

بررسی آزمون خستگی و ریزساختار با سیکل کم جوش لب به لب الکتروود دستی فولاد کم آلیاژ در نقاط توقف و شروع قوس

حمید محمدی مزرعه^۱ و دکتر غلامرضا خیاطی^۲ (نویسنده مسئول)

^۱گروه مهندسی مواد جوشکاری واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

^۲استادیار-مهندسی مواد و متالورژی-دانشگاه شیراز

چکیده

در این تحقیق خواص خستگی کم چرخه در مناطق پیوسته جوشکاری شده و در نقاط توقف و شروع قوس جوش لب به لب فولاد کم آلیاژ مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور فولاد ASTM A633 گرید D، به روش جوشکاری قوس الکتریک دستی به صورت لب به لب جوشکاری شده است. آزمون‌های خستگی تحت سیکل کم و همچنین متالوگرافی نوری میکروسکوپی بر روی نمونه‌ها انجام پذیرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهد که سیکل حرارتی جوشکاری نامناسب باعث ایجاد ساختار فریت دانه درشت و فریت ویدمن اشتاتن در نقاط توقف و شروع قوس گردیده است. در نقاط توقف و شروع قوس به دلیل ایجاد ساختارهای فریت مرزدانه ای درشت، آخال و تخلخل پدیده آغاز ترک تشدید گردیده و ایجاد ساختارهای فریت ویدمن اشتاتن باعث تسریع در رشد ترک شده است. نتایج نشان دهنده کاهش استحکام در این نمونه‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جوش لب به لب قوس الکتریک، مقاومت خستگی، فولاد کم آلیاژ، نقاط توقف و شروع قوس.

مقدمه

به فرایند موضعی تغییر فرم پلاستیک نقاطی از قطعه در نتیجه بارگذاری نوسانی، که با تشکیل ترک، منجر به شکست قطعات و سازه ها می شود. خستگی^۱ می نامند. آشنایی با پدیده ی خستگی و بررسی آن از اهمیت خاصی برخوردار است، چرا که قطعات جوشکاری شده ی زیادی در ماشین آلات و سازه های مختلف استفاده می شوند که تحت تاثیر بارگذاری متغیر و دینامیکی قرار دارند. با اینکه این بارهای متناوب، از حد تحمل قطعات کمتر هستند و در ظاهر نباید آسیبی به قطعه وارد شود، اما با گذشت زمان، بسیاری از آن ها مستهلک شده و می شکنند. به عنوان مثال می توان به محور چرخ خودرو و پل ها اشاره نمود که در تمام این موارد، قطعات تحت بارگذاری دینامیکی قرار دارند. در واقع برای استفاده از مواد مختلف در طراحی یک ماشین یا یک سازه جوشکاری شده که تحت بار تناوبی قرار می گیرد نباید فقط به حد مجاز تنش ها در آن ماده اکتفا نمود و باید عمر خستگی مواد را نیز در نظر گرفت. [۱]

در مورد اتصالات جوشکاری شده تحت بارگذاری دینامیکی (خستگی)، هندسه اتصال جوشکاری شده به خصوص کاهش در سطح مقطع، تمرکز موضعی تنش را سبب می شود. عیوب جوشکاری نیز باعث تمرکز بیشتر تنش می گردد. بیشترین میزان تمرکز تنش در پاشنه ی جوش^۲، ایجاد می شود و مقداری نیز ناشی از آخال های غیر فلزی ترک مانند زیر برش^۳ یا لبه سرد^۴ می باشند. اعمال حرارت و عملیات حرارتی که در جوشکاری انجام می شود، باعث تغییرات ساختاری در منطقه جوش شده و می تواند منجر به ایجاد تمرکز تنش شود. ترک خستگی، به سهولت در چنین مکان هایی جوانه زده و رشد کرده که باعث کاهش عمر قطعه می گردد. [۳]

در فرآیند جوشکاری نقایص مکانیکی، متالورژیکی و تغییرات ساختاری که از جمله ی آن ها می توان نقاط شروع / توقف، انتهای جوش ها و حتی محل های برخورد قوس با فلز پایه را نام برد که می توانند محل های مناسبی برای جوانه زنی و رشد ترک های خستگی باشند. نتایج آزمون های ریز ساختاری نمونه های آزمون خستگی نشان داد که در نقاط توقف و شروع دوباره قوس که سیکل حرارتی جوشکاری کنترل شده مناسبی در این مناطق انجام نشده، ساختار به صورت فریت دانه درشت و فریت ویدمن اشتاتن ناهمگن با سختی بالا تشکیل گردیده که باعث کاهش عمر خستگی نمونه ها شده است.

