسبتاً حیرت آور بود، چون اکثر منابع و مراجع دلالت می کنند که فولاد های زنگ نزن آستینیتی، همچون فولادزنگ نزن نوع 309، هنگامیکه در محدوده دمایی 480°C تا 815°C قرار گیرند مستعد به خوردگی بین دانه ای می شوند. این شرایط به طور کلی در جوشکاری یا شرایط کاری طولانی اتفاق می افتد [40].



شکل (۸-۶): ناحیه جوش داده شده مخزن انگور چینی با ته خمیده که شواهد کمی از حساس شدن نشان داد و عاری از ترک بود [38]

نگرانی دیگر در معرض قرار گرفتن طولانی مدت محدوده دمایی 560°C تا 990°C تشکیل فازهای سیگما می باشد. با وجود این، هیچ یک از این شرایط در مخازن قدیمتر شایع نشده است. ولو اینکه بارها فولاد های زنگ نزن پایدار شده برای کار در این محدوده های دمایی توصیه شده اند [41]، تجربه سالهای عملکرد مخازن قدیمتر دلالت می کند که طراحی و انتخاب مواد برای مخازن قدیمتر رضایتبخش بوده است. با در نظر گرفتن این، یک راه حل کوتاه مدت برای تعمیر مخازن و ادامه جریان عملیات بوسیله ترکیب کردن قسمتهایی از مخازن ته خمیده با قسمتهای ترک نخورده از مخازن جاری به کار گرفته شد. یکی از تفاوت های اندک در لوازم فرآیندها مابین فرآیندهای جاری و فرآیندهای قدیمی خنک کردن با هوای پرفشار است که به فرآیندهای جاری اضافه شده تا زمان چرخه را کاهش داده و سرعت تولید را بالا ببرد. افزودن هوای پرفشار ممکن است عملاً کرنش را در نواحی جوش داده زیاد کرده و حیطه عمل تنش را افزایش دهد. به جهت اصلاح محدودیت ارتفاعی و مشکل انتخاب فرایند در کوره جدید و فضای انجام فرآیند، ته مخزن از یک ته خمیده به یک ته تخت تغییر داده شد [38].

Summary and Conclusions

۶-۱-۲) خلاصه و نتیجه :

علت اولیه ترک خوردن ، وارد شدن تنشهای بالا در سطح جوش در طول سیکل حرارتی در مخزن (فعل وانفعال خستگی خزشی) تشخیص داده شد . تنشهای بالا ناشی از عدم انطباق ضریب انبساط حرارتی فلز پرکننده (nickel-based INCONEL 617®) و بدنه (فولاد زنگ نزن نوع 309 S) و طراحی اتصال است . تنشها در طی حرارت دهی پیوسته دردمای کاری (منبسط شدن) و خنک سازی با هوای پر فشار (منقبض شدن) مخزن در طی هر سیکل عملیاتی تحمل شدند . ولو اینکه بدنه فولاد زنگ نزن شواهد اندکی از حساس شدن نشان داد ، تأثیر حساس شدن در ترک خوردن نقش کوچکی بازی می کند ، شاید یک مسیر با مقاومت کم را برای اشاعه ترک فراهم می کند . تأثیر پیشنهاد تغییر آلیاژ به یک فولاد زنگ نزن پایدار شده مشکل است چون نتایج عالی در بکارگیری مخازن ته خمیده فولاد زنگ نزن نوع 309 S مشاهده شد که فلز پرکننده همخوانی با فولاد زنگ نزن نوع 309S دارند . به عنوان نتیجه این بررسی ، نویسنده حذف فلز پرکننده پایه نیکل و تعیین فلز پرکننده فولاد زنگ نزن برای مخازن جدید یا تعمیری که با بدنه فولاد زنگ نزن نوع 309 S سازگار باشد را پیشنهاد کرد . فلز پرکننده فولاد زنگ نزن نوع 309H ، با حداقل ۰/۰۴ درصد وزنی کربن می تواند در نظر گرفته شود ، که میزان کربن با حداکثر ۰/۰۸ را فراهم کند . طراحی ته تخت می بایست با طراحی ته خمیده عوض شود تا به کاهش تنشها کمک کند . می توان توصیه کرد که خنک کردن با هوای پر فشار حذف شود یا دست کم دمای مخزن سنجیده شود که در خنک کاری با هوای پر فشار به زیاد شدن تنشها در این نواحی کمک نکند [38] .

WWW.WELD.4T.COM

ترجمه شده بوسیله هومن صادق اقبالی

Email:hooman932@yahoo.com

منابع :

[38] [http : //www1.y12.doe.gov/search/library/documents/pdf/ydv-1730.pdf](http://www1.y12.doe.gov/search/library/documents/pdf/ydv-1730.pdf)

[39] Metals Handbook, Volume 10, Eighth Edition, Failure Analysis and Prevention, Corrosion Failures, pp.177-179, Copyright @ 1975, American Society for Metals, Metals Park, Ohio

[40] Metals Handbook, Volume 1, Tenth Edition, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, Service Characteristics of Carbon and Low Alloy Steels, pp.706-711, Copyright @ 1990, ASM International, Materials Park, Ohio.

[41] Metals Handbook, Volume 1, Tenth Edition, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, Elevated-Temperature Properties of Stainless Steels, pp. 934-935, Copyright @ 1990, ASM International, Materials Park, Ohio.