



## بررسی اثر عملیات حرارتی پس از جوشکاری بر خوردگی و استحکام کششی فولاد ضد زنگ در داخل مخزن ذخیره نفت خام

<sup>1</sup> علی وائل سلمان سنگور؛ <sup>2\*</sup> سید علیرضا موسوی شیرازی

<sup>1</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی، گروه مهندسی مکانیک- ساخت و تولید (تحصیلات تکمیلی)  
<sup>2</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی، گروه فیزیک

### چکیده

با توجه به اینکه مخازن ذخیره نفت به روش جوشکاری ساخته می‌شوند و نقاط آسیب پذیر این سازه‌ها، محل جوشکاری است، لذا هدف از این تحقیق بررسی تأثیر گازهای داخل مخزن بر محل اتصال جوش می‌باشد. از طرفی چون در حین فرآیند جوشکاری، خواص ناحیه جوش با سایر خواص فولاد متفاوت است، بنابراین در این تحقیق پس از جوشکاری نمونه‌های فولادی، عملیات حرارتی انجام و نمونه‌ها در داخل مخزن قرار گرفتند. به عبارتی هدف از این تحقیق، بررسی اثرات گازهای داخل مخزن نفت خام بر ناحیه جوش در نمونه‌های St321 می‌باشد که به همین منظور نمونه‌های فولادی به هم جوش داده شدند.

**کلمات کلیدی:** استحکام کششی، جوشکاری، خوردگی، عملیات حرارتی، مخازن نفت.

### ۱- مقدمه

نفت خام پس از استخراج از چاه در مخازنی بزرگ ذخیره می‌شود تا توسط خطوط لوله به پالایشگاه‌ها یا دیگر محل‌های مصرف انتقال یابد. در طی مدت زمان ذخیره سازی در مخزن، برخی از مواد فرار و گازی همراه نفت خام می‌توانند از آن خارج شده و در فضای خالی بالای مخزن تجمع یابند. یکی از این مواد گاز  $H_2S$  است که خاصیت خوردندگی بالایی نیز دارد. این مسأله منجر به بروز خوردگی در سقف مخازن ذخیره سازی نفت شده است. بنابراین مشکل موجود

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد

<sup>2\*</sup> استادیار و عضو هیات علمی

\*Email: [a\\_moosavi@azad.ac.ir](mailto:a_moosavi@azad.ac.ir)

منجر به ایجاد هزینه های بالایی از جهت متوقف کردن فرآیند تولید، تخلیه مخازن و تعمیر یا تعویض بخش های مختلف آن ها می گردد [1]. در نتیجه لازم است که مواد ویژه و فرآیندهای تولید خاصی برای به حداقل رساندن اثرات خوردگی ناشی از گاز  $H_2S$  طراحی شوند. از طرفی فرآیند عملیات حرارتی روی فلزات در مقیاس صنعتی به منظور بهبود خواص کلی فلزات برای استفاده آن ها در کاربرد های آتی انجام می گردد. خواص فلزات شامل چقرمگی، سختی، داکتیلیته، قابلیت ماشین کاری، اصلاح ساختار دانه، حذف تنش های درونی و بهبود مقاومت سایش می باشد [2]. روش های خاص استفاده شده برای حرارت دادن و سرد کردن فلزات نه تنها برای هر فلز منحصر به فرد هستند بلکه برای کاربرد های صنعتی متفاوت نیز یکسان نمی باشد اما در مجموع، فرآیند عملیات حرارتی سبب بهبود خواص مواد خواهد شد [3,4]. لذا با توجه به مطالب مذکور و اثرات گاز  $H_2S$  در خوردگی سقف مخازن نفت، هدف از مقاله حاضر، بررسی تأثیر عملیات حرارتی پس از جوشکاری بر خوردگی و استحکام کششی فولاد زنگ نزن در محیط داخلی مخزن ذخیره نفت است [5].