۱. لزوم انجام تحقیق

فولادهای با استحکام کششی بالا کاربرد گسترده ای در صنایع کشتی سازی، ساخت جرثقیل ها و مخازن دارند و برای ساخت اتصالات جوشکاری شده از این فولادها، غالباً از فرآیند جوشکاری الکترو دستی، که یکی از متداول ترین فرآیندهای جوشکاری مورد استفاده در کشور ما می باشد، استفاده می گردد. به دلیل آنکه این فرآیند جوشکاری به صورت دستی انجام می شود، لذا تداوم در برقراری پیوسته قوس به دلایلی مانند تمام شدن الکترو د، خستگی دست جوشکار و ... امکان پذیر نبوده و جلوگیری از وجود نقاط توقف و شروع دوباره قوس در منطقه ی جوشکاری شده اجتناب ناپذیر است.

نقاط توقف و شروع قوس می توانند بر حسب شکل هندسی و یا ساختار متالورژیکی، به ترتیب جزء عیوب هندسی و یا ساختاری طبقه بندی شوند. علیرغم اینکه تا امروز، اثر عیوب مختلف نظیر تخلخل، عدم نفوذ، بریدگی کناره ی جوش و حد پذیرش آن ها بر روی پدیده ی خستگی مورد بررسی جامعی قرار گرفته و استانداردهای مربوط به آن تدوین شده است، اما تاکنون اثر تغییرات ساختاری نقاط توقف و شروع قوس در قطعات جوشکاری شده بر روی شکست خستگی مورد بحث و بررسی قرار نگرفته است.

در تحقیق حاضر سعی بر آن است تا با انجام آزمایش خستگی و بررسی ریز ساختاری بر روی نقاط توقف و شروع قوس نمونه های جوشکاری شده فولاد ASTM A633-D، اثر تغییرات ساختاری نقاط توقف و شروع قوس بر استحکام خستگی این نمونه ها بررسی گردد.

¹ Fatigue

² Weld Top

³ Under cut

⁴ Cold Laps

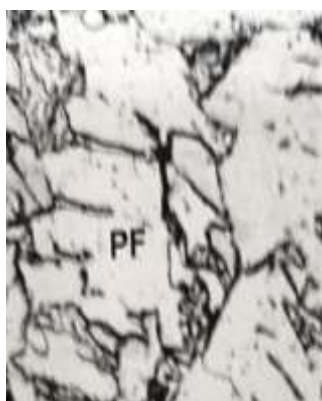
۲. مروری بر منابع

۱-۲. معرفی ریز ساختارها

ریز ساختار حاصل در ناحیه ی جوش فولادهای ASTM A633-D عموماً فریتی می باشد ، که فریت حاصل دارای سه نوع مختلف شامل : الف) فریت چند وجهی^۵ ، ب) فریت ویدمن اشتاتن^۶ ، ج) فریت سوزنی^۷ است . [۱۶]

۱-۲-۱. فریت چند وجهی

شکل ۱ فریت چند وجهی را نشان می دهد. فریت چند وجهی، فریت پرویوتکتوئیدی است و اولین فازی است که هنگام سرد شدن در طول مرزدانه های آستین در دمایی پایین تر از خط و A جوانه زده شده و رشد می کند [۱۷]. فریت چند وجهی فاز کم کربنی است که بر روی مرزدانه های آستین برای نفوذ هستند و هرچه طول این مسیره ها بیشتر باشد میزان نفوذ نیز بیشتر خواهد بود. در نتیجه به تدریج بر ضخامت این لایه های فریتی در مرزدانه ها افزوده می شود. در حقیقت نرخ ضخیم شدن و رشد این فریت ها توسط میزان نفوذ کربن در آستین کنترل می شود [۱۸]. این فریت مقاومت کمی از خود در برابر رشد ترک نشان می دهد [۱۷].



