

# بررسی خوردگی توأم با تنش (SSC) در ناحیه HAZ در خطوط انتقال گاز ترش

جلیل<sup>۱</sup> جمالی، حسین اسماعیلی مزیدی<sup>۲\*</sup>، محمد عامل کاشی پز<sup>۳</sup>

۱- ایران - شوشتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، دانشکده مکانیک

۲- ایران - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات خمین

۳- ایران - بندر عسلویه، مجتمع گاز پارس جنوبی، پالایشگاه چهارم

Ja.ja230@yahoo.com

Hosein.esmaeili.m@gmail.com

## چکیده:

در این تحقیق با هدف بررسی ترک های احتمالی بوجود آمده با استفاده از الکترودهای متفاوت و در نظر گرفتن متغیر های عملیاتی، با ساختن قطعات آزمایش طبق استانداردهای مربوطه و از جنس لوله های مورد استفاده در مسیر گازهای ترش که فولاد کربنی نوع API 5L و فولاد ضد زنگ آستنیتی نوع 316L می باشند، در پی یافتن میزان مقاومت به خوردگی تنشی و ترک های احتمالی به وجود آمده در ناحیه متاثر از حرارت جوش (HAZ) و در نتیجه یافتن راهکاری مناسب به منظور حداقل رساندن این پدیده هستیم.

بررسی های میکروسکوپی بر روی نمونه ها در ناحیه تأثیر گذار گرمایی نشان می دهد که اکثر نمونه ها در این ناحیه مستعد به تشکیل ترک های ناشی از خوردگی تنشی بوده و ترکیبی از دو حالت ترک های میان دانه ای و بین دانه ای هستند. همچنین با افزایش میزان سولفور موجود در گاز ترش، ترک های میان دانه ای بیشتر و تأثیر گذارتری در نمونه ها مشاهده شد. نتایج نشان می دهد که کمترین ترک ها در استفاده از الکترودهای همسان با فلز پایه از نظر ترکیبات شیمیایی و همچنین الکترودهای با درصد نیکل بالاتر نسبت به فلز پایه بوده است. همچنین تراکم ترک با توجه به مدت زمان آزمایش، ۱۲۰ روز، و میزان افزایش سولفور در بیشتر نمونه های تحت تنش افزایش یافته است.

کلمات کلیدی: خوردگی توأم با تنش (SSC)، تنش در ناحیه HAZ، خطوط انتقال گاز ترش، الکتروده جوشکاری

## ۱- مقدمه

تنش خاص باشد، این نوع ترکها رخ نمی دهند. در واقع هر چه استحکام کششی افزایش یابد مقاومت به ترک های ناشی از خوردگی تنشی نیز بهبود می یابد.

در ترک های ناشی از خوردگی تنشی دو نوع ترک کلی دیده می شود که شامل ترک های بین دانه ای، که در طول مرز دانه ها حرکت می کند، و ترک های میان دانه ای، که از داخل آنها عبور می کنند، می باشد.

## ۲- طراحی و انجام آزمایش

همانطوری که قبلاً اشاره شد هدف اصلی، بررسی رشد ترک در نواحی جوش در خطوط لوله انتقال گاز ترش در پالایشگاه ها می باشد و با توجه به اینکه جنس این لوله ها طبق بررسی های به عمل آمده از منابع و نقشه های موجود از جنس فولاد کربنی نوع API 5L و فولاد آستنیتی نوع 316L می باشد، بدیهی است که نمونه های انتخابی با توجه به فرضیه اصلی که جنس آلیاژ ثابت است باید از جنس فولاد با استاندارد NACE MR0175 و با همان خاصیت باشند.

نوع ترک بستگی به محیط خورنده و ساختمان فلز دارد. ترک خوردن معمولاً در جهت عمود بر تنش اعمال شده اتفاق می افتد. هر فلز جهت وقوع ترک های ناشی از خوردگی تنشی نیاز به یک حد تنش کششی خاص و محیط خورنده ویژه دارد، به گونه ای که اگر تنش کششی اعمالی زیر این حد

۱- استاد راهنما

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ساخت و تولید

۳- مشاور صنعتی



## Standard Practice for making and using U-Bend Stress Corrosion test Specimens

این استاندارد، دستور العمل ساخت و استفاده نمونه های خم U مانند را برای ارزیابی ترک های ناشی از خوردگی تنشی در بین فلزات بیان می کند.

نمونه U معمولا یک تسمه مستطیل شکل با اندازه های مشخص استفاده شده است، که به میزان ۱۸۰ درجه دور یک جسم شعاعی مشخص خم گردیده و در هنگام آزمایش خوردگی تنشی به همین حالت کرنش ثابت باقی می ماند.

