بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

۹۲۱۷۵۰۲

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد

گرایش شناسایی و انتخاب مواد

عنوان :

جوشکاری غیرمشابه فولاد API-X70 به API-X80 با دو روش GTAW و SMAW و ارزیابی خواص اتصال

استاد راهنما:

دکتر رضا دهملایی

استاد مشاور:

دکتر خلیل رنجبر

نگارنده :

موسی عامریان نژاد فلاحیه

بهمن ۹۲

باسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد)

پایان نامه آقای موسی عامریان نژاد فلاحیه

دانشجوی رشته مهندسی مواد گرایش شناسایی و انتخاب مواد

دانشکده مهندسی **به شماره دانشجویی** ۹۰۱۷۵۰۳

با عنوان :

جوشکاری غیرمشابه فولاد API-X70 به API-X80 با دو روش GTAW و SMAW و ارزیابی خواص اتصال

جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد در تاریخ : ۱۳۹۲/۱۱/۲۸ توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه عالی تصویب گردید.

اعضا ی هیأت داوران :	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما: دکتر رضا دهملایی	استادیار	
استاد مشاور: دکتر خلیل رنجبر	استاد	.....
استاد داور : دکتر سید رضا علوی زارع	استادیار	.....
استاد داور : دکتر سید محسن صدرالسادات	استادیار	.....
نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر رضا باهوش کازرونی	استادیار	.....
مدیرگروه: دکتر محسن ریحانیان	دانشیار	.....
معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر علی حقیقی	استادیار	.....
مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر عبدالرحمن راسخ	استاد	.....

تقدیم با بوسه بر دستان **پدرم**

پدرم راه تمام زندگیست

تقدیم به **مادر** عزیزتر از جانم

چشمه سار مهربانیست مادر

تشکر و قدردانی

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم . از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر دهملایی به عنوان استاد راهنما که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داه‌اند، کمال تشکر را دارم. همچنین از راهنمایی های استاد مشاور عزیز آقای دکتر رنجبر که در تمام طول پروژه همراه بنده بـود کمـال تشـکر را دارم. در ضـمن از اساتید مهربان گروه مواد دانشگاه چمران نیز که بنده را با راهنمایی‌های خود مورد لطف قرار دادند تشکر می‌نمایم.

الهی به من کمک کن تا بتوانم ادای دین کنم و به خواسته‌ی آنان جامه ی عمل بپوشانم .

پروردگارا حسن عاقبت ، سلامت و سعادت را برای آنان مقدر نما .

خدایا توفیق خدمتی سرشار از شور و نشاط و همراه و همسو بـا علـم و دانـش و پـژوهش جهت رشد و شکوفایی ایران کهن‌سال عنایت بفرما.

از دوستان عزیزم، همراهان همیشگی، مهندسان محمد سعید رئیسی، محمد برمر، علی خیری، مصطفی امرا، سرور عامری و همه‌ی دانشجویان خوب رشته‌ی مهندسی مواد که مرا لحظه ای تنها نگذاشتند کمال تشکر را دارم.

از انجمن جوشکاران آبادان و شخص مهندس فاضل کعـب عمیـر کـه دلسـوزانه در ایـن راه همکاری کردند قدردانی می‌کنم. از مرکز تخصصی شهید عبدالله کوه سرخ تحت نظر سازمان فنی-وحرفه ای آبادان نیز به دلیل در اختیار قرار دادن امکانات کارگاهی کمال تشکر را دارم.

در آخر از شرکت لوله سازی اهواز که در تهیه مواد اولیه کمک‌های شـایانی بـه ایـن پـروژه کردند صمیمانه تشکر می‌کنم.