شکل ۱. فریت چند وجهی [۱۸]

۲-۱-۲. فریت ویدمن اشتاتن

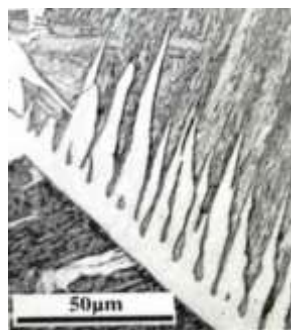
با ادامه یافتن روند سرد شدن در محدوده دمایی ۶۰۰ درجه سانتیگراد که دیگر عملاً میزان رشد نفوذی فریت به طور محسوسی کاهش می یابد [۱۶] و نرخ رشد لایه های فریت چند وجهی محدود می شود [۱۸]. فریت ویدمن اشتاتن جوانه زده و رشد می کند، علت این امر عدم تاثیر نفوذ بر فرآیند تشکیل فریت است [۱۹]. از این رو نرخ تشکیل آن در دماهای پایین کند نیست [۱۷]. دانه های اولیه فریت ویدمن اشتاتن مستقیماً از روی سطح دانه های آستین جوانه زده و به سمت داخل این دانه ها رشد می کند و این در حالی است که دانه های بعدی فریت ویدمن اشتاتن از روی هر نوع فریت که موجود باشد رشد خواهد کرد [۲۰].

حضور فاز سخت و تیغه ای شکل فریت ویدمن اشتاتن در ریز ساختار، چقرمگی را به شدت کاهش می دهد. علاوه بر این، حضور فریت ویدمن اشتاتن میزان حساسیت به ترک را نیز افزایش می دهد. علت این امر به وجود آمدن تنش های کششی بر روی مرزهای تیغه ای شکل فریت در حین تشکیل می باشد [۱۹]. از اهمیت رو مرزهای تیغه ای شکل فریت مسیره های مناسبی برای رشد ترک می باشند [۲۰]. مورفولوژی این فریت در شکل ۲ نشان داده شده است.

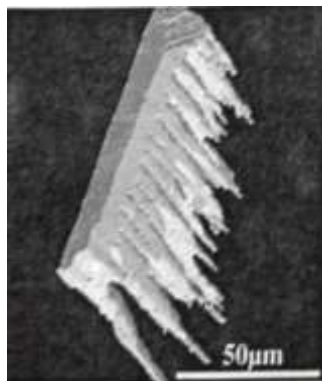
⁵ Polygonal Ferrite

⁶ Widman Statten Ferrite

⁷ Acicular Ferrite



(الف)



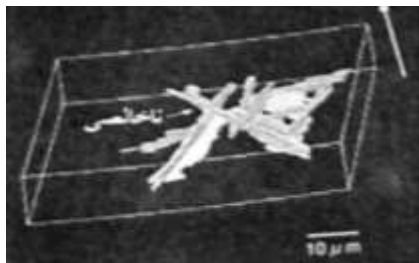
(ب)

شکل ۲. مورفولوژی فریت ویدمن اشتاتن (الف) تصویر سه بعدی (ب) تصویر متالوگرافی [۲۰]

۳-۱-۲. فریت سوزنی

در محدوده دمایی ۶۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد فاز دیگری به نام فریت سوزنی تشکیل می شود. این فاز از دانه های بسیار ریز با ساختار داخلی لایه های در هم قفل شده^۸، تشکیل شده است. فاز فریت سوزنی داخل دانه های آستنیت اولیه به صورت یک سری از لایه ها و یا صفحه ها تشکیل می شود. این فاز حاوی درصد کربن بسیاری پایینی (۰/۰۸ درصد) بوده و هر هنگام تشکیل آن کربن اضافی به آستنیت باقی مانده مهاجرت می کند [۲۱]. تحت این شرایط و با توجه به محدوده دمایی و محل تشکیل فریت ویدمن اشتاتن و فریت سوزنی، جوانه زنی و رشد این دو فاز کاملاً رقابتی می باشد [۱۸]. در نتیجه هر عاملی که موجب افزایش جوانه زنی و فریت سوزنی بر مرزدانه های آستنیت شود، عاملی در برابر جوانه زنی و رشد فریت ویدمن اشتاتن خواهد بود.