نمونه های تحت تنش سپس در محیط قرار داده شده و تا زمان ترک ایجاد شده بدین صورت قرار می گیرند. این نمونه های U مانند ممکن است که برای هر آلیاژ فلزی بکار روند منوط به اینکه به اندازه کافی خاصیت چکش خواری داشته باشند تا بتوان آنها را به شکل U بدون هیچ گونه ترک مکانیکی، در آورد. [۲]

در اکثر موارد جهت ساخت این نمونه ها از نوار یا ورق فلزی استفاده میکنند اما آنها میتوانند توسط مفتول ها، ورق های نازک فلزی و یا قطعات جوشکاری شده یا ماشینکاری شده نیز به کار روند. از مزیت های عمده این روش ساخت نمونه، ساده و اقتصادی بودن آنها می باشد و برای تشخیص اختلاف های بزرگ بین مقاومت ترک های ناشی از خوردگی تنشی از: الف) فلزات مختلف در محیط های یکسان، ب) یک فلز در شرایط متالورژیکی متفاوت در یک محیط یکسان، ج) یک فلز در چندین محیط، بسیار مفید و مناسب می باشد.

بنابراین پس از انتخاب نوع فولاد، موضوعی که مطرح است این است که بهترین راهکار و استاندارد جهت ساخت نمونه که بتواند نتایج قابل قبولی را ارائه نماید، متناسب با تحقیق و تأیید شده انجمن ASTM بوده و راه حلی بسیار خوب برای تحلیل ترک ناشی از خوردگی تنشی باشد. [۱]

با توجه به اینکه در این استاندارد ابعاد و دیگر مشخصه های طراحی به طور کامل توضیح داده شده، بنابراین تصمیم گرفته شد که طبق استاندارد فوق چندین نمونه از نمونه ها اندازه گرفته شده، برش زده و سایر عملیات ماشین کاری از قبیل سوراخکاری، جوشکاری، خم کاری و غیره بر روی آنها انجام گیرد. حال نمونه ها ساخته شده، جهت قرار گرفتن در محیط واقعی برای بررسی های بعدی آماده می شوند. جزئیات بیشتر نحوه ساخت نمونه ها و همچنین ترکیبات و نوع محیط در قسمت بعد توضیح داده خواهد شد.

### ۲-۱ نمونه آزمایش

پس از مشخص شدن نوع فولاد ها که همان فولاد کربنی نوع API 5L و فولاد آستنیتی نوع 316 L با ترکیبات شیمیایی طبق جدول شماره (۱) و شماره (۲) از جنس لوله و مخازن در شرایط واقعی می باشند، حال بررسی کار در شرایط آزمایشگاهی و تطابق آن با حالت واقعی، نمونه های آزمایشگاهی با استفاده از استاندارد ASTM - G30 تهیه گردیدند.

جدول ۱ درصد ترکیبات شیمیایی فولاد کربنی نوع API 5L

C	Mn	Si	P	Cr	Mo	Ni	CU	Grade	
0.16	0.40	0.32	0.013	0.02	0.001	0.01	0.01	API 5L	Min
0.20	0.55	0.75	0.045	0.10	0.001	0.08	0.02		Max

جدول ۲ درصد ترکیبات شیمیایی فولاد ضد زنگ آستنیتی نوع 316 L

C	Mn	Si	P	Cr	Mo	Ni	N	Grade	
-	-	-	-	16	2	10	-	316 L	Min
0.03	2	0.75	0.045	18	3	14	0.1		Max



در اینجا قبل از آزمایش، خلاصه ای از تأثیر ترک با توجه به ظرفیت تحمل فشار در خطوط لوله انتقال گاز به صورت تئوریکی نکاتی را یادآوری می نماییم. ابتدا دو حالت ناشی از دو شکل عمق محدود و راه به در را بررسی می کنیم. نمودار های ظرفیت تحمل فشار در خطوط لوله نفت و گاز بر حسب عوامل مختلف نشان دهنده تأثیر هر یک از این عوامل می باشد. حالات مختلف عبارتند از:

- ترک راه به در

فرض کنیم در راستای محور لوله یک ترک راه به در به طول 2C ایجاد شده است. فولیس (Folias) با تعریف پارامتری به نام و با رابطه عددی بی بعد به دست آورد. [3]

$$\rho = \frac{c}{\sqrt{R_m t}}$$

۸۴، این رابطه:

$\rho$ : طول نرمالیزه شده ترک

C: نصف طول ترک

$R_m$ : شعاع میانی سطح مقطع لوله (میانگین شعاع داخلی و شعاع خارجی)

t: ضخامت دیواره لوله

فولیس (Folias) سپس رابطه زیر را برای تحمل فشار ارائه نمود.

$$\frac{P_f R_m}{\sigma_y t} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.05 \rho^2}}$$

که در آن:

$P_f$ : فشار واماندگی خط لوله

y: تنش تسلیم می باشد.

