

بہ نام وسعت بی واثرہ



دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد

گرایش جوشکاری

عنوان :

بررسی ریزساختار و رفتار خوردگی جوش اتصالات

غیرمشابه API X80 / API X70

اساتید راهنما:

دکتر سید رضا علوی زارع

دکتر رضا دهملابی

استاد مشاور:

دکتر علی اشرفی

نگارنده :

ابوالفضل ملکان

بهمن ۱۳۹۳

باسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه ارشد)

پایان نامه آقای ابوالفضل ملکان دانشجوی رشته: مهندسی مواد گرایش: جوشکاری

دانشکده مهندسی به شماره دانشجویی ۹۱۱۷۰۰۳

با عنوان :

بررسی ریزساختار و رفتار خوردگی جوش اتصالات غیرمشابه API X80 / API X70

جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد در تاریخ : ۱۳۹۳/۱۱/۰۶ توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه بسیار خوب تصویب گردید.

امضاء	رتبه علمی	اعضای هیأت داوران :
.....	استادیار	استاد راهنما: دکتر سید رضا علوی زارع
.....	استادیار	استاد راهنما: دکتر رضا دهملایی
.....	استادیار	استاد مشاور : دکتر علی اشرفی
.....	استادیار	استاد داور : دکتر سید محسن صدرلسادات
.....	استادیار	استاد داور : دکتر بهنام لطفی
.....	استادیار	نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر سید عنایت اله علوی
.....	استادیار	مدیر گروه : دکتر خلیل الله قیصری
.....	دانشیار	معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر علی حقیقی
.....	استاد	مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر عبدالرحمن راسخ

خداوند آنگاه که به ندای جانوران، نوای درختان، زمزمه آب‌ها، آواز پرندگان، نفیر بادیاغزش تندر

کوش می‌سپرم، وحدت تو را می‌بینم تو را می‌یابم آن قدرت اعلی‌دانی مطلق آگاهی اعظم و نه‌نهای

عدل، خداوند تورا در شقا تم بازمی‌شناسم، رضای تو رضای من باد، باشد که من مایه می‌شعف تو باشم

شعف‌پدري از فرزندش و باشد که حتی آنگاه که کشتن دوستت دارم برایم دشوار است با من است و غم

به یاد تو بانم و بر احوالی از زحمات اساتید محترم جناب آقایان دکتر علوی زارع و دکتر دهلایی و دوستان

عزیز از جمله آقایان مهندس سید شیم زهرایی، موسی عامریان، احمد نجار که مراد این امر کجک کرده

بمشکر کنم.

مهم نیست اگر او نیست، نه اهمیت ندارد او خودش رفت، رفتن را برگزید مهم نیست، اگر

اینجا گرفتار یک سکوت مرکب‌ار شده‌ام، یا اگر در هیاهوی ابر و باد سهم طوفان می‌شوم، مهم

نیست، رفتن یک نوع رسیدن است و پایان آغازی دوباره می‌شود، روح کوچک من

یک آرامش ابدی می‌خواهد، طرف سختم با توست مهم نیست اگر رفتی، او با من بیگانه بود،

تقدیم به پدر و مادرم و خانواده عزیزم که آموختن مرا، در جهانی که بگمان در اندیشه چگونه زیستن

می‌باشند، در اندیشه چگونه خدمت کردن باشم و تقدیم پیشاپیش به ستاره کمرشده زندگیم...

فهرست مطالب

فصل ۱	۱
فصل ۲	۳
۱-۲. فرآیندهای مختلف جوشکاری	۳
۱-۱-۲. جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود دستی	۳
۲-۱-۲. جوشکاری با گاز محافظ	۴
۳-۱-۲. جوشکاری با گاز محافظ و الکتروود تنگستن	۵
۲-۲. تولید فولاد کم آلیاژ استحکام بالا	۶
۳-۲. مزایای استفاده از فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا	۹
۴-۲. فولادهای API X80/X70	۹
۱-۴-۲. ریز ساختار فلز پایه فولاد X70	۹
۲-۴-۲. ریز ساختار فلز پایه فولاد X80	۱۱
۳-۴-۲. تغییرات ریزساختاری ناحیه متأثر از حرارت	۲۰
۴-۴-۲. ریز ساختار فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت در فولاد X70	۲۵
۵-۴-۲. ریز ساختار فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت فولاد X80	۳۰
۵-۲. خوردگی	۳۳
فصل ۳	۴۶
۱-۳. مواد مصرفی	۴۶
۲-۳. آماده سازی نمونه ها و طرح اتصال	۴۷
۳-۳. جوشکاری	۴۷
۴-۳. متالوگرافی	۴۸
۵-۳. آزمون خوردگی	۴۹
۶-۳. ارزیابی خواص الکتروشیمیایی	۴۹
فصل ۴	۵۱
۱-۴. بررسی های ریزساختاری	۵۱
۱-۱-۴. ریز ساختار فلزات پایه	۵۱
۱-۱-۴. ریز ساختار فولاد X70	۵۱