## ۲- مواد و روش ها

در این تحقیق از ورق فولادی ۳۲۱ جهت انجام آزمون استفاده شد. فولاد زنگ نزن آستینیتی ۳۲۱ نوعی فولاد زنگ نزن پایدار شده با عنصر تیتانیوم است که این عنصر با تشکیل فازهای  $TiC$  و  $Ti(CN)$  منجر به نگه داشتن کروم در حالت محلول شده و از تشکیل کاربید کروم در مرز دانه ها جلوگیری می کند. به این ترتیب از حساس شدن ساختار و خوردگی بین دانه ای فولاد زنگ نزن جلوگیری کرده که این تأثیر مثبت بر جوش پذیری فولاد دارد. ضمن اینکه تیتانیوم در حالت محلول جامد از تبلور مجدد و رشد دانه ضمن فرآیند گرم کاری جلوگیری کرده و در حالت کاربید تیتانیوم منجر به استحکام دهی پراکنده شده و مقاومت به خزش را نیز افزایش می دهد. فولاد ۳۲۱ با هدف کاربرد در محدوده دمایی وقوع حساس شدن ساختار تحت یک عملیات حرارتی دیگر در دماهای بالا به نام پایدار سازی قرار می گیرد که طی آن رسوبات تیتانیوم دار تشکیل می شود [6].

آلودگی ابزار و سطح فلزات در حین جوشکاری ممکن است در محلول جوش گیر افتاده و کیفیت جوش را کاهش دهد و موجب خوردگی در فولاد های زنگ نزن شود لذا بسیار مهم است که این آلودگی ها در زمان جوشکاری به صورت کامل حذف شوند زیرا در نتیجه نهایی جوشکاری تأثیر منفی دارند. قبل از شروع جوش کاری سطوح، قطعات فلزی را باید از چربی، کثیفی و آلودگی زدود و کاملاً تمیز نمود زیرا این عوامل، مانع از ایجاد اتصال بین قطعات می شوند.

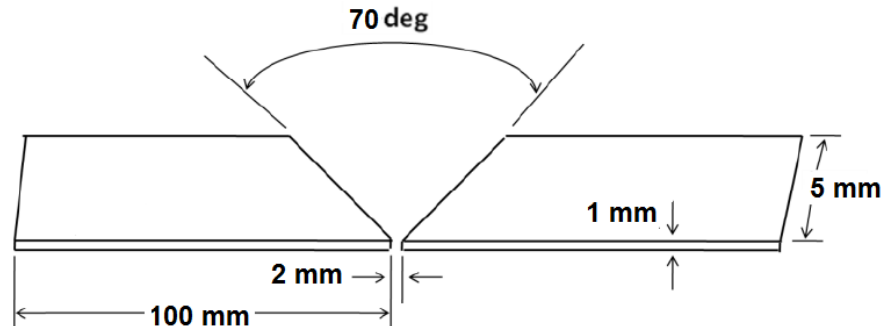
در این پژوهش در ابتدا سطح ورق فولادی با استون پاک شده و سپس در محلول هیدروکسید سدیم غوطه ور و پس از آن با آب مقطر شستشو داده شد. در مرحله بعد، ورق فولادی در محلول سدیم دی کرومات و اسید سولفوریک (مطابق با استاندارد ASTM D2674) قرار گرفت و در نهایت با آب مقطر شستشو شد. این کار به منظور حذف چربی از سطح ورق انجام شد. در ادامه، سطح ورق فولادی توسط سنباده به روش مکانیکی لایه برداری شد تا هرگونه ناخالصی از سطح ورق فولادی پاک گردد.

نمونه‌های مورد آزمایش، قطعات  $50 \times 20$  میلیمتری بود که از فولاد زنگ نزن ۳۲۱ تهیه شدند. سپس با استفاده از جوشکاری به روش قوس الکتریکی با الکتروود E347 با شدت جریان ۱۰۵ آمپر نمونه‌ها به صورت لب به لب به هم جوش داده شدند. در شکل ۱ نمونه‌های جوش کاری شده نشان داده شده است.



شکل ۱- نمونه‌های جوشکاری شده

در شکل ۲ بعد از اعمال جوشکاری قطعه به سه ناحیه جوش، ناحیه متأثر از جوش و فلز پایه تقسیم می‌شود که جنس و ساختار ماده در این سه بخش با هم متفاوت است. همچنین، جهت اتصال لب به لب ورق‌های پخ زده شده با شیاری-V-شکل، از استاندارد AWS B2.1 بهره گرفته شد [7].



شکل ۲- شماتیکی از طرح اتصال

### ۱-۲- عملیات حرارتی

آنیل کردن فولاد یک فرآیند حرارتی است که ریزساختار فولاد را هدف قرار می‌دهد تا خواص مکانیکی آن را تغییر دهد. بازپخت نهایی شامل سخت شدن فولاد در دمای  $815-926^{\circ}\text{F}$  است که در این تحقیق، بازپخت نمونه‌های جوش داده شده در دمای  $870^{\circ}\text{C}$  انجام شد.