یک سال بعد اردوگان (Erdogan) رابطه ای دیگر پیشنهاد نمود که تطابق خوبی با رابطه پیشنهادی فولیس (Folias) داشت:

$$\frac{P_f R_m}{\sigma_y t} = \frac{1}{0.614 + 0.87542\rho + 0.386e^{-2.275\rho}}$$

- ترک عمق محدود

حال فرض کنیم ترک حالت قبل راه به در نباشد، شکل شماره (۱)، بلکه عمقی به اندازه a داشته باشد. کارتر (Carter) پیشنهاد داد که ظرفیت تحمل فشار با رابطه زیر محاسبه گردد. [4]

$$P_f = \sigma_y \left[ \frac{a}{R_i \psi} + \frac{R_i}{R_i + a} \ln \left( \frac{R_o}{R_i + a} \right) \right]$$

که عامل بی بعد  $\Psi$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$\psi = \sqrt{1 + \frac{1.61c^2}{R_i a}}$$

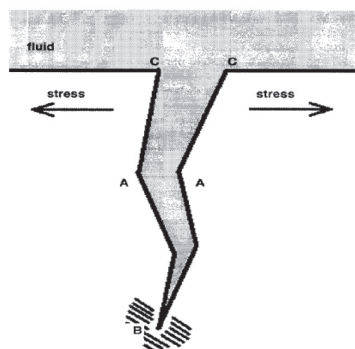
در روابط بالا  $R_o$  و  $R_i$  به ترتیب شعاع های داخلی و خارجی لوله هستند. کارتر (Carter) بر خلاف روشی که فولیس (Folias) و اردوگان (Erdogan) به کار بردند عبارت سمت چپ تساوی را بر حسب کسر بیان نکرد، در حالیکه پیش از او اوینگ (Ewing)، ظرفیت تحمل فشار لوله دارای ترک عمق محدود را به صورت زیر بدست آورده بود:

$$\frac{P_f R_m}{\sigma_y t} = 1 - \frac{a}{t} + \frac{a}{t\psi}$$

و یا به عبارت دیگر:

$$\frac{P_f R_m}{\sigma_y t} = 1 - \frac{a}{t} + \left( \frac{a}{t} \right) \frac{1}{\psi}$$

از اینجا پیداست که مفهوم  $\Psi$  که کارتر (Carter) در رابطه خود به کار برده، مفهومی جدید و ویژه رابطه او نبوده است.



شکل ۱ - ترک عمق محدود

## ۲-۲ نحوه آزمایش و آزمایشات متالوگرافی

ابتدا طبق جدول استاندارد ASTM تعداد ۱۲ عدد تسمه فلزی از جنس فولاد کربنی نوع API 5L و فولاد آستنیتی ضد زنگ نوع 316L تهیه نموده و دقیقا در خط تقارن عرضی تسمه برش زده و باید آنرا به دو قسمت مساوی تقسیم نمود. هدف از این کار انجام جوشکاری بر روی محل برش تسمه، جهت اتصال مجدد دو نیمه به یکدیگر و همچنین موضوع دیگر در این محدوده از اتصال جوش باید تحقیق انجام پذیرد. نمونه‌ها توسط ۱۲ مدل الکتروود مختلف جوشکاری سپس تحت عملیات تنش زدایی PWHT قرار داده شدند. توسط پیچ و مهره نمونه‌ها تحت تنش نرمال قرار گرفتند تا شرایط یکسان تنش ثابت در خطوط لوله بر روی نمونه‌ها اعمال شود. جهت ادامه آزمایش ۶ عدد از نمونه‌های تحت تنش (۳ نمونه فولاد کربنی و ۳ نمونه فولاد آستنیتی) را در محیط کار و مسیر کمکی خط لوله گاز ترش با میزان سولفور 2000PPM بصورت ثابت نصب کرده و شیر منتهی به این خط را مقداری باز نموده تا نمونه‌ها در معرض سیال هیدروکربنی قرار گیرند.

۶ نمونه دیگر (۳ نمونه فولاد کربنی و ۳ نمونه فولاد آستنیتی) در همان شرایط ولی با میزان سولفور 500PPM تحت تنش در مسیر گاز ترش قرار گرفتند. تا پایان آزمایش که ۱۲۰ روز طول کشید، نمونه‌ها چهار بار مورد بررسی قرار داده شدند و مورد مقایسه گرفتند.