۵۳.....	۲-۱-۱-۴. ریز ساختار فولاد X80.....
۵۷.....	۲-۱-۴. ریز ساختار فلز جوش.....
۶۶.....	۳-۱-۴. ناحیه متأثر از حرارت.....
۶۹.....	۲-۳-۱-۴. ریزساختار ناحیه متأثر از حرارت فولاد X70.....
۷۵.....	۳-۳-۱-۴. ریزساختار ناحیه متأثر از حرارت فولاد X80.....
۸۲.....	۲-۴. بررسی رفتار خوردگی.....
۸۲.....	۱-۲-۴. خوردگی فلزات پایه.....
۸۲.....	۱-۱-۲-۴. رفتار خوردگی فولاد X70.....
۸۴.....	۲-۱-۲-۴. رفتار خوردگی فولاد X80.....
۸۶.....	۲-۲-۴. خوردگی منطقه فلز جوش.....
۸۹.....	۳-۲-۴. رفتار خوردگی ناحیه متأثر از حرارت جوش.....
۸۹.....	۱-۳-۲-۴. خوردگی در ناحیه متأثر از حرارت فولاد X70.....
۹۱.....	۲-۳-۲-۴. خوردگی در ناحیه متأثر از حرارت فولاد X80.....
۹۴.....	فصل ۵.....
۹۴.....	۱-۵. نتیجه گیری.....
۹۵.....	۲-۵. پیشنهادات.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲. شماتیکی از فرآیند SMAW ۴
- شکل ۲-۲. نمایش شماتیکی از فرآیند جوشکاری GTAW ۶
- شکل ۳-۲. سیکل حرارتی عملیات ترمومکانیکی تولید فولاد X80 ۸
- شکل ۴-۲. تصویر SEM از فولاد X70 ۱۰
- شکل ۵-۲. تاثیر افزایش میزان فریت مرزدانهای (GBF) بر انرژی ضربه‌ای ۱۳
- شکل ۶-۲. میکرو ساختار فریت سوزنی در فولاد X80 ۱۳
- شکل ۷-۲. میکروساختار فریت بسیار ریزدانه در فولاد X80 ۱۴
- شکل ۸-۲. رسوبات مختلف در فولاد X80 ۱۶
- شکل ۹-۲. آخال موجود در فلز جوش ۱۷
- شکل ۱۰-۲. تصویر SEM مناطق مختلف جوش فولاد X80 ۱۹
- شکل ۱۱-۲. نمودار CCT فولاد X80 ۲۰
- شکل ۱۲-۲. نمایش شماتیک محدوده دمایی نواحی مختلف منطقه متأثر از حرارت ۲۱
- شکل ۱۳-۲. استحاله فازهای جامد در ناحیه متأثر از حرارت فولاد API-X52 ۲۳
- شکل ۱۴-۲. تشکیل مجدد آستنیت در فلز جوش فولاد API X52 ۲۴
- شکل ۱۵-۲. تصویر SEM فلز جوش فولاد GBF X70 ۲۶
- شکل ۱۶-۲. مناطق مختلف جوش فولاد Weld API X70 ۲۶
- شکل ۱۷-۲. تصاویر SEM از ریزساختار درز جوش فولاد API X70 ۲۷
- شکل ۱۸-۲. تصویر SEM ناحیه متأثر از حرارت فولاد X70 ۲۸
- شکل ۱۹-۲. تصویر SEM فلز پایه عملیات حرارتی شده فولاد X70 ۲۹
- شکل ۲۰-۲. تصویر SEM ناحیه HAZ عملیت حرارتی شده فولاد X70 ۲۹
- شکل ۲۱-۲. تصویر SEM ناحیه جوش عملیات حرارتی شده فولاد X70 ۳۰
- شکل ۲۲-۲. ساختار میکروسکوپ نوری ۳۱
- شکل ۲۳-۲. منحنی پلاریزاسیون چرخهای با حلقه پس ماند منفی ۳۴
- شکل ۲۴-۲. منحنی پلاریزاسیون چرخهای با حلقه پس ماند مثبت ۳۵
- شکل ۲۵-۲. میکرو ساختار فولاد X80 ۳۷