فهرست

فصل اول. ۲

مقدمه ۲

فصل دوم. ۷

مروری بر پژوهش‌های پیشین ۷

۲-۱. مقدمه ۷

۲-۱-۱. جوشکاری ۷

۲-۱-۱-۱. جوشکاری با الکترود دستی یا SMAW ۸

۲-۱-۱-۲. جوشکاری با گاز محافظ و الکترود تنگستنیGTAW ۹

۲-۲. فولاد کم آلیاژی استحکام بالا (HSLA) ۱۰

۲-۲-۱. مقدمه ۱۰

۲-۲-۲. تاریخچه ۱۲

۲-۲-۳. مزایای استفاده از فولاد با استحکام بالاتر ۱۴

۲-۲-۴. فولاد X80 و X70 ..... ۱۶

۲-۳ ریز ساختار فولاد X80 و X70 و خواص مکانیکی ۲۱

۲-۴. ترکیب شیمیایی و تاثیر عناصر میکروآلیاژی ۳۶

۲-۴-۲. الزامات ترکیب شیمیایی ۴۱

۲-۵. جوشکاری و خواص متالورژیکی و مکانیکی ۴۳

۲-۵-۲. الزامات خواص مکانیکی ۶۳

۲-۵-۳. عیوب جوشکاری فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا ۶۴

فصل سوم. ۶۶

روش تحقیق ۶۶

۳-۱. مواد مصرفی ۶۶

۳-۲. آماده سازی نمونه ها و طرح اتصال ۶۷

۳-۳. جوشکاری ۶۸

۳-۴. متالوگرافی ۶۹

۳-۵. آنالیز فازی ۷۰

۳-۶. آزمایشهای مکانیکی ۷۰

۳-۶-۱. آزمایش کشش ۷۰

۳-۶-۲. آزمایش ضربه ۷۲

۳-۶-۳. آزمایش سختی سنجی ۷۳

فصل چهارم ۷۴

نتیجه و بحث ۷۴

۴-۱. بررسی‌های ریزساختاری ۷۵
۴-۱-۱. ریزساختار فلزات پایه ۷۵
۴-۱-۲. فلز جوش ۸۳
۴-۱-۲-۱. فرایند جوشکاری GTAW ۸۳
۴-۱-۲-۲. فرایند جوشکاری SMAW ۹۱
۴-۱-۳. ناحیه متاثر از حرارت ۹۹
۴-۱-۳-۲.HAZ در فولاد X80 ۱۰۲
۴-۱-۳-۳.HAZ در فولاد X70 ۱۱۴
۴-۲. بررسی مکانیکی ۱۲۲
۴-۲-۱. آزمون کشش ۱۲۳
۴-۲-۱-۱. فرایند GTAW ۱۲۳
۴-۲-۱-۲. فرایند SMAW ۱۲۶
۴-۲-۲. تست ضربه ۱۳۰
۴-۲-۲-۱. فرایند GTAW ۱۳۰
۴-۲-۲-۲. فرایند SMAW ۱۳۲
۴-۲-۲-۳. بررسی سطح شکست ۱۳۳
۴-۲-۳. سختی سنجی ۱۳۶
فصل پنجم. ۱۴۰
نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۴۰
۵-۱. نتیجه گیری ۱۴۰
۵-۲. پیشنهادات ۱۴۱

فهرست شکل ها

شکل۲-۱. شماتیکی از فرایند SMAW ۸
شکل۲-۲. شماتیکی از فرایند GTAW ۹
شکل۲-۳. نمودار CCT فولادهای کم کربن ۱۱
شکل۲-۴. روند توسعه ی فولاد های میکروآلیاژی ۱۴
شکل۲-۵. اختلاف هزینه استفاده از X70 وX80 ۱۶
شکل۲-۶. پروسه عملیات ترمومکانیکی ۱۸
شکل۲-۷. سیکل حرارتی عملیات ترمومکانیکی ۲۰
شکل۲-۸. پروسه تولید لوله ۲۰
شکل۲-۹. جوش زیرپودری ۲۱
شکل۲-۱۰. تاثیر افزایش میزان فریت مرزدانه ای بر چقرمگی ۲۳

شکل۲-۱۱. نمودار CCT فولاد X80 ..... ۲۳
شکل۲-۱۲. رشد ترک با وجود اجزای ترد مارتنزیتی ۲۴
شکل۲-۱۳. نمودار CCT در سرعت های سرد کردن مختلف ۲۵
شکل۲-۱۴. میکروساختار فولاد X80 ..... ۲۵
شکل۲-۱۵. رسوبات مختلف در فولاد X80 الف) شبکههای فریت با دانسیته نابجایی بالا ب) توزیع غیر همگن رسوبات روی نابجاییها ج) رسوبات روی صفحات نورد گرم شده د) رسوبات غیر همگن ۲۷
شکل۲-۱۶. میکروساختار فریت سوزنی فولاد X80 ..... ۲۹
شکل۲-۱۷. ریزساختار فریت بسیار ریزدانه در فولاد X80 ..... ۲۹
شکل۲-۱۸. میکروساختار ورق فولاد X80 ..... ۳۱
شکل۲-۱۹. عکس SEM از ساختار فولاد X80 ..... ۳۱
شکل۲-۲۰. شکل شماتیک از عملیات حرارتی های انجام شده ۳۲
شکل۲-۲۱. تاثیر درصد بنیت بر استحکام کششی و تنش تسلیم ۳۳
شکل۲-۲۲. تاثیر درصد بینیت بر انعطاف پذیری ۳۴
شکل۲-۲۳. تاثیر درصد بینیت بر سختی ۳۴
شکل۲-۲۴. تاثیر درصد بینیت بر چقرمگی ۳۵
شکل۲-۲۵. ریز ساختار با ۵۳٪ بینیت ۳۵
شکل۲-۲۶. میکروساختار X80 ..... ۳۶
شکل۲-۲۷. تاثیر کربن و نیوبیوم بر چقرمگی ۳۸
شکل۲-۲۸. نیترید حاوی تیتانیوم نیوبیوم ۴۰
شکل۲-۲۹. تاثیر کربن بر ریزساختار ۴۱
شکل۲-۳۰. آخال موجود در فلز جوش ۴۶
شکل۲-۳۱. پارامترهای جوشکاری دستی و مصرف شدنی ها ۴۸
شکل۲-۳۲. تاثیر الکترودهای مختلف و پروسه ها بر روی چقرمگی ۴۹
شکل۲-۳۳. رابطه ی کربن معادل و حداقل دمای پیشگرم ۴۹
شکل۲-۳۴. توزیع سختی در طول قطعه در فرایند زیرپودری ۵۱
شکل۲-۳۵. خواص کششی فولاد ۵۱
شکل۲-۳۶. چقرمگی فلز جوش در فرایند زیرپودری ۵۱
شکل۲-۳۷. توزیع سختی در فرایند GMAW ۵۲
شکل۲-۳۸. خواص کششی در جوشGMAW ۵۲
شکل۲-۳۹. چقرمگی فولاد در جوش GMAW ۵۳
شکل۲-۴۰. اثر مقدار منگنز بر خواص کششی فلز جوش ۵۴