فریت سوزنی به علت ساختار در هم پیچیده (شکل ۳) و دانه های ریز و نیز ایجاد تنش های فشاری بر روی مرزهای خود بیشترین مقاومت به رشد ترک را از خود نشان می دهد [۱۹]. خواص استحکام بالا، چقرمگی بالا و سختی مناسب فولادهای کربن منگنری به علت حضور این فاز در ریز ساختار است [۱۷].



(الف) تصویر متالوگرافی

^۸Enter lock



(ب) تصویر سه بعدی [۲۳]

شکل ۴. مورفولوژی فریت سوزنی

۳. روش پژوهش

۳-۱. مواد مصرفی

در این تحقیق از ورق های فولادی کربنی استحکام بالا از نوع فولاد کم آلیاژ ASTM A633-D به ضخامت ۱۵ میلی متر استفاده گردید که ترکیب شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است. سیم جوش مورد مصرف جهت جوشکاری نیز از نوع E8018-C₃-H₄ بوده است که ترکیب شیمیایی آن هم در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولاد ASTM A633-D بر حسب درصد وزنی

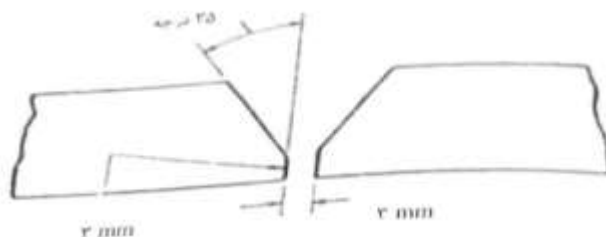
Ni	Cr	P	Si	Mn	C
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۰۵	۰/۲۵	۱/۵	۰/۰۳۶

جدول ۲. ترکیب شیمیایی سیم جوش بر حسب درصد وزنی

P	Cu	Al	S	Mn	Si	C
۰/۰۷	۰/۸۲	۱۲۰	۰/۰۳	۱/۴۱	۰/۸۲	۰/۰۷

۳-۲. آماده سازی

با توجه به کد ASME Sec IX و اینکه طرح اتصال جزو متغیرهای غیر اساسی می باشد، جهت ایجاد طرح اتصال مناسب از استاندارد ISO9692 استفاده شد. با استفاده از دستگاه برش اکسی استیلن اتوماتیک، تعداد ۴ عدد نمونه از ورق فولادی ASTM A633-D به ابعاد ۱۵×۳۰×۱۵ میلی متر تهیه گردید و سپس با استفاده از دستگاه پخ زن، طرح اتصال مناسب ایجاد شد که تصویر شماتیک آن در شکل ۲،۳ ارائه شده است. پس از آن مناطق معینی بر روی ورق ها علامت گذاری شد که در آن ها قوس باید به طور عمدی قطع و دوباره قرار می شد. قبل از جوشکاری نمونه ها، الکترودها به مدت دو ساعت در کوزه تا دمای ۳۵۰ درجه سانتی گراد گرم شدند.



شکل ۵. تصویر شماتیک طرح اتصال

۳-۳. جوشکاری و برشکاری نمونه ها

ورق های تهیه شده به صورت طرح اتصال جناغی یک طرفه، پس از قرار گرفتن در فیکسچر توسط دستگاه جوشکاری الکتروود دستی با شرایط یکسان جوشکاری از نظر آمپر، ولتاژ و سرعت جوشکاری (حرارت های ورودی یکسان) جوشکاری گردیدند. بر روی ورق های نقطه ای که از قبل علامت گذاری شده بود، قوس قطع و سپس دوباره برقرار شد. پارامترهای جوشکاری برای نقطه ای که در آن ها قوس به طور پیوسته برقرار بود، طبق جدول ۳ اندازه گیری گردید، در حالیکه در نقاط توقف و شروع دوباره قوس پارامترهای جوشکاری بر اساس بود. از ورق های جوشکاری شده (شکل ۶) نمونه هایی از نقاط مختلف توسط اره مغناطیسی بریده شدند.