شکل ۲-۲۶.	منحنی نایکوویست مناطق مختلف جوش فولاد X70	۳۸
شکل ۲-۲۷.	تصویر منطقه جوش شامل دانه های فریت درشت همراه با آستنیت بین دانه ای	۳۹
شکل ۲-۲۸.	نمودار نایکوویست و بد دو نمونه عملیات حرارتی شده و نشده فولاد X70	۴۰
شکل ۲-۲۹.	لایه محصولات خوردگی ایجاد شده روی فولاد X70 بدون عملیات حرارتی	۴۱
شکل ۲-۳۰.	نمودار دانسیته جریان نفوذ هیدروژن به عنوان تابعی از زمان در مناطق مختلف جوش	۴۲
شکل ۲-۳۱.	نرخ خوردگی نمونه ها پس از ۱۸۰ روز	۴۳
شکل ۲-۳۲.	طرح امپدانس نمونه حاوی هیدروژن شارژ شده	۴۴
شکل ۲-۳۳.	نمودار پلاریزاسیون سیکنی فولاد	۴۵
شکل ۳-۱.	طرح اتصال جوشکاری	۴۷
شکل ۳-۲.	نمونه آزمون خوردگی	۴۹
شکل ۴-۱.	ریزساختار میکروسکوپی فولاد X70	۵۲
شکل ۴-۲.	تصویر میکروسکوپ الکترونی فولاد X70	۵۲
شکل ۴-۳.	الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی از رسوبات فولاد X70	۵۳
شکل ۴-۴.	ریزساختار میکروسکوپ نوری فولاد X80	۵۴
شکل ۴-۵.	تصویر میکروسکوپ الکترونی فولاد X80	۵۴
شکل ۴-۶.	الف) تصویر FESEM از رسوبات پایه فولاد X80	۵۶
شکل ۴-۷.	تصویر میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی از رسوبات جوانه زده شده	۵۷
شکل ۴-۸.	تصویر میکروسکوپ نوری از منطقه جوش	۵۹
شکل ۴-۹.	رشد رانشینی در ناحیه جوش فرآیند GTAW	۶۰
شکل ۴-۱۰.	تصویر میکروسکوپ الکترونی از ناحیه جوش	۶۱
شکل ۴-۱۱.	آنالیز نقطه ای EDS از ناحیه جوش در فرآیند GTAW	۶۲
شکل ۴-۱۲.	تصویر FESEM از رسوبات بسیار ریز ناحیه جوش در فرآیند GTAW	۶۳
شکل ۴-۱۳.	الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی جزایر M-A	۶۳
شکل ۴-۱۴.	الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی فلز جوش فرآیند SMAW	۶۴
شکل ۴-۱۵.	تصویر میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی فلز جوش فرآیند GMAW	۶۵
شکل ۴-۱۶.	دیاگرام آهن-کربن و نشان دادن مناطق مختلف جوش روی آن	۶۷
شکل ۴-۱۷.	تصویر میکروسکوپ نوری نواحی مختلف جوش در فلز X70	۶۷
شکل ۴-۱۸.	شماتیک نمودار CCT برای فولاد های میکروآلیاژی	۶۹
شکل ۴-۱۹.	تصویر میکروسکوپ الکترونی از ناحیه متاثر از حرارت فولاد X80	۷۱
شکل ۴-۲۰.	مرز بین منطقه ریز دانه و درشت دانه فولاد X70 در فرآیند GTAW	۷۳
شکل ۴-۲۱.	تصویر میکروسکوپ نوری از ناحیه متاثر از حرارت فولاد X70	۷۴
شکل ۴-۲۲.	تصویر میکروسکوپ الکترونی از ناحیه متاثر از حرارت فولاد X80	۷۴
شکل ۴-۲۳.	رسوبات ناحیه متاثر از حرارت فولاد X70	۷۵
شکل ۴-۲۴.	تصویر میکروسکوپ نوری گسترش ناحیه متاثر از حرارت فولاد X80	۷۷
شکل ۴-۲۵.	تصویر میکروسکوپ نوری از ناحیه متاثر از حرارت فولاد X80	۷۸
شکل ۴-۲۶.	تصویر میکروسکوپ الکترونی از ناحیه متاثر از حرارت فولاد X80	۷۹
شکل ۴-۲۷.	تصویر FESEM از رسوبات منطقه HAZ درشت دانه در X80	۸۱

- شکل ۴-۲۸. رابطه دما با میزان انحلال رسوبات در فاز آستنیت. K: ثابت تعادل واکنش ۸۱
- شکل ۴-۲۹. تصویر نمودار خوردگی X70 ۸۳
- شکل ۴-۳۰. تصویر نمودار خوردگی X80 ۸۵
- شکل ۴-۳۱. منحنی نایکویست منطقه فلز جوش حاصل از فرآیندهای جوشکاری غیرمشابه ۸۷
- شکل ۴-۳۲. تاثیر فرآیند جوشکاری بر منحنی پلاریزاسیون سیکلی فلز جوش. ۸۸
- شکل ۴-۳۳. منحنی نایکویست ناحیه HAZ فولاد X70 ۹۰
- شکل ۴-۳۴. تاثیر فرآیندهای جوشکاری بر منحنی پلاریزاسیون سیکلی ناحیه متأثر از حرارت فولاد X70 ۹۱
- شکل ۴-۳۵. منحنی نایکویست ناحیه متأثر از حرارت فولاد X80 ۹۲
- شکل ۴-۳۶. تاثیر فرآیند جوشکاری بر منحنی پلاریزاسیون سیکلی ناحیه متأثر از حرارت فولاد X80 ۹۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۲. مقادیر عناصر سازنده مدار معادل الکتروشیمیایی.....	۳۶
جدول ۱-۳. ترکیب شیمیایی فلزات پایه و پرکننده بر حسب درصد وزنی.....	۴۵
جدول ۲-۳. پارامترهای جوشکاری.....	۴۷
جدول ۱-۴. نتایج حاصل از منحنی نایکویست فلز پایه X70.....	۸۳
جدول ۲-۴. نتایج حاصل از منحنی نایکویست فلز پایه X80.....	۸۵
جدول ۳-۴. نتایج حاصل از منحنی نایکویست منطقه فلز جوش.....	۸۶
جدول ۴-۴. نتایج حاصل از منحنی نایکویست ناحیه متأثر از حرارت فولاد X70.....	۸۸
جدول ۵-۴. نتایج حاصل از منحنی نایکویست ناحیه متأثر از حرارت فولاد X80.....	۹۲