یکی از اهداف این تحقیق بررسی تأثیر مدت زمان عملیات حرارتی بر ریزساختار و خواص مکانیکی ناحیه جوش می‌باشد. دمای عملیات حرارتی برابر با  $870^{\circ}\text{C}$  است، اما فرآیند آنیل به مدت دو، چهار و شش ساعت و پس از آن آزمایشات متالوگرافی انجام شد.

بعد از اینکه نمونه‌های جوشکاری شده آماده شدند و قبل از قرار گرفتن در معرض گاز  $\text{H}_2\text{S}$  مخازن نفت خام، در مرحله اول برای تعیین عناصر و ترکیب شیمیایی فولاد زنگ نزن ۳۲۱ از آن‌ها آزمایش‌هایی به عمل آمد. آزمایش کوآنتومتری برای تعیین ترکیب شیمیایی فولاد توسط دستگاه کوآنتومتری به روش اسپکتروسکوپی Spark Emission Spectrometer بر روی نمونه‌ها انجام شد که نتایج ترکیب شیمیایی برای فولاد زنگ نزن ۳۲۱ در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فلز پایه و آلیاژ ۳۲۱ در استاندارد AISI آمریکا برای فولاد زنگ نزن

Fe	C	Si	Mn	P
مینا	$\leq 0.08$	$\leq 0.75$	$\leq 2.00$	$\leq 0.045$
S	Cr	Ni	Ti	N
$\leq 0.030$	17.0-19.0	9.00-12.0	$\geq 5 \times (C + N) \leq 0.7$	$\leq 0.1$

## ۲-۲- بررسی خوردگی در شرایط عملیاتی

### ۲-۲-۱- نصب نمونه ها در سقف مخزن

در این تحقیق، اثرات گازهای خورنده و متصاعد شده از نفت خام در داخل مخازن نفت بر روی فولاد زنگ نزن جوشکاری شده با عملیات های حرارتی مختلف بررسی شد. به منظور قرار دادن نمونه های آزمایشی در معرض تماس با گازهای خورنده، محفظه ای مطابق شکل ۳ ساخته شد. این محفظه از طریق سوراخ موجود در سقف مخزن وارد مخزن شد و بر روی سقف مخزن ثابت شد. با بررسی شکل ۳ می توان فهمید که نمونه ها در داخل یک ظرف سوراخ دار قرار می گیرند. این محفظه در داخل مخزن و از سقف مخزن نفت خام آویزان می شود و گازهای ساطع شده از نفت خام مستقیماً با نمونه ها تماس می گیرد. ظرفی که نمونه ها در آن قرار دارند مانند آبکش است. در این محفظه نمونه ها بر روی سطحی قرار گرفتند که در مجاورت و تماس با گازهای متصاعد شده از نفت خام بودند. از این طریق، خوردگی در سقف مخازن در نمونه های آزمایشی شبیه سازی شد. این نمونه ها به مدت سه ماه در داخل محفظه و در مخزن نفت خام قرار گرفتند و بعد از سه ماه برای انجام آزمایش های ثانویه از مخزن خارج شدند.



شکل ۳- محفظه قرار گیری نمونه ها

### ۲-۲-۲- بررسی تغییرات وزن

نمونه های مورد ارزیابی قبل از قرارگیری در شرایط عملیاتی توسط ترازوی دقیق آزمایشگاهی دیجیتالی با دقت ۰.۰۱ گرم اندازه گیری شدند. پس از قرارگیری نمونه ها در شرایط عملیاتی بعد از سه ماه و پاک کردن نمونه ها از هر گونه زنگ و مواد اضافی، از رابطه زیر برای محاسبه درصد کاهش وزن نمونه ها استفاده شد.

$$RW = \left( \frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100 \quad (1)$$

که در رابطه فوق  $W_1$ : وزن اولیه نمونه و  $W_2$ : وزن نمونه بعد از قرار گیری در شرایط عملیاتی است.  $RW$  نیز درصد کاهش وزن نمونه ها است.