بعد از اتمام مدت زمان در نظر گرفته شده، نمونه‌ها از سیال گازی خارج نموده و پس از شستشو هر نمونه را به ترتیب در محدوده متأثر از حرارت جوش و فلز جوش، توسط اهر، برش عرضی داده سپس نمونه‌ها جهت آزمایش متالوگرافی، علامت گذاری شده و تک تک در نواحی مورد نظر توسط سوهان‌های سایشی متفاوت (آج بزرگ و کوچک) تا سطح صاف و صیقلی سوهان کاری شدند. در مرحله بعد با استفاده از سنگ سنباده یا کاغذ سنباده سطوح را کاملا صیقلی کرده، و در نهایت توسط پاشش محلول  $AL_2O_3$ ، اکسید آلومنیوم با اندازه دانه  $0.5\mu$  میکرون توسط دو محلول مخصوص بوسیله یک پارچه نرم صیقل داده شدند. و در پایان نمونه‌ها توسط الکل اتانول شستشو داده شدند و توسط میکروسکوپ در مقیاس‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند و عمل عکس برداری جهت بررسی ریز ساختارها و مرز دانه‌ها و ترک‌های احتمالی انجام گرفت.

## ۳- تجزیه و تحلیل

### ۳-۱ ریخت شناسی ترک

در این مطالعه و بررسی، تعدادی از ترک‌ها در سطح برش خورده نمونه‌های آزمایش U شکل در ناحیه متأثر از حرارت جوش انتشار پیدا کردند. تمامی عواملی را که برای تشکیل ترک ناشی از خوردگی تنشی لازم است، در این مطالعه مؤثر بوده‌اند. بعلاوه مشاهدات میکروسکوپی نشان می‌دهند که در این نمونه‌ها، ترک‌ها به دو صورت بین دانه‌ای و میان دانه‌ای گسترش یافته‌اند. شکل شماره (۲) نمایان‌گر این مطلب می‌باشد. اما از لحاظ کمی انتشار ترک‌های میان دانه‌ای بیشتر و وسیع‌تر بوده است مانند شکل (۳) که این دلیل بر مستعد بودن اینگونه فولاد‌های زنگ‌نزن آستنیتی به ترک‌های میان دانه‌ای ناشی از خوردگی تنشی می‌باشد. ترک‌های میان دانه‌ای از روی مرز دانه‌ها و دانه‌ها عبور می‌کنند در صورتی که ترک‌های بین دانه‌ای در طول مرز دانه‌ها عبور می‌نمایند. شکل شماره (۴) ترک‌های بین دانه‌ای را نشان می‌دهد.

بعضی از ترک‌های میان دانه‌ای دارای یک نوک هستند و معمولا از خود یک مسیر خوردگی مشهود در طول خط شکست نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که نسبت زمان تاخیر قبل از تشکیل ترک، با شروع حفره‌ها و مسیرهای خوردگی که قبلا بوجود آمده وجود داشته است. همچنین بیشتر ترک‌ها دارای مسیرهای انشعابی بوده و از مسیر اصلی خود انحراف یافته‌اند.

یک تغییر محلی در ریز ساختار در جلوی نوک ترک می‌تواند باعث انحراف ترک گردد. زیرا تغییر مسیر و انحراف ترک به ساختار ریز دانه‌ای وابسته است، در دانه‌های آستنیتی ترک‌ها به هر دو صورت میان دانه‌ای و بین دانه‌ای رشد میکنند و یک تغییر مسیر در ریز ساختار، بعنوان مثال وجود یک ناحیه وسیع آستنیتی نسبت به یک ناحیه فریتی در جلوی نوک ترک باعث انحراف مسیر ترک می‌گردد.

### ۳-۲ پارامترهای جوشکاری

در نمونه‌های آزمایش مشخص گردید که همه آنها در ناحیه تأثیر پذیر گرمایی جوش (HAZ) مستعد به تشکیل ترک بوده و حتی حفره‌های متعدد نیز ایجاد شده است لذا پارامترهای فوق در تشکیل این ترک‌ها مؤثر بوده‌اند، با توجه به این که همه این پارامترها برای نمونه‌ها یکسان در نظر گرفته شدند. استفاده از آلیاژهای کم کربن (شاخه





شده و همچنین احتمال تشکیل ترک های زیر جوشی و پای جوش را به حداقل میسرساند، نیز استفاده گردید.