جدول ۳. مشخصات جوشکاری در حالت تداوم قوس

سرعت (cm/min)	ولتاژ	آمپر	
۸/۱۴	۲۲-۲۶	۱۲۲	پاس اول
۷/۶۳	۲۱-۲۳	۱۲۲	پاس دوم
۸/۱۴	۲۱-۲۵	۱۲۲	پاس سوم
۷/۶۵	۲۱-۲۶	۱۲۲	پاس چهارم
۸/۰۲	۲۱-۲۶	۱۲۲	پاس پنجم

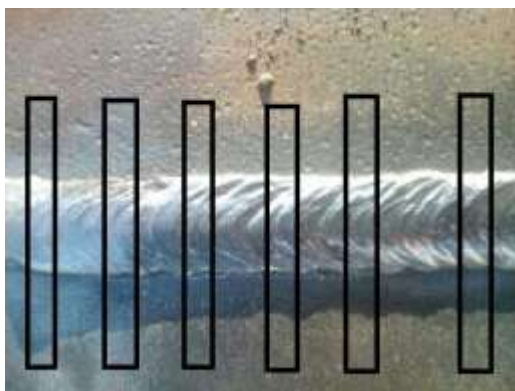
جدول ۴. مشخصات جوشکاری در نقاط توقف و شروع قوس

ولتاژ (V)	آمپر (A)	
۱۹	۱۲۵	پاس اول
۱۷	۱۲۵	پاس دوم
۱۹	۱۲۸	پاس سوم
۱۹	۱۲۵	پاس چهارم
۱۹	۱۲۵	پاس پنجم



شکل ۶. تصویر قطعه ی جوشکاری شده

پس از جوشکاری نمونه ها، از نقاط علامت گذاری شده بر روی ورق های جوشکاری، به منظور توقف و شروع دوباره قوس، نمونه هایی توسط اره مغناطیسی برشکاری شد. همچنین از نقاطی که قوس پیوسته برقرار بود نمونه هایی برشکاری شد. مطابق شکل ۷ این نمونه ها از نقاط تداوم قوس و نقاطی که قوس متوقف و دوباره شروع شده، تهیه شد.

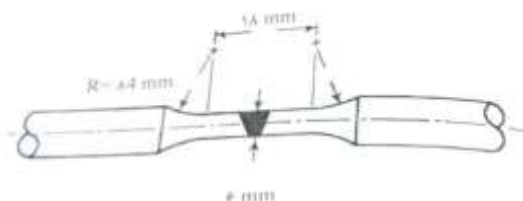


شکل ۷. نحوه ی برشکاری نمونه ها

۳-۴. آزمون ها

۳-۴-۱. تهیه نمونه ی خستگی کم دامنه

نمونه های آزمون خستگی با توجه به استاندارد ASTM E466 به تعداد ۸ نمونه از نقاطی که در آنها قوس به صورت پیوسته ادامه داشت و ۷ نمونه از مناطقی که در آن قوس قطع و وصل شده بود، تهیه گردیدند. به نحوی که فلز جوش در مرکز نمونه قرار گیرد. نمونه هایی از نقاطی که در آن قوس در هر پاس جوشکاری به طور پیوسته ادامه داشت، با عنوان نمونه های A و نمونه هایی از نقاطی که در آنها قوس در همه پاس ها قطع و دوباره برقرار شده بود. با عنوان نمونه های B نام گذاری شدند. ابعاد نمونه ی استاندارد آزمون در شکل ۷ مشاهده می شود. همچنین تصویر نمونه ساخته شده در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷. تصویر شماتیک نمونه خستگی



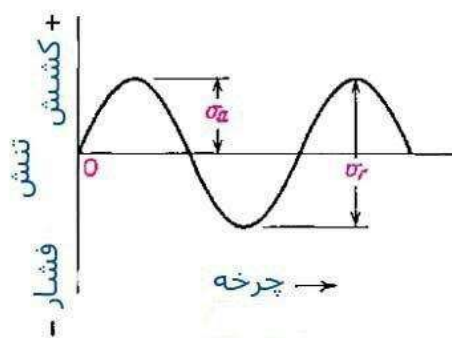
شکل ۸. تصویر نمونه ی ساخته شده

۳-۴-۲. آزمایش خستگی کم دامنه

همه آزمایشات خستگی تحت بارگذاری محوری مستقیم در دستگاه آزمایش خستگی سروویدرولیک تحت کنترل بار و در دمای محیط (تقریباً ۲۰ درجه سانتیگراد) انجام شد. نمونه های A و B توسط دستگاه آزمایش خستگی Instron مدل ۸۵۰۲ (شکل ۹) به صورت کشش- فشار تحت بارگذاری قرار گرفتند که نمودار اعمال نیرو در شکل ۱۰ ارائه شده است. با توجه به استحکام نهایی هر کدام از نمونه های A و B حداکثر نیروی اعمالی به آنها مشخص شد. سیکل خستگی نیز با توجه به استاندارد ASTM E466 به صورت حداکثر و حداقل آن برابر حداقل بود در نظر گرفته شد.