چکیده

نام خانوادگی : ملکان	نام : ابوالفضل	شماره دانشجویی: ۹۱۱۷۰۰۳
عنوان پایان نامه : بررسی ریزساختار و رفتار خوردگی جوش اتصالات غیرمشابه API X80 / API X70		
اساتید راهنما: دکتر سید رضا علوی زارع، دکتر رضا دهملابی		
استاد مشاور: دکتر علی اشرفی		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی مواد	گرایش: جوشکاری
دانشگاه : شهید چمران اهواز	دانشکده: مهندسی	گروه : مواد
تاریخ فارغ التحصیلی : ۱۳۹۳/۱۱/۰۶		
تعداد صفحه: ۹۸		
کلید واژه ها: فولاد X80، X70، فرآیندهای جوشکاری، خوردگی، جوشکاری غیر مشابه، حرارت ورودی		
چکیده:		
<p>در این پژوهش هدف بررسی اتصال غیر مشابه دو فولاد کم آلیاژ استحکام بالا API X70 و API X80 حاصل از روشهای جوشکاری متفاوت و ارزیابی ریز ساختاری و رفتار خوردگی مناطق مختلف جوش حاصل بوده است. بدین منظور جهت ایجاد اتصال از سه فرآیند SMAW، GTAW و GMAW استفاده گردید. فیلرهای مورد استفاده در سه فرآیند به ترتیب شامل ER80S، E80S، 8018G می باشد. بررسی ریز ساختاری با استفاده از میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی (SEM) مجهز به سیستم آنالیز نقطه‌ای (EDS) صورت گرفت. برای بررسی رفتار خوردگی نیز از نمودار پلاریزاسیون سیکی و امپدانس استفاده گردید. بررسی ها نشان داد که در فرآیند GMAW به دلیل حرارت ورودی بالاتر، ناحیه متأثر از حرارت گسترده تر و دانه‌ها نیز در این ناحیه درشت شده‌اند. با افزایش حرارت ورودی در این فولادها حساسیت به خوردگی حفره‌ای در ناحیه متأثر از حرارت افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج، مقاومت به خوردگی خط جوش حاصل از فرآیند GMAW نسبت به دو فرآیند دیگر کمتر است. حرارت ورودی در این فرآیند نسبت به سایر فرآیندها دانست، بنابراین انتظار می‌رود سرعت سرد شدن در این فرآیند نسبت به دو فرآیند دیگر کمتر باشد. در نتیجه رسوبات زمان بیشتری برای رشد داشته باشند بطوریکه، از تعداد آنها کاسته ولی اندازه آنها درشت تر می‌شوند رسوبات از نظر الکتروشیمیایی نجیب‌تر نسبت به زمینه بوده پس در محیط خورنده به عنوان کاتد عمل خواهند نمود. به همین دلیل انتظار می‌رود هرچه این رسوبات ریزتر و پراکنده‌تر باشند مقاومت به خوردگی بیشتر می‌شود.</p>		

فصل اول

مقدمه

امروزه در تمام دنیا از فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا^۱ جهت انتقال نفت و گاز به طور گسترده استفاده می شود. تولید فولادهای استحکام بالا در دهه ۷۰ با تکنیک نورد ترمومکانیکی^۲ آغاز شد و به دنبال نتایج رضایت بخش استفاده از این فولادها و طی تحقیقات انجام گرفته محققان توانستند فولادهایی با استحکام بالاتر تولید کنند. یکی از انواع فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا فولاد API^۳ X70 می باشد که با تغییراتی در روش تولید در سالهای اخیر، به صورت فولاد API X80 نیز تولید گردید. فولاد X80 در مقایسه با رده‌ی پایین تر خود از خواص مکانیکی مطلوب تری برخوردار است.