شکل۲-۴۱. اثر افزایش منگنز بر چقرمگی فلز جوش ۵۵
شکل۲-۴۲. تصویر TEM الف)و ب) جزایر مارتنزیتی ج) کاربید لایه ای مرزدانه ای ۵۶
شکل۲-۴۳. میکروساختار لوله X80 الف) بدنه لوله ب)درز جوش تصویر SEM ۵۷
شکل۲-۴۴. تصویر TEM از رسوبات ۵۷
شکل۲-۴۵. مقایسه چقرمگی در بدنه و درزجوش لوله X80 ۵۸
شکل۲-۴۶. ساختار میکروسکوپ SEM الف)حرارت ورودی کم ب) حرارت ورودی متوسط ج) حرارت ورودی زیاد د) حرارت ورودی بسیار بالا ۵۹
شکل۲-۴۷. تاثیر درصد فریت مرزدانه ای بر چقرمگی ۵۹
شکل۲-۴۸. اثر افزایش حرارت ورودی بر الف) اندازه ی M/A ب) درصد M/A ۶۰
شکل۲-۴۹. تصویر TEM از اجزای M/A ۶۰
شکل۲-۵۰. تاثیر افزایش حرارت ورودی بر چقرمگی ۶۱
شکل۲-۵۱. تصویر SEM از الف) حرارت ورودی کم ب)حرارت ورودی متوسط ج) حرارت ورودی زیاد د) حرارت ورودی خیلی زیاد ۶۱
شکل۲-۵۲. مفهوم کنترل ریزساختار HAZ ۶۳
شکل۳-۱. طرح اتصال جوشکاری ۶۷
شکل۳-۳. استاندارد ASTM E8 ۷۱
شکل۳-۴. نمونه آماده برای تست کشش ۷۲
شکل۳-۵. شماتیکی از نمونه تست ضربه ۷۳
شکل۴-۱. ریزساختار میکروسکوپی فولاد X80 ۷۵
شکل۴-۲. تصویر SEM فولاد X80 ۷۶
شکل۴-۳. الف)تصویر FESEM از رسوبات فولاد X80 ب) EDS از نقطه Aج) EDS از نقطه B ۷۸
شکل۴-۴. رسوبات جوانه زده شده روی رسوبات کربونیتریدی ۷۹
شکل۴-۵. الگوی پراش اشعه ایکس از فولاد X80 ۷۹
شکل۴-۶. ریزساختار میکروسکوپی فولاد X70 ۸۰
شکل۴-۷. تصویر SEM فولاد X70 ۸۱
شکل۴-۸. الف) تصویر FESEM از رسوبات فولاد X70 ب) آنالیز نقطه ای EDS از رسوبات نقطه A فولاد X70. ۸۲
شکل۴-۹. الگوی پراش اشعه X فلز پایه X70 ۸۳
شکل۴-۱۰. تاثیر نرخ سرد شدن بر مد انجمادی ۸۴
شکل۴-۱۱. تاثیر حرارت ورودی بر ساختار فلز جوش الف) ۰/۶ KJ/MM ب)۰/۷۹ KJ/MM ج) ۱ KJ/MM ۸۵
شکل۴-۱۲. رشد رونشینی در جوش GTAW ۸۷
شکل۴-۱۳. تصویر SEM تاثیر حرارت ورودی بر ناحیه جوش فرایند GTAW الف)۰/۶ KJ/MM ب) ۰/۷۹ KJ/MM ج) ۱ KJ/MM د) آنالیز نقطه ای EDS ۹۰