#### ۲-۲-۲- بررسی ریزساختاری

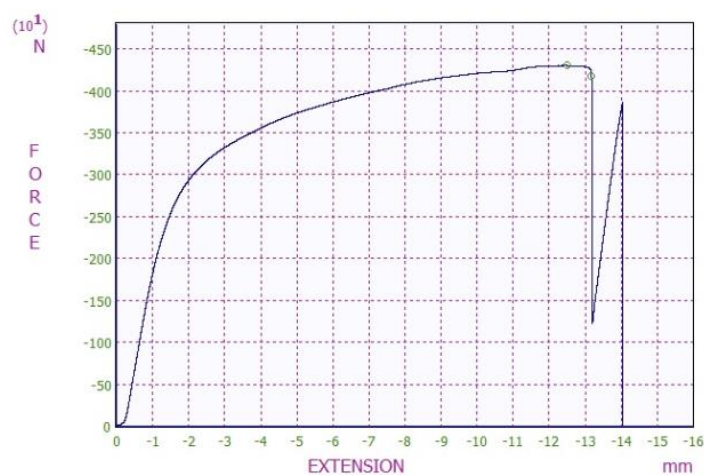
بعد از سه ماه که نمونه ها در داخل مخزن قرار گرفته بودند سرانجام نمونه ها برای انجام آزمایش های نهایی از مخزن خارج و به آزمایشگاه متالوژی ارسال شدند. لازم به ذکر است قبل از انجام آزمایش های ثانویه، چون بر روی نمونه ها نشانه هایی از خوردگی و آلودگی وجود داشت برای تمیز کردن آن ها روش مکانیکی و شیمیایی استفاده شد. بعد از اینکه هر گونه آلودگی از نمونه های آزمایشی پاک شد به منظور بررسی ریزساختاری خوردگی ناشی از گاز سولفید هیدروژن در مخازن نفت خام از آن ها آزمایش متالوگرافی و تصویربرداری به عمل آمد.

#### ۲-۲-۴- انجام تست کشش

تست کشش که با عنوان تست تنش نیز شناخته می شود، اساسی ترین نوع آزمون مکانیکی است که می توان روی یک ماده انجام داد. به زبان ساده در این تست با کشیدن ماده توسط فک های دستگاه کشش، می توان واکنش آن را در برابر نیروهای اعمالی تعیین نمود. در مراحل اولیه آزمون، ارتباط بین بار وارد شده و ازدیاد طول نمونه، به صورت خطی است. اگر نمونه ای در این ناحیه خطی تحت بار قرار گیرد، با برداشتن بار دقیقاً به همان شرایط قبل از بارگذاری باز می گردد. این ناحیه، به ناحیه الاستیک معروف است. پس از این ناحیه، با افزایش بیشتر نیرو، ماده وارد ناحیه تغییر شکل پلاستیک می شود. در این ناحیه با برداشتن نیرو، ماده به شرایط قبل از اعمال نیرو باز نخواهد گشت. نقطه ای که در آن تغییر شکل از حالت الاستیک وارد پلاستیک می شود به حد الاستیک، حد تناسب یا نقطه تسلیم معروف است. تست کشش معمولاً تا شکست قطعه ادامه می یابد تا نمودار نیرو-جابجایی و بعد از آن تنش- کرنش به شکل کامل به دست آید. آزمون کشش جهت بررسی رفتار نمونه های جوشکاری شده استفاده شد. در این تحقیق، از دستگاه تست کشش مطابق با استاندارد ASTM E8 استفاده شد. با بررسی نتایج این آزمون، اطلاعاتی در خصوص استحکام نهایی برای نمونه های مختلف جوش به دست آمد.

## ۳- نتایج و بحث

شکل ۴، نتایج حاصل از تست خمش سه نقطه ای را برای نمونه فولاد مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که حداکثر نیروی مورد نیاز برای خمش در ورق فولادی معادل 4.3 KN و حداکثر تنش بوجود آمده برای این نیرو نیز چیزی معادل 12.485 KPa است.