پژوهش‌های فراوانی برای بهبود خواص این فولادها صورت گرفته است. دمای سرد کردن برای فولاد X80 باید بالای دمای Ar_3 باشد زیرا در این نقطه هنوز استحاله آستنیت به فریت صورت نگرفته است. در نتیجه با انجام نورد و تشکیل نابجایی‌ها، مکان‌های مستعد برای جوانه‌زنی فریت افزایش می‌یابد که موجب ریز شدن دانه‌های فریت می‌شود [۱].

ریز ساختار بهینه برای رسیدن به خواص مکانیکی بالا فریت سوزنی^۴ است. فریت سوزنی در مقایسه با فریت چندوجهی^۵ به علت بالا بودن چگالی نابجایی‌ها، خواص مکانیکی بالاتری دارد. فولادهای X80 به نحوی تولید شده‌اند که ساختار فریت سوزنی داشته و کاربیدهای آزاد این

¹ High Strength Low Alloy

² Thermomechanical

³ American Petroleum Institute(API)

⁴ Accular Ferrite

⁵ polygonal Ferrite

فولاد به صورت شبه جزیره‌هایی از اجزای آستنیت-مارتنزیت (M-A) در زمینه فریتی پراکنده شده باشند [۲]. با کاهش نرخ سرد شدن مقدار اجزای M-A کمتر ولی اندازه آنها درشت‌تر می‌شوند. با افزایش حرارت ورودی، درصد حجمی M-A کاهش می‌یابد، اما سختی این ترکیبات بالا می‌رود و بدین ترتیب تمرکز تنش ایجاد می‌شود و شکست راحت‌تر صورت می‌گیرد که موجب کاهش چقرمگی می‌شود [۲].

با توجه به تولید لوله‌ها از فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا و همچنین اتصال این لوله‌ها به روش جوشکاری، بررسی فرآیند جوشکاری و پارامترهای موثر بر ریزساختار و خواص هر سه منطقه جوش، ناحیه متأثر از حرارت و فلز پایه از اهمیت بالایی برخوردار است. برای کاهش آثار مخرب جوشکاری باید حالت بهینه‌ای از جوشکاری را انتخاب کرد. پارامترهای مختلفی مانند نوع فرآیند جوشکاری، نوع الکتروود، نوع سیم جوش، فلاکس‌ها، حرارت ورودی در رسیدن به ساختار بهینه بعد از جوشکاری موثر هستند. یکی از مشکلات اصلی جوشکاری این لوله‌ها روش مناسب برای جوشکاری آنها در بیابان است. نوع فرآیند جوشکاری محیطی در فولاد با استحکام بالا به منظور بدست آوردن جوش با کیفیت بالا از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر شکست‌های خطوط لوله گاز در محل جوش‌ها و بویژه در محل جوش‌های ایجاد شده در خط لوله اتفاق می‌افتد [۳]. با توجه به جایگزینی فولاد X70 با نوع X80 در بخشهایی از خطوط انتقال، بررسی اتصال غیر مشابه این دو فولاد و تاثیر نوع فرآیند جوشکاری بر خواص مناطق مختلف جوش، خصوصا ناحیه متأثر از حرارت، هدف اصلی این پژوهش است. در این راستا تاثیر نوع فرآیند بر تغییرات ریزساختاری و رفتار خوردگی اتصال دو فولاد میکروآلیاژی API X70 و API X80 مورد ارزیابی قرار گرفته است و تحولات آن مورد تحلیل گردیده‌اند.

فصل دوم

مروری بر پژوهش های پیشین

۱-۲. فرآیندهای مختلف جوشکاری

از آنجایی که در این پژوهش، دراتصال لوله‌ها از فرآیندهای مختلف جوشکاری استفاده گردیده است لذا در اینجا به ذکر اصول روش‌های مورد استفاده شامل جوشکاری قوس الکتریکی^۱، جوشکاری با گاز محافظ^۲، جوشکاری با گاز محافظ و الکتروود تنگستن^۳ به طور خلاصه اشاره شده است.

۱-۱-۲. جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود دستی

جوشکاری قوسی ابتدا توسط الکتروود کربن در سال ۱۸۸۱ و سپس توسط میله فولادی در سال ۱۸۸۸ شروع شد که مدتی نیز به صورت اولیه ادامه یافت. از همان ابتدا نیز به لزوم ایجاد پوشش بر روی میله توجه شده بود [4]. جوشکاری قوسی فلز پوشش دار یا جوشکاری قوسی دستی، فرآیندی است که در آن فلزات توسط حرارت ناشی از برقراری قوس بین الکتروود پوشش دار و قطعه کار ذوب شده به یکدیگر متصل می‌شوند (شکل ۱-۲)، این روش را جوشکاری با قلم جوش نیز می‌نامند. نگهدارنده الکتروود توسط یک کابل به یک خروجی منبع برق متصل شده و قطعه کار نیز به خروجی دیگر توان منبع قدرت متصل می‌گردد [4].