### ۳-۳ بررسی نقش الکتروود و ترکیبات آلیاژی

در این بررسی از ۱۲ نمونه الکتروود مختلف، طبق جداول شماره (۳) و (۴) در شاخه های فولادی آستنیتی و کربنی استفاده شده است که قطر این الکتروودها به نسبت ضخامت قطعه مناسب هستند (۲۵ میلی متر) و هر کدام با توجه به ترکیبات خاص خود تأثیر مفید و یا نامطلوب در عملکرد جوشکاری داشته اند.

در الکتروود ها خطر حساس سازی را بوسیله کند کردن واکنش، و به حداقل رساندن رسوب کاربید، به حداقل می رساند. حتی تنشهای پسماند در ناحیه متأثر از حرارت نیز ممکن است باعث تشدید واکنش تشکیل رسوب گردد. [5] همچنین شکل گرده جوش به صورت محدب انتخاب گردید که در این روش احتمال تشکیل ترک در هنگام سرد شدن ناچیز و کمتر است. شکل شماره (۵) ساختار میکروسکوپی جوش را نشان می دهد. نسبت پهنا به عمق نیز ۲ به ۱ در نظر گرفته شد که این مقدار باعث تشکیل ترک در امتداد سطح نمی شود. در فرآیند جوشکاری از جریان جوش بالا و سرعت های جوش پایین که باعث کاهش میزان سردکاری

جدول ۳ نمونه الکتروود های تحت آزمایش فولاد کربنی

الکتروود	Mo	Ni	Cr	Si	Mn	C	P
E7010-PI	0.5	1.00	0.30	0.60	1.20	0.20	0.03
E7016-CIL	-	2.50	-	0.5	1.25	0.05	0.03
E7018-C2L	-	3.50	-	0.5	1.2	0.07	0.03
ER70S3	0.15	0.15	0.15	0.45-0.75	0.90-1.40	0.06-0.15	0.025
E8016-B2	0.40-0.65	-	1-1.50	0.60	0.90	0.05-0.12	0.03
E8018-C4	-	1.10-2	-	0.80	1.25	0.10	0.35

جدول ۴ نمونه الکتروود های تحت آزمایش فولاد آستنیتی

الکتروود	Mo	Ni	Cr	Si	Mn	C	Nb
E316L-15	2.7	11.5	18.5	0.4	1	0.025	-
E308L-16	-	10	19	0.9	0.8	0.025	-
E309L-15	-	12	24	0.5	1	0.025	-
E309L-16	-	13	24	0.9	0.7	0.025	-
E347-16	-	10	19	0.9	0.8	0.025	0.4
E310-15	-	20	25	0.5	3	0.10	-

عدم وجود فریت سبب حساس شدن جوش و ناحیه HAZ آن به ترک خوردن می گردد. معمولاً فلز جوش در فولادهای زنگ نزن آستنیتی یک ساختار ترد با ۲ الی ۱۰ درصد فریت در شبکه آستنیتی دارند. و در الکتروود E7010-PI بیشترین نوع ترک میان دانه ای و بین دانه ای مشاهده گردید، که دلیل اصلی آن مقاومت ضعیف این نوع الکتروود نسبت به تنش و میزان ترکیب زیاد کربن در آلیاژ این الکتروود نسبت به سایر الکتروودها می باشد. اشکال (۶) و (۷) نشانگر این

در جداول شماره (۵) و (۶) با توجه به نوع الکتروود ها در محیط های مختلف با میزان سولفور متفاوت در گاز ترش، مشخصات ترک های بوجود آمده نشان داده شده است به عنوان مثال الکتروود E310-15 که در دو نمونه آزمایشی از آن به عنوان فلز جوش استفاده شده است دارای درصد نیکل بیشتری در حدود ۲۰٪ نسبت به فلز پایه می باشد، در نتیجه جوش تولید شده به دلیل گرفتن نیکل از فلز جوش در اینجا محتوی هیچ فریتی در محل ریشه جوش نبوده، در نتیجه

فلز جوش یکی از عوامل مؤثر بهبود در ترک های بوجود آمده ناشی از خوردگی تنش می باشد. همچنین درصد ترکیبات آلیاژی الکترودها مانند مقدار نیکل بالا یا کربن پایین یکی از عوامل مهم در جلوگیری از ترکهای ناشی از خوردگی تنش می باشد. تنها نمونه ای که ترکی در آن مشاهده نگردید، نمونه جوشکاری شده با الکتروده ER-70S3 می باشد که بالاترین نوع مقاومت و بیشترین استحکام را تحت تنش در محیط خورنده از خود نشان داده است.