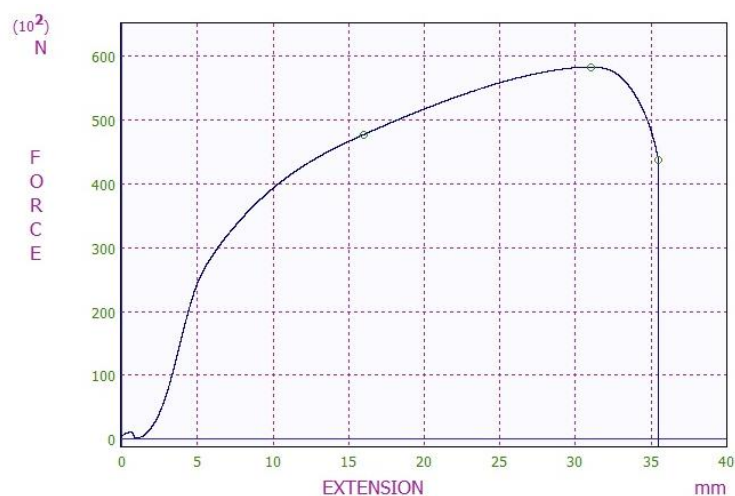


شکل ۴- نتایج تست خمش سه نقطه ای

جدول ۲- نتایج حاصل از تست خمش سه نقطه ای در نقاط قله و شکست

	نیرو (N)	انبساط (mm)	تنش (MPa)	درصد کشیدگی	زمان (دقیقه)
قله	-4300.2	-12.485	-39.8905	-8.3233	6:15.62
شکست	-4179.1	-13.1745	-38.7672	-8.783	6:35.30

شکل ۵، نیز نتایج تست کشش تک محوری برای ورق فولاد را نشان می دهد. نتایج این بخش نشان می دهد که حداکثر نیرو بر صفحه برابر 58 KN است و تنش معادل با این نیرو نیز چیزی معادل 534.14 MPa می باشد.



شکل ۵- نتایج تست کشش تک محوری

جدول ۳- نتایج حاصل از تست کشش تک محوری در نقاط قله و شکست

زمان (دقیقه)	درصد کشیدگی	تنش (MPa)	انبساط (mm)	نیرو (N)	
3:6.08	77.4975	534.1468	30.999	58286.1	قله
3:33.89	88.6686	400.6443	35.4674	43718.3	شکست

#### ۴- نتیجه گیری

از نتایج این طور بر می آید که حداکثر درصد کشیدگی در این تحقیق ۶.۷۳٪ بوده و همچنین مقدار تنش حاصله برای نمونه مورد مطالعه چیزی معادل 436.885 MPa می باشد. همچنین فرآیند شکست در این نمونه پس از ۷۷٪ کشیدگی مشاهده گردید. در مجموع، برتری روش بکار گرفته شده در این تحقیق نسبت به تحقیقات مشابه، بررسی اثرات مستقیم گازهای داخل مخزن نفت خام بر ریزساختار و خواص مکانیکی ورق St321 جوشکاری شده می باشد. اگرچه تحقیقات زیادی در زمینه اعمال عملیات حرارتی انجام شده است اما جنبه جدید این مطالعه اعمال عملیات حرارتی بر روی ورق St321 جوشکاری شده، جهت استفاده در مخازن نفت خام است که تاکنون توسط سایر محققین انجام نشده است.

#### مراجع



[1] فتح آبادی، هادی ابراهیم، مدیریت خوردگی ناشی از گاز سولفید هیدروژن در صنایع نفت و گاز. ماهنامه علمی اکتشاف و تولید نفت و گاز، ۱۳۹۲، ۱۰۹(۱۰۹). ۳۴-۳۹.

[2] جوهری تیموری، رضا، کاشفی تربتی، مهرداد، میرجلیلی، مصطفی،. پایش میزان خوردگی در لوله های نفت و گاز با روش جریان گردابی پالسی با استفاده از کویل برگیر. دومین همایش بین المللی نفت، گاز و پتروشیمی، ۲۷ آذر ماه ۱۳۹۳، تهران، ایران.

[3] Zhou, P., et al., *Influence of chromium on corrosion behavior of low-alloy steel in cargo oil tank O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S wet gas environment*. Journal of Iron and Steel Research International, 2015. 22(7): p. 630-637.

[4] Prabha, S.S., et al., *Corrosion problems in petroleum industry and their solution*. Eur. Chem. Bull, 2014. 3(3): p. 300-307.

[5] قنواتی، احسان، جعفری، اسماعیل، تأثیر عملیات حرارتی بر خواص مکانیکی و خوردگی فولاد زنگ نزن ۴۲۰ پس از جوشکاری به روش TIG. مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، ۱۳۹۸. ۴۹(۳): 279-288.

[6] Moura, V., et al., *Influence of stabilization heat treatments on microstructure, hardness and intergranular corrosion resistance of the AISI 321 stainless steel*. Journal of Materials Science, 2008. 43(2): p. 536-540.

[7] B2.1, A., *Annual book of AWS standards, Standard Welding Procedure Specification, Shielded Metal Arc Welding of Carbon Steel*. 2005, AWS International.