شکل۴-۱۴. تصویر FESEM از رسوبات بسیار ریز ناحیه جوش در فرایند GTAW ۹۰
شکل۴-۱۵. الف) تصویر FESEM جزایر M-A ب) آنالیز نقطهای از جزایر M-A ۹۱
شکل۴-۱۶. تاثیر نوع فرایند بر ریزساختار فلز جوش الف) GTAW ب) SMAW ۹۳
شکل۴-۱۷. تصویر SEM تاثیر نوع فرایند بر ریز ساختار فلز جوش الف) GTAW ب) SMAW ج)EDS ۹۴
شکل۴-۱۸. ریزساختار میکروسکوپی فلز جوش فرایند SMAW در حرارت ورودی های الف) ۰/۹۵ KJ/MM ب) ۱/۲ KJ/MM ج) ۱/۳۹ KJ/MM ۹۶
شکل۴-۱۹. تصویر SEM فلز جوش فرایند SMAW در حرارت ورودی الف)۰/۹۵ KJ/MM ب) ۱/۲ KJ/MM ج) ۱/۳۹ KJ/MM ۹۷
شکل۴-۲۰. الف) تصویر FESEM از فلز جوش فرایند SMAW ب) آنابیز نقطه ای EDS رسوب A ج) آنالیز نقطه ای EDS رسوب B ۹۸
شکل۴-۲۱. رشد رونشینی در فلز جوش فرایند SMAW ۹۹
شکل۴-۲۲. دیاگرام آهن – کربن و نشان دادن مناطق مختلف جوش روی آن A: فلز پایه B: ریزدانه جزئی C: ریزدانه D: درشت دانه ۱۰۰
شکل۴-۲۳. تصویر میکروسکوپ نوری نواحی مختلف جوش در فلز X70 نمونه ۱ ..... ۱۰۰
شکل۴-۲۴. نمودار CCT برای فولادهای میکروآلیاژی ۱۰۲
شکل۴-۲۵. تصویر میکروسکوپ نوری منطقهی ریزدانه جزئی فولاد X80 در حرارت ورودی ۱۰۴
الف)۰/۶ KJ/MM ب) ۰/۷۹ KJ/MM ج) ۱ KJ/MM ۱۰۴
شکل۴-۲۶. تصویر میکروسکوپ نوری از منطقهی ریزدانه فولاد X80 در حرارت ورودی الف) ۰/۶ KJ/MM ب) ۰/۷۹ KJ/MM ج) ۱ KJ/MM ۱۰۶
شکل۴-۲۷. تصویر SEM از منطقهی ریزدانه HAZ در فولاد X80 ..... ۱۰۵
شکل۴-۲۸. تصویر میکروسکوپ نوری ناحیه درشت دانه فولاد X80 در حرارت ورودی الف) ۰/۶ KJ/MM ب) ۰/۷۹ KJ/MM ج) ۱ KJ/MM ۱۰۸
شکل۴-۲۹. تصویر میکروسکوپ الکترونی منطقه HAZ درشت دانه در فرایند GTAW الف) ۰/۶ KJ/MM ب) ۱ KJ/MM ۱۰۹
شکل۴-۳۰. تصویر SEM منطقه HAZ درشت دانه در دو فرایند الف) GTAW ب) SMAW ۱۱۰
شکل۴-۳۱. گسترش ناحیه HAZ در فرایند GTAW در فولاد X80 در حرارت ورودی الف) ۰/۶ KJ/MM ب) ۰/۷۹ KJ/MM ج) ۱ KJ/MM ۱۱۱
شکل۴-۳۲. تصویر متالوگرافی از فولاد X80، منطقه HAZ درشت دانه الف) فرایند GTAW ب) SMAW ۱۱۲
شکل۴-۳۳. تصویر FESEM از رسوبات منطقه HAZ درشت دانه در X80 با فرایند SMAW ۱۱۳
شکل۴-۳۴. رابطه دما با میزان انحلال رسوبات در فاز آستنیت ۱۱۳
شکل۴-۳۵. الگوی پراش اشعه ایکس در HAZ فولاد X80 ..... ۱۱۴
شکل۴-۳۶. عکس میکروسکوپ نوری منطقه ریزدانه جزئی فرایند GTAW در فولاد X70 ..... ۱۱۵
شکل۴-۳۷. منطقه ریزدانه HAZ فولاد X70 الف) تصویر میکروسکوپ نوری ب) تصویر SEM ۱۱۶

شکل۴-۳۸. مرز بین منطقه ریزدانه و درشت دانه در فولاد X70 ..... ۱۱۷

شکل۴-۳۹. ریزساختار میکروسکوپی منطقه درشت دانه HAZ فولاد X70 در فرایند SMAW با حرارت ورودی الف)KJ/MM ۰/۹۵ ب) KJ/MM ۱/۲ ج) KJ/MM ۱/۳۹ ..... ۱۱۹