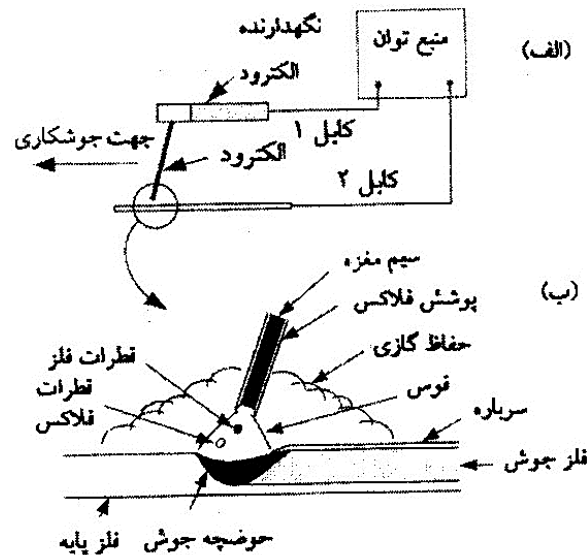
حرارت ناشی از قوس باعث می‌شود که هم سیم مغزه و هم پوشش الکتروود، در نوک

¹ Sheilded Metal Arc Welding (SMAW)

² Gas Metal Arc Welding (GMAW)

³ Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

الکتروود، به صورت قطرات مذاب درآید (شکل ۱-۲ ب). فلز مذاب به حوضچه جوش انتقال یافته و فلز جوش منجمد می‌شود. فلاکس مذاب که سبک‌تر است، بر روی سطح حوضچه مذاب شناور شده و به صورت یک لایه سرباره روی سطح فلز جوش منجمد می‌شود [۴].



شکل ۱-۲. شماتیکی از فرآیند SMAW (الف) شمای کلی فرآیند (ب) منطقه جوشکاری [۴].

۲-۱-۲. جوشکاری با گاز محافظ

جوشکاری تحت پوشش گازهای محافظ با الکتروود مصرفی GMAW فرآیند جوشکاری است که در آن بواسطه، ذوب شدن قطعه کار و الکتروود مصرفی با گرمای ناشی از قوس الکتریکی در حالیکه حوضچه جوش توسط یک گاز محافظ احاطه شده است، انجام می‌گیرد. معمولاً گاز محافظ شامل آرگون یا گاز کربنیک است. این فرآیند گاهی جوشکاری 'MIG، MAG' یا CO_2 نامیده می‌شود، و در آن تغذیه الکتروود یا سیم جوش بدون پوشش بصورت مداوم و گاهی با روش‌های خودکار انجام می‌گیرد [۴].

جوشکاری MAG، همانند فرآیند MIG بوده، با این تفاوت که در این روش حفاظت از

¹ Metal Inert Gas Welding(MIG)

² Metal Active Gas Welding(MAG)

جوش و منطقه مجاور، توسط گازهای فعال^۱ انجام شده و مناسب برای اتصال فلزات آهنی است. گاهی اوقات با اضافه کردن در صدی اکسیژن در گاز محافظ، برای جوشکاری فولادهای معمولی (فولاد ساده کربنی) به کار می‌رود، زیرا اضافه کردن مقدار کمی اکسیژن به گاز محافظ باعث آرام‌تر شدن و محوری شدن قطرات مذاب می‌شود و در نتیجه حوضچه جوش روان به وجود می‌آید که حوضچه جوش روان، ترکندگی بهتری ایجاد کرده و در نهایت جوش مسطح‌تر و صاف‌تری حاصل می‌شود [۴].

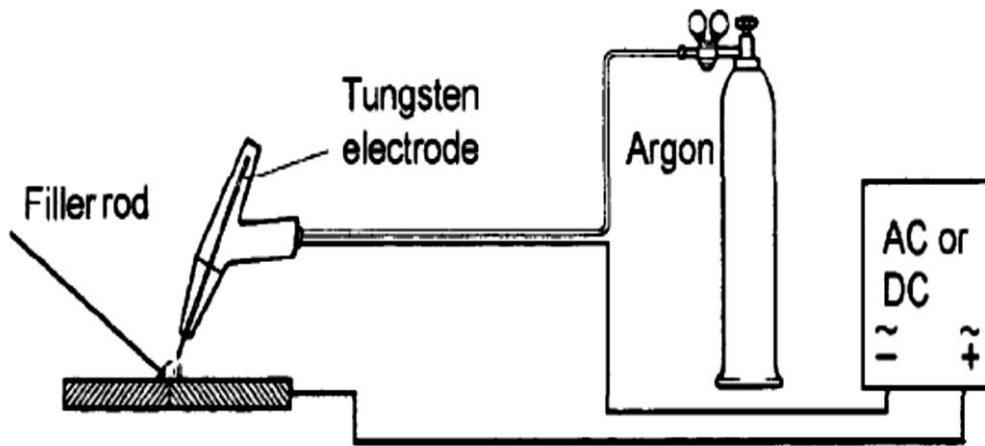
۳-۱-۲. جوشکاری با گاز محافظ و الکتروود تنگستن