مدعی است. کمترین ترک در نمونه با الکتروده E316L-15 به وجود آمده است که این می تواند به دلیل همخوانی بسیار نزدیک درصدی آلیاژی فلز جوش و فلز پایه باشد. این پدیده در مورد فولادهای شاخه ۳۰۴ نیز صادق است. زیرا در عمل اینگونه فولادها را با الکتروده آستنیتی E-308 جوشکاری می کنند. همچنین در نمونه جوشی با الکتروده E309L-16 در نمونه تنش ثابت، ترکهای کمتری مشاهده گردیده است و این می تواند به دلیل درصد نیکل و کروم بالای این الکتروده باشد. در هر حال بنظر میرسد که تطابق آلیاژی فلز پایه و

جدول ۵ مقایسه ترک ها و نوع آنها در نمونه سیال گاز ترش با سولفور 500PPM

نوع الکتروده	نمونه بدون ترک	ترک میان دانه ای	ترک بین دانه ای
E316L-15	خیر	+	+
E308L-16	خیر	+	-
E309L-15	خیر	+	+
E7010-PI	خیر	+	+
E7016-CIL	خیر	+	-
E7018-C2L	خیر	-	+

جدول ۶ مقایسه ترک ها و نوع آنها در نمونه سیال گاز ترش با سولفور 2000PPM

نوع الکتروده	نمونه بدون ترک	ترک میان دانه ای	ترک بین دانه ای
E309L-16	خیر	+	-
E347-16	خیر	+	-
E310-15	خیر	+	-
ER70S3	آری	-	-
E8016-B2	خیر	+	+
E8018-C4	خیر	-	+

علامت + نشانه وجود ترک و علامت - به معنی عدم وجود ترک می باشد.





### ۳-۴ تأثیر تنش و عوامل محیطی

در نمونه های آزمایش شده با توجه به ساختار ریز دانه های آنها می توان دریافت که با توجه به ترک های بوجود آمده سطح نمونه ها ظاهر ترد و شکننده به خود گرفته اند و در این هنگام یک حرکت و جابجایی در تعدادی از دانه ها اتفاق افتاده است. کم کردن نوسانات مقدار حد آستانه را برای شروع ترک کم کرده و باعث افزایش میل به این گونه ترک ها می شود. مشاهده شد که با افزایش سولفور موجود در گاز ترش در نمونه های مورد آزمایش، ترکهای ناشی از خوردگی تنش بسیار محسوس تر بودند. اما در نمونه های تحت تنش با میزان سولفور کمتر، سرعت رشد ترک به نسبت نمونه های دیگر کندتر و تابعی از زمان نیز بود. عوامل محیطی نیز از دیگر عوامل بروز ترک های ناشی از خوردگی تنش می باشد که با کمک تنش و ساختار آلیاژی این پدیده را تشدید می کنند. آب در نفت خام وجود دارد و حذف کامل آن مشکل است. آب به عنوان یک الکترولیت عمل نموده و باعث خوردگی می شود و همچنین آب باعث هیدرولیزه شدن مواد دیگر بویژه کلریدها شده بنابراین یک محیط اسیدی بوجود می آورد که با کمک تنش، عامل مخرب خواهد بود. [6]

موادی که در نمونه های مورد بررسی تأثیر گذار بودند، آب شور و کلرید ها، سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن و نیتروژن بوده است. ترک های ناشی از خوردگی تنش ناشی از سولفید هیدروژن موجود در گاز یک حالت ترکیبی از ترک میان دانه ای و بین دانه ای است. هیدروکربن های گازی محتوی مقدار خیلی زیادی آب شور و گوگرد در شکل مرکاپتان با فرمول R-SH بودند. هر چند که این دو عامل توسط فرآیند های شیمیایی مانند افزودن کاستیک سودا جهت حذف مرکاپتان و یا چند فازی کردن آب در دماهای مختلف جهت حذف آب شور به حداقل می رسند، اما به مقدار کم در گاز وجود دارند. که خود عاملی جهت بوجود آمدن خوردگی در مکان های مستعد می باشد

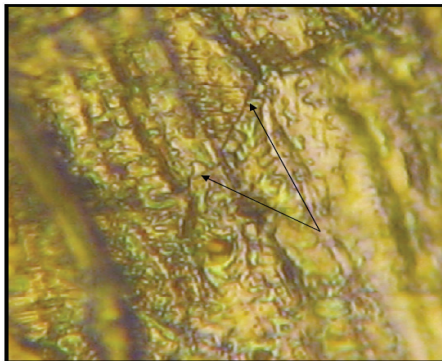
### ۴- نتیجه گیری

با توجه به مطالب و مطالعات انجام شده و مورد بررسی قرار گرفته میتوان دریافت که عوامل عمده پیدایش ترک های