شکل ۹. دستگاه تست خستگی Instron مدل ۸۵۰۲



شکل ۱۰. نمودار اعمال نیرو

شکست در نمونه ها به صورت شکستگی کامل نمونه و یا وقتی که گسترش ترک از یک حد معین تقریباً برابر ۰.۱٪ کرنش تجاوز کند، تعریف می شود.

۳-۴-۳. آزمون متالوگرافی

از نقطه ای که در آن قوس قطع و وصل شده بود، که در شکل ۱۱ نیز مشخص است، نمونه ای جهت بررسی سختی و متالوگرافی بریده شده و پس از سنباده زنی با سنباده های ۱۰۰ تا ۲۵۰۰ و پولیش، در محلول نایتال ۲ درصد حکاکی شدند. علاوه بر آن عملیات متالوگرافی و سختی سنجی بر روی محل شکست یک نمونه از A و یک نمونه از B نیز انجام شد. جهت شناسایی ساختار در فلز پایه، فلزجوش و محل شکست از میکروسکوپ نوری مدل OLYMPUS BX51M با بزرگنمایی مختلف استفاده شد.



شکل ۱۱. محل تهیه ی نمونه های متالوگرافی و سختی سنجی

۴. نتایج و بحث

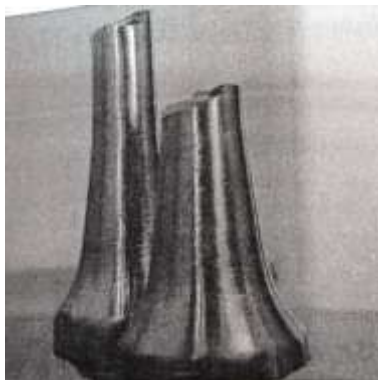
۴-۱. آزمون خستگی

آزمون خستگی به صورت کشش- فشار در فرکانس ۳ هرتز و $R=-1$ بر روی ۸ نمونه از نمونه های A و ۷ نمونه از نمونه های B انجام شد. بر طبق جدول ۵ با اعمال تنش های مشخص، تعداد سیکل ها تا شکست نهایی نمونه ی متناظر با هر تنش ثبت شد.

جدول ۵. نتایج آزمون خستگی

نمونه ی B		نمونه ی A	
تنش (MPa)	تعداد سیکل	تنش (MPa)	تعداد سیکل
۳۰۰	۱۱۰۳۵۴	-	-
۳۵۰	۲۲۳۷۰	۳۵۰	۹۸۵۲۰
۳۷۵	۱۲۱۵۰	۳۷۵	۲۹۸۵۶
۴۰۰	۶۵۸۹	۴۵۰	۶۸۹۱
۵۰۰	۲۲۴۵	۵۰۰	۳۵۶۲
۵۴۰	۱۶۳	۵۴۰	۳۸۲

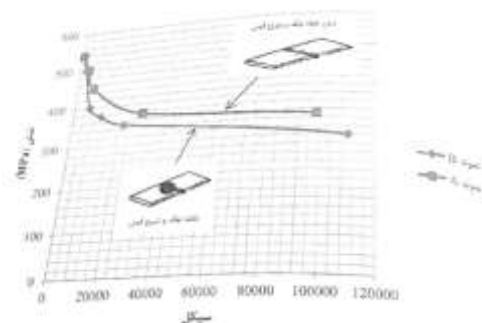
از آنجایی که در سازه های جوشکاری شده به دلیل وجود ساختارهای ناهمگن و سخت که مستعد ترک و تنش های کششی اضافی، در محل وقوع شکست منطقه جوش می باشد، لذا در آزمون های خستگی انجام شده، کلیه ی نمونه ها با زاویه مایل و از منطقه جوش دچار ترک و شکست شد (شکل ۱۲)



شکل ۱۲. نمونه ی شکست خستگی

همان طور که در شکل ۱۳ مشاهده می شود، در این آزمایش نمونه های A از استحکام خستگی بهتری نسبت به نمونه های B برخوردار بودند.