فرآیند جوشکاری GTAW با استفاده از یک الکتروود مصرف نشدنی تنگستن که به وسیله گاز خنثی محافظت می‌شود، عمل می‌کند. الکتروود مورد نظر از جنس تنگستن خالص یا آلیاژ تنگستن با درصد کمی از اکسید توریم، زیرکونیم (جهت شروع و پایداری بهتر قوس) می‌باشد. با توجه به اینکه در این فرآیند از الکتروود غیرمصرفی استفاده می‌شود در مواردی که نیاز به فلز پرکننده است، باید فلز پرکننده به صورت جداگانه در معرض حرارت قرار گیرد و فرآیند انجام شود [۴].

شماتیک این فرآیند در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. عملکرد فرآیند به این صورت است که تخلیه الکتریکی باعث ایجاد قوس پلاسما بین نوک الکتروود و قطعه کار می‌شود. معمولاً قوس در ابتدا به وسیله یک منبع انرژی با فرکانس بالا ایجاد می‌شود و ایجاد یک جرقه کوچک مسیر انتقال جریان جوشکاری با ولتاژ پایین را فراهم می‌سازد. فرکانس پالس جرقه‌ای بالاست و تا چند مگاهرتز می‌رسد. پس از تشکیل قوس مجدداً فرکانس منبع مولد انرژی کاهش می‌یابد و انرژی حرارتی ناشی از قوس پلاسما ایجاد شده باعث ذوب فلز می‌شود. درجه حرارت قوس با افزایش شدت جریان و هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. به علاوه جریان اعمالی یک میدان مغناطیسی در اطراف حوضچه مذاب به وجود می‌آورد که در شرایط عملی این میدان به صورت غیرمقارن بوده و سبب ایجاد یک جریان گردابی در حوضچه مذاب می‌شود که این جریان گردابی بر هندسه و شکل حوضچه مذاب، انتقال حرارت از آن، همگن کردن ترکیب شیمیایی، کیفیت

^۱ Active Gases

سطح و همچنین حفرات گازی اثر می‌گذارد [4].



شکل ۲-۲. نمایش شماتیکی از فرآیند جوشکاری GTAW [۴].

۲-۲. تولید فولاد کم آلیاژ استحکام بالا

فولادهای API 5L که در تولید خطوط لوله کاربرد گسترده‌ای دارند، در رده فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا قرار دارند. در دهه‌ی ۷۰ میلادی فولاد X60 به روش نورد گرم و نرماله کردن تولید گردید، اما بکارگیری فرآیند ترمومکانیکی در تولید این فولادها منجر به تولید فولاد X70 گردید [۵].

نورد کنترل شده^۱ شامل عملیات نورد در دمای بالای تبلور مجدد آستنیت می‌باشد که این فرآیند سبب ایجاد دانه‌های ریز آستنیت توسط رسوبات نیتريد تیتانیم (TiN) می‌شود که در نتیجه از رشد دانه‌های آستنیت جلوگیری می‌کند، در ادامه ممکن است رشد دانه، نیز بسته به زمان، دما و میزان رسوبات اتفاق بیافتد. با کاهش دما، تبلور مجدد به صورت جزئی یا کامل متوقف شده و دانه‌های کرنش یافته و به حالت کشیده تولید می‌شود. به دنبال آن در مرحله‌ی پایانی نورد اندازه دانه‌های آستنیت توسط رسوب کربونیتريد های Ti,Nb کاهش می‌یابد [۶].

پس از اتمام فرآیند، هسته‌های فریت در مرز دانه‌های آستنیت قبلی تشکیل و در نتیجه این منجر به ایجاد ساختار بسیار ریزدانه‌ی فریت هم‌محور شده است. در نتیجه ریز ساختار در X70