ناشی از خوردگی تنش در ساختارهای فولادی، سه عامل مواد، تنش و محیط هستند. بنابراین شیوه ها و تکنیک های مهم که باعث به حداقل رساندن این پدیده می گردد باید بکار گرفته شوند. در این بررسی با استفاده از نمونه های استاندارد U شکل و انجام فرایند جوشکاری بر روی این نمونه ها با توجه به الکتروده های مختلف، تأثیر عوامل محیطی موجود در فرایند پالایشگاههای گاز ترش بر روی نواحی جوش خطوط لوله پایش و بررسی گردیدند. سیالات خورنده موجود در گاز از قبیل سولفید هیدروژن، مرکاپتانها و آب های شور مخلوط شده در گازهای منتقل شونده به کمک تنشهای موجود از عوامل مهم در ایجاد پدیده ترک های ناشی از خوردگی تنش در ناحیه ی متأثر از حرارت جوش می باشد. کمترین ترک ها در استفاده از الکترودهای همسان با فلز پایه از نظر ترکیبات شیمیایی و همچنین درصد بالاتر نیکل الکترودها نسبت به فلز پایه در ناحیه جوش نمونه های آزمایشی مشاهده است. اکثر ترک های بوجود آمده خصوصا در نمونه های تحت آزمایش در گاز ترش با میزان سولفور بیشتر، از نوع ترک های ناشی از خوردگی تنش میان دانه ای در ناحیه متأثر از حرارت جوش بوده اند. از آنجاییکه گرمای جوش غالبا در منطقه جوش متمرکز می شود، چنین استنباط می گردد که کرنش و تغییر شکل ایجاد شده در هنگام عملیات جوشکاری می تواند سبب شکست و یا ایجاد تنش پسماند شود، این تنش های پسماند در شروع تولید ترک حائز اهمیت می باشند. استفاده از آلیاژهای کم کربن شاخه L در الکترودها، خطر حساس سازی را بوسیله کند کردن واکنش و به حداقل رساندن رسوب کاربیدهای غنی شده از کرم در راستای مرز دانه ها به حداقل می رساند، نتیجه اینکه باعث کند شدن مسیر رشد ترکهای ناشی از خوردگی تنش در منطقه تأثیر گذار گرمایی جوش می شوند. گرمای اعمالی و میزان سرد شدن در جوش دو پارامتر عمده تأثیر گذار بر روی مقاومت جوش در برابر ترکهای ناشی از خوردگی تنش و همچنین پدیده حفره دار شدن می باشد. حرارت اعمالی خیلی زیاد و میزان سرد شدن کم، سبب تفکیک عناصر آلیاژی و تشکیل مناطق خالی از کروم شده و باعث کاهش مقاومت نسبت به خوردگی موضعی می شود.

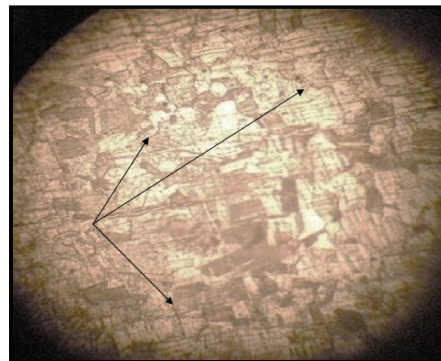


شکل شماره ۳ بزرگنمایی ۳۰۰



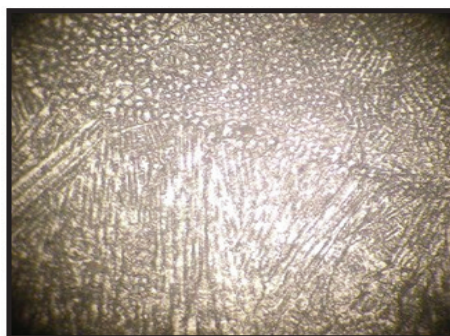
ترک میان دانه ای با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر

شکل شماره ۲ بزرگنمایی ۱۰۰



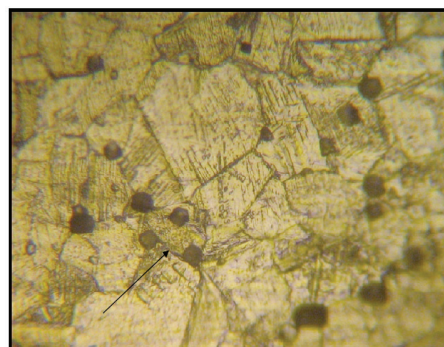
ترکیبی از ترک های بین دانه ای و میان دانه ای با بزرگنمایی ۱۰۰ برابر