شکل۴-۴۰. تصویر میکروسکوپ نوری از گسترش ناحیه HAZ در فرایند GTAW فولاد X70 در حرارت ورودی الف) KJ/MM ۰/۶ ب) KJ/MM ۰/۷۹ ج) KJ/MM ۱ ..... ۱۲۰

شکل۴-۴۱. عکس میکروسکوپ نوری گسترش ناحیه HAZ در فولاد X70 فرایند الف) GTAW ب) SMAW ۱۲۱

شکل۴-۴۲. منطقه HAZ فولاد X70 الف) تصویر FESEM ب) EDS رسوب ۱۲۲

شکل۴-۴۳. الگوی پراش پرتو ایکس در منطقه HAZ فولاد X70 ..... ۱۲۲

شکل۴-۴۴. نمودار تنش کرنش جوش با حرارت ورودی الف) KJ/MM ۰/۶ ب) KJ/MM ۰/۷۹ ج) KJ/MM ۱ ..... ۱۲۵

شکل۴-۴۶. نمودار تنش کرنش مهندسی جوش فرایند SMAW با حرارت ورودی الف) KJ/MM ۰/۹۵ ب) KJ/MM ۱/۲ ج) KJ/MM ۱/۳۹ ..... ۱۲۷

شکل۴-۴۷. تصویر ماکروسکوپی از نمونه‌ی تست کشش الف) فرایند GTAW ب) فرایند SMAW ۱۲۸

شکل۴-۴۸. شکست فنجان مخروطی در نمونه شکسته شده در تست کشش ۱۲۹

شکل۴-۴۹. تصویر شماتیک از نحوه‌ی شکست در نمونه‌های نرم ۱۲۹

شکل۴-۵۰. شکل نمونه ی ۲ پس از تست ضربه ۱۳۲

شکل۴-۵۱. مقایسه انرژی شکست هر ۶ نمونه ۱۳۳

شکل۴-۵۲. تاثیر حرارت ورودی بر سطح مقطع شکست الف) نمونه ۱ ب) نمونه ۲ ج) نمونه ۳ ..... ۱۳۴

شکل۴-۵۳. تاثیر فرایند بر شکل سطح مقطع شکست الف) تصویر ماکروسکوپی ب) GTAW ج) SAMW ۱۳۵

شکل۴-۵۴. شکل سطح مقطع شکست در فرایند SMAW در حرارت ورودی الف)KJ/MM ۰/۹۵ ب) KJ/MM ۱/۳۹ ..... ۱۳۶

شکل۴-۵۵. نمونه سختی سنجی شده پس از اتمام تست ۱۳۸

شکل۴-۵۶. شماتیک از نمونه سختی سنجی شده ۱۳۹

فهرست جدول ها

جدول۲-۱. مثالهایی برای استفاده از فولاد میکروآلیاژی ۱۴
جدول۲-۲. خواص کششی بر حسب PSI ۲۶
جدول۲-۳. انرژی شکست بر حسب ژول ۲۶
جدول۲-۴. شرایط ترمومکانیکی هردو روش ۲۸
جدول۲-۵. خواص مکانیکی فولاد X80 ..... ۳۱
جدول۲-۶. تاثیر دمای عملیات حرارتی بر درصد بینیت ۳۳
جدول۲-۷. ترکیب شیمیایی فولاد X80 ..... ۳۶
جدول۲-۸. الزامات خواص مکانیکی فولادهای استاندارد API 5L ۶۴
جدول۳-۱. ترکیب شیمیایی فلزات پایه و پرکننده بر حسب درصد وزنی ۶۷
جدول۳-۲. پارامترهای جوشکاری ۶۹
جدول۴-۱. اطلاعات به دست آمده از نمودار تنش کرنش ۱۲۵
جدول۴-۲. نتایج به دست آمده از نمودار تنش کرنش ۱۲۷
جدول۴-۳. نتایج حاصل از تست ضربه ۱۳۲
جدول۴-۴. تاثیر حرارت ورودی بر انرژی شکست در فلز جوش فرایند SMAW ۱۳۳
جدول۴-۵. اطلاعات حاصل از آزمون سختی سنجی ۱۳۹

نام خانوادگی: عامریان نژاد فلاحیه	نام: موسی	شماره دانشجویی : ۹۰۱۷۵۰۳

عنوان پایان نامه: **جوشکاری غیرمشابه فولاد API-X70 به API-X80 با دو روش GTAW و SMAW و ارزیابی خواص اتصال**