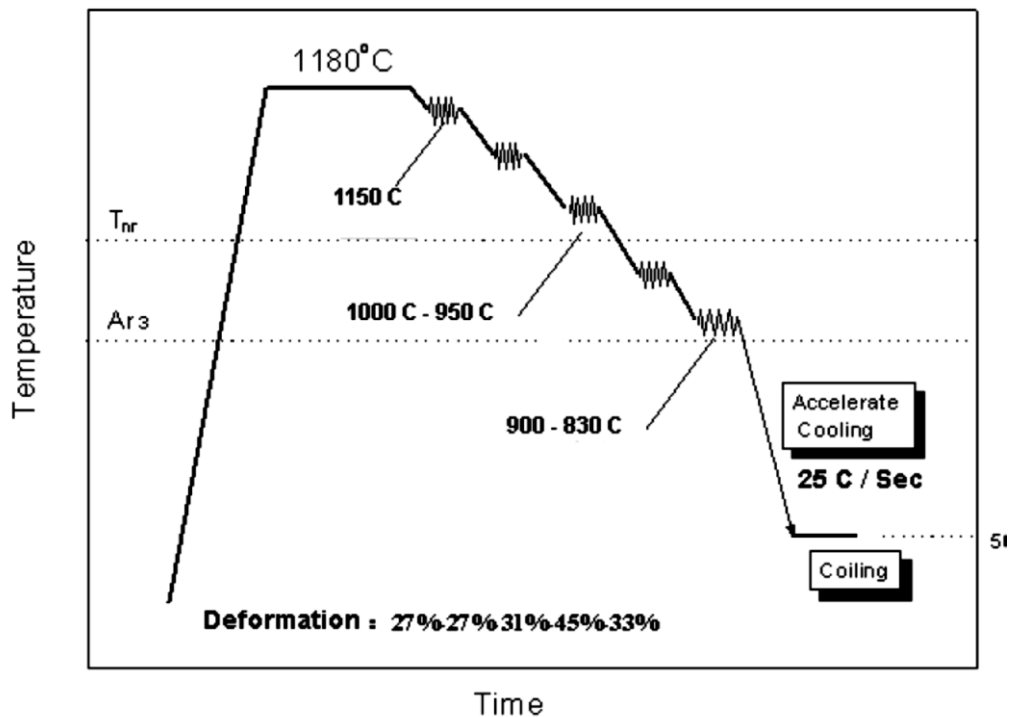
^۱ Controlled Rolling

شامل مرزهای اصلاح شده، فریت هم محور و پرلیت ورقه‌ای می‌باشد. عملیات ترمومکانیکی اندازه دانه‌های فریت را کاهش داده و سبب افزایش استحکام و چقرمگی به صورت هم‌زمان شده است. کاهش استحکام ناشی از کاهش پرلیت به وسیله رسوب سختی و استحکام بخشی توسط نابجایی‌ها جایگزین شده است [۷].

نیاز به افزایش بیشتر در استحکام و چقرمگی که منجر به تولید فولاد X80 شد، به وسیله تغییر ریزساختار از پرلیت-فریت به فریت-بینیت امکان پذیر گردید. در این نوع از فولادها ریزساختار بسیار ریز و یکنواخت توسط سریع سرد کردن پس از عملیات نورد ترمومکانیکی حاصل شد و تغییراتی در نوع رسوبات نسبت به نوع X70 مشاهده شد که ناشی از عناصر آلیاژی متفاوتی بود که در آن به کار گرفته شد [۷].

تولید فولاد X80 با سریع سرد کردن پس از فرآیند نورد انجام شد. این نوع فولادها دارای کربن کمتری نسبت به X70 بوده که در نتیجه خواص جوش پذیری بهتری دارند [۷]. در شکل ۲-۳ سیکل حرارتی عملیات ترمودینامیکی برای تولید فولاد X80 نشان داده شده است.

با تغییر پارامترهای متفاوت و بهینه نمودن ترکیب شیمیایی، عملیات ترمومکانیکی و سردکردن سریع در نهایت فولاد با استحکام بالاتر X100 و X120 توسعه یافته‌اند. به طور مثال در فولاد X100 از یک ترکیب آلیاژی با درصد کربن کم و یک فرآیند نورد دو مرحله‌ای و عملیات کوئنچ بهینه شده استفاده شد که منجر به بدست آوردن فولادی با ساختار کاملاً بینیتی شد.



شکل ۲-۳. سیکل حرارتی عملیات ترمومکانیکی تولید فولاد X80 [۸].

ترکیب شیمیایی آن فولادها بر اساس بهبود ریز ساختار و خواص مکانیکی انتخاب شده و برای بهبود جوش پذیری این نوع فولادها مقدار کربن به ۰/۱ درصد وزنی کاهش پیدا کرده است. همچنین جهت بهبود خواص استحکام و چقرمگی مقدار منگنز به ۱/۱ تا ۱/۶۵ درصد وزنی رسیده است. نیکل، کرم، مولیبدن و مس عمدتاً به عنوان عناصر پسماند و یا می‌توانند به صورت عمدی به منظور بهبود استحکام اضافه شوند. مقدار سولفور برای کاهش نرمی ناشی از تشکیل سولفید منگنز و بهبود چقرمگی ۰/۰۱ درصد وزنی مورد استفاده قرار گرفت. کلومیوم، وانادیم، نیوبیوم و تیتانیوم عمدتاً به صورت محلول جامد و کربونیتريد به منظور افزایش دمای تبلور مجدد آستنیت و محدود کردن رشد دانه‌های آستنیت و همچنین رسوب سختی به میزان ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ اضافه گردید [۹].

درفرآیندهای جوشکاری ذوبی رسوبات نیتريد تیتانیوم سبب محدود شدن رشد دانه‌های آستنیت در ناحیه HAZ جوش و جلوگیری از افزایش شدید سختی پذیری و کاهش زیاد در