استحکام خستگی یک اتصال جوشکاری شده مستقل از استحکام کششی ماده است. علیرغم اینکه افزایش استحکام کششی در فولادها سبب افزایش استحکام خستگی آنها می شود، در اتصالات جوشکاری شده به دلیل مکانیزم پیچیده و سیکل حرارتی، افزایش استحکام کششی الزاماً سبب افزایش استحکام خستگی نمی شود. برای جوش ها با توجه به وجود عیوب میکروسکوپی اجتناب ناپذیر و تغییرات ساختار، افزایش استحکام مکانیکی تاثیر چندانی در بهبود خواص خستگی ندارد.



شکل ۱۳. نمودار مقایسه ی نتایج خستگی

۲-۴. ریز ساختار

۱-۲-۴. ریز ساختار فلز پایه

شکل ۱۳ نتایج آزمایش متالوگرافی در قسمت فلز پایه را نشان می دهد، همان گونه که مشاهده می گردد، ریز ساختار فلز پایه از فریت با دانه های یکنواخت تکمیل شده است. تعدادی حفره که احتمالاً جای خالی ذرات رسوبی باشد، در فلز پایه مشاهده می شود.



شکل ۱۳. ساختار فلز پایه (بزرگنمایی ۲۰۰)

۲-۲-۴. ریز ساختار فلز جوش در نمونه B

شکل ۱۴ که ریز ساختار فلز جوش را در نمونه ی B نشان می دهد، مشخص می کند که اندازه ی دانه ها در پاس های بالایی بزرگتر از پاس های پایین بوده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱۴. ساختار فلز جوش با بزرگنمایی ۲۰۰ در (الف) پاس پنجم، (ب) پاس چهارم

ساختار در پاس رویه با توجه به انجماد جهت دار به صورت دانه های ستونی می باشد، اما در پاس های زیرین به دلیل عملیات حرارتی ناشی از پاس های بالایی و اینکه در آنها ابتدا یک مرحله انجماد در نقطه ی توقف قوس انجام شده و با شروع مجدد قوس، دانه ها دچار تبلور مجدد شده و اصلاح دانه در آن انجام شده، دانه ها ریزتر شده اند. علاوه بر این، حرارت جوشکاری باعث میشود فلز پایه به همراه الکتروود ذوب شده و با آن امتزاج پیدا کند. در پاس اول عناصر آلیاژی از فلز پایه وارد جوش شود، در صورتی که در پاس های بالاتر، امتزاج فلز جوش با فلز پایه کمتر شده و بیشتر عناصر آلیاژی از الکتروود وارد حوضچه جوش می شود. لذا با تغییر ترکیب شیمیایی در پاس های مختلف، ساختار آنها نیز متفاوت خواهند بود.

۳-۲-۴. ریز ساختار ناحیه ی شکست در نمونه های A و B



شکل ۱۵. ریز ساختار ناحیه ی شکست با بزرگنمایی ۲۰۰ در (الف) نمونه A (ب) نمونه B

همانطور که در شکل ۱۵ نشان داده شده است، ساختار در ناحیه شکست نمونه های A و B متفاوت است که این تغییرات ساختاری باعث تغییر استحکام خستگی در هر کدام از نمونه های شده است. ب بررسی ساختارهای موجود در سطوح شکست نمونه های شکسته شده در تست خستگی، به نظر می رسد که علاوه بر ساختارهای فریت سوزنی، فریت دانه درشت و ویدمن اشتاتن مشاهده شده، حضور حفره ها و یا رسوبات میکرونی موجود در نمونه ی B و سیکل حرارتی جوش بر خواص مکانیکی

تأثیر گذاشته است. در نمونه ی A ساختار عملیات حرارتی و دچار تبلور مجدد شده و دانه های فریت ریز به صورت همگن یکنواخت توزیع شده اند. اما در نمونه ی B ساختار به صورت دانه های فریت درشت، فریت مرزدانه ای و فریت ویدمن اشتاتن است.