استاد راهنما: دکتر رضا دهملایی استاد مشاور: دکتر خلیل رنجبر

درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مواد گرایش: شناسایی و انتخاب مواد

دانشگاه : شهید چمران اهواز	دانشکده: مهندسی	گروه : مواد

تاریخ فارغ‌التحصیلی : ۹۲/۱۱/۲۸ تعداد صفحه: ۱۵۰

کلیدواژه‌ها : فولاد X80، X70، حرارت ورودی، جوشکاری غیرمشابه، SMAW، GTAW، خواص مکانیکی

چکیده

فولادهای میکروآلیاژی X80 و X70 به دلیل استحکام بالا ، چقرمگی مناسب دمای پایین و جوش‌پذیری خوب کاربرد زیادی در لوله های انتقال گاز پیدا کرده‌اند. برای جوشکاری غیر مشابه این دو فولاد از فرایندهای پرکاربرد برای جوشکاری محیطی یعنی جوشکاری قوس تنگستن با گاز محافظ(GTAW[1]) و جوشکاری دستی با الکترود مصرف شدنی(SMAW[2]) استفاده شد. در هر فرایند برای بهینه کردن حرارت ورودی، جریان های جوشکاری مختلف اعمال شد، سپس نمونه ها برای بررسی ریزساختاری و مکانیکی آماده سازی گردیدند. بررسی ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ نوری(OM[3]) و الکترونی روبشی (SEM[4]) مجهز به آنالیز نقطه‌ای (EDS[5]) و آنالیز فازی توسط پراش سنج اشعه X (XRD[6]) صورت گرفت. برای بررسی خواص مکانیکی اتصال، نمونه ها تحت تست ضربه، کشش و سختی سنجی قرار گرفتند. نتایج نشان داد با افزایش حرارت ورودی در هر دو فرایند از نظر ریزساختاری، وسعت منطقه‌ی متاثر از حرارت (HAZ[7]) گسترده و درشت دانه‌تر می‌شود. همچنین ساختار منطقه‌ی جوش نیز با افزایش حرارت ورودی به سمت ساختارهای تعادلی تغییر می‌کند. در فرایند SMAW ساختار HAZ درشت دانه تر و وسعت آن بیشتر از فرایند GTAW بوده و در ساختار فلز جوش آن نیز رسوبات بیشتری مشاهده گردید. به نظر می‌رسد با افزایش حرارت ورودی، ترکیبات مارتنزیتی – آستنیتی درشت تر شده و فریت‌های ترد مرزدانه‌ای بیشتری تشکیل شده‌اند. این امر موجب افت چقرمگی در هر دو فرایند گشته که برای فرایند SMAW نسبتا چشمگیرتر و شدیدتر می‌باشد. سختی نیز با افزایش حرارت ورودی نسبتا کاهش می‌یابد. در حرارت‌های ورودی بالاتر، درشت تر شدن دانه‌ها و کمتر شدن درصد فازهای ترد ثانویه در HAZ عامل اصلی کاهش سختی است.

1- Gas Tangsten Arc Welding
2- Shield Metal Arc Welding
3- Optical Microscope
4- Scanning Electron Microscope
5- Energy Dispersive Spectroscopy
6- X-Ray Diffraction
7- Heat Affected Zone

فصل اول

مقدمه

امروزه لوله های فولادی با استحکام بالا کالایی استراتژیک در صنعت نفت و گاز محسوب می-شوند. در خطوط انتقال گاز بطور همزمان نیروهای استاتیکی و دینامیکی به لوله اعمال می‌شود. در نتیجه برای خطوط انتقال گاز، باید از لوله هایی استفاده کرد که چقرمگی و استحکام بالایی داشته باشند[۱].

کشور آلمان را می‌توان پیشگام در ساخت لوله های استحکام بالا و کم کربن دانست. روند توسعه‌ی فولادهای استحکام بالا از دهه ی ۷۰ با تکنیک نورد ترمومکانیکی(TM[1]) آغاز شد. این بار هم آلمان پیش قدم بود و فولاد میکروآلیاژی استحکام بالا TM(X70) را به عنوان یک فولاد جدید برای استفاده در خطوط انتقال نفت و گاز به جهان معرفی کرد که نشان داد فولاد قابل اعتمادی است.

1- Thermo mechanical

به دنبال نتایج رضایت بخش استفاده از فولاد X70 در جهان ، شرکت آلمانی مگال II[1] طی تحقیقاتی که انجام داد توانست فولاد استحکام بالاتری تولید کند که استحکامش تفاوت قابل توجهی با استحکام فولاد X70 داشت و این فولاد جدید را X80 نامید[۲و۳].