شکل شماره (۵) - بزرگنمایی ۲۰۰



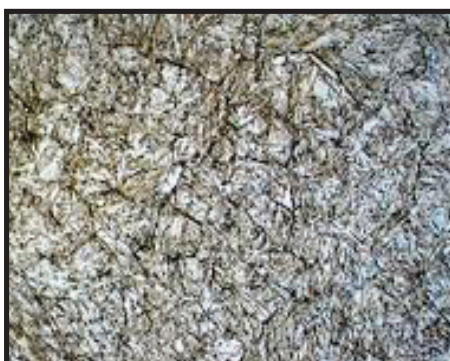
ساختار میکروسکوپی جوش بدون مشاهده ترک با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر

شکل شماره (۴) - بزرگنمایی ۲۵۰

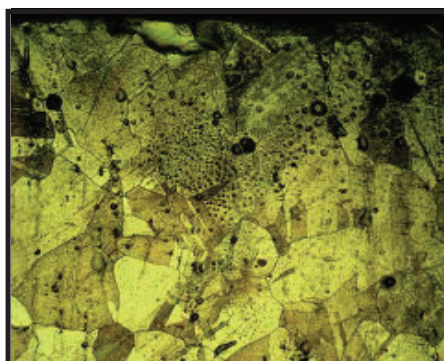


ترک های بین دانه ای و حفره ها با بزرگنمایی ۲۵۰ برابر

شکل شماره ۷ بزرگنمایی ۲۰۰



شکل شماره ۶ بزرگنمایی ۲۵۰





[4] Sanchez, J., Fulla, J., Andrade, C., Alonso, C., (2007). Corrosion Science 9, 4069.

[5] Pal, S., Singh Raman, R. K., (2009). "Determination of Threshold Stress Intensity Factor for Stress Corrosion Cracking (KISSC) of Steel Heat Affected Zone," Corrosion Science, 51(2009) 2443- 2449.

[6] Nishimura, Rokuro, (2007). "Characterization and Perspective of Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steels (type 304 & 316) in Acid Solutions using Constant Load Method," Corrosion Science 49(2007), 81-91.

مراجع:

[1] Zhanpeng Lu, Tetsuo Shoji, Yoichi Takeda, Yuzuru Ito, Akira Kai, Seiya Yamazaki, (2008). "Transient and steady state crack growth kinetics for stress corrosion cracking of a cold worked 316L stainless steel in oxygenated pure water at different temperatures," Corrosion Science 50 (2008) 561-575.

[2] Shahani, A., Mahdavi, R. E., Amidpour, M., (2009). "Fatigue Analysis of Crack Growing Rate and Stress Intensity Factor for Stress Corrosion Cracking in a Pipeline System," International Journal of Mathematical, Physical and Engineering Science 3:1 2009.

[3] Sato, T., Yonekura, K., Hongo, S., (2009). "Introduction of Repair/ Maintenance Technique for SSC in Primary Loop Recirculation System Piping," E- Journal of Advance Maintenance, Vol. 1, No. 1. May, 2009.



# Sulfide Stress Corrosion with Crack (SSC) in Heat Affected Zone in Sour Gas pipelines

Jalil Jamali<sup>i</sup>, Hosein Esmaili Mazidi<sup>ii\*</sup>, Mohamad Amel Kashi<sup>iii</sup>

1- Mechanical Institute, Shoshtar University, Shoshtar, Iran

2- Islamic Azad University, Science and Research Branch, Khomein, Iran

3- 4<sup>th</sup> Refinery , SPGC, Bandar Asaloyeh, Iran

Hosein.esmaeili.m@gmail.com

## Abstract

The aim of this survey is to check the probable formal cracks with the help of diverse Electrodes and also considering operational variables, by making the test parts in order to relevant standards and from the Pipes type which I used in Sour Gas pipeline which are Carbon Steel, type API5L and Austenite stainless Steel, type 316L so we are searching the resistance rate against Stress Corrosion and probable formed Cracks in heat affected zone (HAZ) and then finding a proper solution due to decreasing this phenomenon.

Microscopic researches on samples in Heat Affected Zone show that the most of samples in this zone have potential to form Cracks of Stress Corrosion are combination of two kind of Cracks, Inter granular Cracks and Tran granular Cracks, but samples with variable of Inter granular Cracks are more and more effective. The results show that the least Cracks are due to use of some Electrodes with base metal in accordance with Chemical combinations and also Electrodes with higher Ni ratio with base metal also combined Cracks due to test time ,120 days and more Sulfide in tension samples have increased.

**Keywords:** Stress Corrosion with Crack (SSC), HAZ, Sour Gas, pipe line, Welding Electrode



<sup>i</sup> Teacher

<sup>ii</sup> M.Sc Student

<sup>iii</sup> Industrial Consultant