به طور کلی دانه بندی های ریزتر، استحکام خستگی بهتری نسبت به دانه های درشت دارند. البته به جز در دماهای بالا که در آن اندرکنش خزش / خستگی بوجود دارد. دانه های ریزتر، کرنش های منطقه ای را در امتداد باندهای لغزش کاهش داده و باعث کاهش مقدار لغزش های برگشت ناپذیر می شوند. در نتیجه مرزدانه های بیشتری را برای کمک به توقف ترک بین کریستالی و تغییر شکل فراهم می کنند و بدین ترتیب نرخ رشد ترک خستگی کاهش می یابد. در واقع به دلیل اینکه خستگی من دامنه از کرنش ناشی می شود، فریت مرز دانه ای به دلیل ساختار نرم کرنش بیشتری در آن ایجاد میشود و باعث میشود تغییر شکل منجر به شکست در این منطقه سریع تر انجام شود که با مقایسه ساختاری ناحیه شکست در هر دو نمونه، استحکام خستگی کمتر در نمونه ی B قابل توجیه است.

۵. جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات

- ساختارهای فریت دانه ریز، کرنش های منطقه ای را در امتداد باندهای لغزش، کاهش داده و مرزدانه های بیشتری را برای کمک به توقف ترک و تغییر شکل فراهم می کنند.
- در نمونه های چند پاس، حرارت حاصل از جوشکاری پاس رویه بر روی پاس های زیرین، حکم فرآیند تمپر را ایفا نموده است و موجب تبلور مجدد و ریزدانه شدن ساختار گردیده است.
- در کنار کاهش اندازه ی دانه، همگن شده ساختار و کاهش درصد فریت ویدمن اشتاتن به عنوان مسیر مرجع برای رشد ترک خستگی، عمر خستگی در نمونه هایی که قوس پیوسته برقرار بوده است افزایش می یابد.
- مرزدانه های فریت ویدمن اشتاتن به واسطه ی حضور تنش های پسماند کششی بهترین مسیر برای رشد ترک است و از آنجاییکه فریت ویدمن اشتاتن بیشتری در ساختار فلز جوش نقاط توقف و شروع قوس دیده می شود، استحکام به خستگی در فلز جوش این نقاط کمتر است.

۱-۵. پیشنهادات برای تحقیقات آتی

۱. مقایسه ی استحکام خستگی در نقاط توقف و شروع قوس در جوش فولاد زنگ نزن با فرآیندهای GTAE, FSW, EBW.
۲. بررسی تاثیر عملیات حرارتی بر استحکام خستگی نقاط توقف و شروع قوس در جوش نبشی.
۳. بررسی حد پذیرش عیوب ساختاری و متالوژیکی در شکست خستگی
۴. بررسی عددی تنش پسماند در نقاط توقف و شروع قوس در جوش الکتروود دستی فولادهای زنگ نزن.

منابع

- [1] Maddox, Si.; "Key Developments in the Fatigue Design of Welded Constructions", IIW Portvin Lecture, p.p. 7-40, 2003.
- [2] Kirkhope, K.J., Bell, R., Caron, L. and Basu, R.I.; "Weld Detail Fatigue Life Improvement Techniques", Ship Structure Committee, p.p. 6-110, 1997 .
- [3] Lancaster, J.F.; "Metallurgy of welding", London, Chapman & Hall Co, 1976.
- [4] Metallography and Microstructures 9th ed.", ASM Handbook, Vol. 09, Metals Park Ohio: ASM International, p.p. 282-290, 1992 .
- [5] Bhadeshia, H. K. D. H.; "Interpretation of the Microstructure of Steels", Institute of Ferrous Technology, Korea, p.p. 24-39, 1991 .
- [6] Sindo Kou.; "Welding Metallurgy 3rd ed.", New York: John Wiley & Sons Inc, 2003 .

[7] Cheng, X.L., Wan, K.M. Wu; "Three-dimensional Morphology of Grain Boundary Widmanstatten Ferrite in a Low Carbon Low Alloy Steel", Materials Characterization, Vol. 61, p.p. 192 -197, 2010 .

[۸] اکرامی، علی اکبر؛ خستگی فلزات، مرکز نشر دانشگاهی، صفحات ۱۵-۴۳، ۱۳۸۰.

[9] ASTM Designation: E 466, "Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials", ASTM International, p.p. 1-5, 1996 .