استفاده از رده‌های بالاتر فولادهای میکروآلیاژی موجب صرفه جویی در هزینه ها می‌شود. در صورت استفاده از X80 به جای X70 می‌توان ۱۲٪ کاهش وزن ، ۲۵٪ کاهش نرخ ذوب و ۱۵٪ کاهش هزینه را داشت[٤و٥]. در فولادهای رایج با افزایش استحکام، معمولا چقرمگی کاهش می‌یابد. از طرفی مکانیزم رایج افزایش استحکام که بالا بردن درصد کربن فولاد است، جوش‌پذیری را به شدت کاهش می‌دهد، اما در فولادهای ترمومکانیکی شده با تغییر در ترکیب شیمیایی و روش تولید که نتیجه آن کاهش اندازه دانه و بهینه شدن ساختار است، امکان دستیابی همزمان به چقرمگی و استحکام بالا امکان‌پذیر است. عملیات ترمومکانیکی شامل انجام دو فرایند همزمان عملیات حرارتی و نورد است[٦]. در عملیات ترمومکانیکی دمای حرارت دادن تختال را ۱۱۸۰ درجه سانتیگراد ، دمای پایانی نورد و دمای شروع سرد کردن را بالای خط Ar3 و دمای پایانی سرد کردن را بالای ۵۰۰ درجه سانتیگراد انتخاب می‌کنند[۷]. یکی از تفاوت های مهم X70 و X80 در نقطه ی پایانی نورد است که همان نقطه‌ی شروع سرد کردن است. برای X80 این نقطه باید بالای دمای Ar3 باشد زیرا در این نقطه هنوز استحاله ی آستنیت به فریت صورت نگرفته است، در نتیجه با انجام نورد و در هم پیچیدن نابجایی ها مکان های مستعد جوانه زدن فریت افزایش می‌یابد که موجب ریز شدن دانه های فریت می‌شود[۸]. ریزساختار بهینه برای رسیدن به خواص مکانیکی بالا فریت سوزنی است. در مقایسه با فریت چندوجهی فریت سوزنی به علت بالا بودن چگالی نابجایی ها در آن خواص مکانیکی بالاتری

1- Megal II

دارد. همچنین مقاومت در برابر رشد ترک را افزایش می‌دهد، دلیل آن مسیر پر پیچ و خمی است که ترکها برای اشاعه باید طی کنند که این باعث جذب انرژی و در نتیجه افزایش چقرمگی می‌شود[۹]. فریت های سوزنی معمولا بر روی نابجایی ها ، عیوب و آخال ها جوانه می‌زنند و در صورت نبود این مکان ها شاهد ساختار فریت بینیتی خواهیم بود[۱۰]. با وجود نیتروژن و وانادیوم، رسوباتی از نیترید بسیار ریز در ابعاد نانومتر در شبکه پراکنده می‌شوند که می‌توانند استحکام را بالا ببرند[۱۱]. تیتانیم می‌تواند به عنوان یک عنصر مهم نقش بازی کند. نیترید و اکسید تیتانیوم تا دماهای بالا پایدار هستند و می‌توانند از رشد دانه در آستنیت جلوگیری کنند، که در واقع مانند یک قفل عمل می-کنند[۱۲]. فولادهای X80 طوری طراحی شده اند که ساختار فریت سوزنی داشته باشند و کاربیدهای آزاد آن به صورت شبه جزیره هایی از اجزای مارتنزیت- آستنیت (M-A[1]) پراکنده شده باشند[۱۳]. درصد اجزای M-A با کاهش نرخ سرد شدن کمتر می‌شود و به میانگین اندازه آن‌ها اضافه می‌شود. دو نوع M-A وجود دارد، نوع درون شبکه ای و نوع حجیم. درون شبکه‌ای ها که نسبت طول به عرض بیشتر از ۳ را دارند در حرارت‌های ورودی پایین بیشتر دیده می‌شوند. اما ترکیبات M-A حجیم با نسبت طول به عرض کمتر از ۳ در حرارت‌های ورودی بالا بیشتر حضور دارند. با افزایش حرارت ورودی درصد حجمی M-A کاهش می‌یابد اما سختی این ترکیبات بالاتر می‌رود و بدین ترتیب تمرکز تنش ایجاد می‌شود و شکست راحت تر صورت می‌گیرد که موجب کاهش چقرمگی می‌گردد[۱۱].

جوشکاری، عملیاتی جدایی ناپذیر در تولید لوله های X70 و X80 است. پس از تولید ورق های X80 و X70 باید آن ها را به صورت لوله تهیه و در بیابان مونتاژ کرد که برای هر کدام از مراحل

1- Martensite - Austenite

جداگانه نیاز به جوشکاری است. جوشکاری شامل فرایندهـای ذوب و انجمـاد اسـت کـه طـی ایـن فرایندها ساختار تغییر می‌کند. استحکام و چقرمگی فولادهای استحکام بـالای کـم آلیـاژی بوسـیله‌ی سیکل‌های حرارتی ناشی از جوشـکاری آسـیب مـی‌بینـد[١٤] و موجـب تـردی در ناحیـه ی HAZ می‌شود. همچنین تبلور مجدد اتفاق می افتد و دانه ها درشت تر می‌شوند[١٥]. از این رو برای کاهش آثار مخرب جوشکاری باید حالت بهینه‌ای از جوشکاری را انتخاب کرد. پارامترهـای مختلفـی ماننـد نوع فرایند جوشکاری ، نوع الکترود، نوع سـیم جـوش ، فلاکـس هـا، روش جوشـکاری ، حـرارت ورودی و ... در رسیدن به ساختار بهینه بعد از جوشکاری متاثر هستند. یکـی از دلایـل اصـلی عـدم پیشرفت این لوله ها عـدم معرفـی روش مناسـب بـرای جوشـکاری در بیابـان اسـت . نـوع فراینـد جوشکاری محیطی، در فولاد با استحکام بالا، به منظور بدست آوردن جوش با کیفیت بالا از اهمیـت بسیار زیادی برخوردار است. بررسی ها نشان می‌دهد که بیشتر شکست هـای خطـوط لولـه گـاز، در محل جوش ها و بویژه در محل جوش های بیابان اتفـاق مـی‌افتـد[١٦]. منطقـه‌ی متـاثر از حـرارت جوش آسیب‌پذیرترین منطقه جوشکاری است که تحقیقات عمدتا برای بهبـود خـواص ایـن منطقـه است. در جوشکاری، دما تا ٢٥٠٠ درجه سانتیگراد بالا مـی‌رود. در محـدوده دمـایی ١٧٠٠ تـا ١٦٠٠ درجه سانتیگراد انجماد فلز مذاب و دگرگونی به فریت دلتا را داریـم و سـپس دگرگـونی فریـت بـه آستنیت را خواهیم داشت. در محدوده‌ی ١٦٠٠ تا ٨٠٠ درجه سانتیگراد رشد دانه‌های آستنیتی وجود دارد. سپس در محدوده ی ٨٠٠ تا ٣٠٠ درجه سانتیگراد آستنیت طبق نمودار CCT به انـواع فریـت تجزیه می‌شود. به ترتیب با افزایش سرعت سرد شدن فریت چندوجهی در مرزدانـه ، فریـت ویـدمن اشتاتن و اگر آخال یا ناخالصی وجود داشته باشد فریت سوزنی را می‌توان بدست آورد. در صـورت عدم حضور آخال یا ناخالصی فریت بینیتی خواهیم داشت. و در نهایـت هـر آسـتنیت بـاقی‌مانـده در دمای اتاق به مارتنزیت- آستنیت (M-A) تبدیل خواهد شد. منگنز به ایجاد فریـت سـوزنی از طریـق ایجاد این ناخالصی ها کمک می‌کند که معمولا این ناخالصی ها در دمـای بـین ٨٠٠ تـا ٥٠٠ درجـه سانتیگراد ایجاد می‌شوند[١٠] .

فولاد های X80 جدیدا وارد کشور شده‌اند و با استحکام بالاتر می‌توانند جایگزین فولادهای رده پایین تر X70 شوند، از این رو اتصال غیرمشابه این دو فولاد بسیار اهمیت پیدا می‌کند. در این پژوهش اتصال دو فولاد میکروآلیاژی X70 به X80 با فرایندهای SMAW و GTAW ، با حرارت ورودی متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفته و تحولات ریزساختاری و مکانیکی آنها تحلیل شده اند.

فصل دوم

مروری بر پژوهش‌های پیشین

۲-۱. مقدمه

۲-۱-۱. جوشکاری

جوشکاری یکی از روشهای تولید می باشد که هدف آن اتصال دایمی مواد مهندسی (فلز، سرامیک، +پلیمر، کامپوزیت) به یکدیگر است به گونه‌ای که خواص اتصال برابر خواص ماده پایه باشد. احتیاجات بشر به اتصالات مدرن، سبک، محکم و مقاوم در سالهای اخیر و مخصوصاً بیست سال اخیر سبب توسعه سریع این فن شده است. در فرآیندهای جوشکاری با قوس الکتریکی، جریان الکتریکی از جاری شدن الکترون‌ها در یک مسیر هادی به وجود می‌آید. هرگاه در مسیر مذکور یک شکاف هوا(گاز) ایجاد شود جریان الکترونی و در نتیجه جریان الکتریکی قطع خواهد شد. چنانچه شکاف هوا به اندازه کافی باریک و اختلاف پتانسیل و شدت جریان بالا باشد، گاز میان شکاف یونیزه شده و قوس الکتریکی برقرار می‌شود. از قوس الکتریکی به عنوان منبع حرارتی در جوشکاری