بررسی آزمایشگاهی تعداد دفعات جوشکاری تعمیری در محل اتصال بر روی استحکام کششی قطعه فولادی

محمود میرزاآقایی
دانشجوی کارشناسی ارشد-سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، آمل، ایران
علی سیدکاظمی*
عضو هیأت علمی تمام وقت، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، آمل، ایران
*a.seyedkazemi@iauamol.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۲۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۰۸/۳۰

چکیده:

فولاد کاربرد وسیعی در صنعت ساختمان دارد و یکی از اتصالات متعارف فولاد، اتصال جوشی است. کیفیت جوش باید با شرایط مندرج در استاندارد مورد استفاده و با قرارداد منطبق باشد. در صورتی‌که این موارد احراز نگردد باید اقدامات اصلاحی بر اساس استاندارد انجام گیرد. پس از اجرای اقدامات اصلاحی قطعه باید مجدداً تحت بازرسی، آزمون و کنترل کیفی قرار بگیرد و با شرایط مورد نیاز مطابقت داده شود و شرایط و علل ایجاد عیب باید بدرستی بررسی و رفع گردد. رفع عیوب جوش‌های غیرقابل قبول بعنوان تعمیرات جوش نامیده می‌شود. در این تحقیق تأثیر تکرار عملیات جوشکاری تعمیری بر خواص کششی قطعه در ناحیه اتصال مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور چهار نمونه (نمونه بدون تعمیر، یکبار تعمیر، دو بار تعمیر و سه بار تعمیر) با ضخامتهای ۱۰ میلیمتر و ۲۰ میلیمتر، بصورت شیاری یکطرفه (v شکل) جوشکاری شدند و ارزیابی مقاومت در برابر کشش انجام شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که برای نمونه‌های به ضخامت ۱۰ و ۲۰ میلیمتر، مقدار میانگین تنش‌های تسلیم و تنش‌های نهایی در حالت سه بار تعمیر نسبت به حالت بدون تعمیر افزایش می‌یابند. همچنین گسیختگی حاصل از کشش نمونه‌ها اغلب در خارج از منطقه متأثر از حرارت رخ می‌دهد و استحکام کششی فولاد نرمه(St۳۷) با انجام سه بار تکرار تعمیر در نواحی جوشکاری شده، قابل پذیرش می باشد.

کلید واژگان: فلز پایه، فلز جوش، ناحیه متأثر از حرارت، جوشکاری تعمیری، استحکام کششی

۱. مقدمه

در حال حاضر فولاد یکی از مهمترین مصالح برای احداث سازه‌ها محسوب می‌شود. مقاومت کششی فولاد (تنش تسلیم) مصرفی در بازه ۲۴۰۰ تا ۷۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع قرار دارد که برای ساختمانهای معمولی از فولاد با مقاومت ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع (فولاد نرمه) استفاده می‌گردد. مهمترین مشخصه مکانیکی فولاد نمودار تنش- کرنش آن می‌باشد که از روی آن، تنش تسلیم و یا جاری شدن بدست می‌آید. آنچه فولاد را به عنوان یک مصالح ساختمانی مناسب معرفی کرده است عبارتند از: تغییر شکل در اثر بارگذاری و ایجاد تنش یکنواخت، وجود خاصیت الاستیک و پلاستیک، چکش‌خواری و تورق، خمش‌پذیری، خاصیت فنری و جهندگی، چقرمگی، خاصیت سختی استاتیکی و دینامیکی، مقاومت نسبی بالا، ضریب ارتجاعی بالا، جوش‌پذیری، همگن بودن، امکان استفاده از ضایعات و امکان تقویت مقاطع در صورت نیاز. حال اگر ضعفهای محدود این ماده نظیر مقاومت کم در برابر خوردگی و عدم مقاومت در برابر آتش سوزیهای شدید به درستی مورد توجه و کنترل قرار گیرد امکانات وسیعی در اختیار طراح قرار می‌دهد. با وجود قدمت نسبتاً طولانی استفاده از جوش در ساخت اسکلت فولادی و کاربرد اتصالات جوشی در صنعت ساختمان، هنوز نقایص زیادی در اجرای ساختمانهای فولادی جدید مشاهده می‌شود. نقایص در اتصالات بویژه جوش‌های معیوب بدلیل تأثیری که بر شرایط بهره برداری خواهند داشت حائز اهمیت بوده و نباید مورد چشم پوشی واقع شوند بلکه باید با سنگ زدن و جوشکاری مجدد عیوب جوش را رفع نمود [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷]. در حال حاضر نگرانی‌هایی در مورد جوش‌های تکراری بر قطعه بعلت ایجاد ضعف‌های احتمالی در محل اطراف اتصالات وجود دارد و این نشان از اهمیت جوشکاری تعمیری در صنعت ساختمان می‌باشد از طرفی از دیدگاه مهندسین متالوژی و مواد نیز جوشکاری تعمیری یکی از فرآیندهای مهم تعمیرات و نگهداریست که شامل جوشکاری ترمیمی و سطح پوشانی می‌گردد. قطعات بطور پیوسته دچار سایش، خوردگی و شکست می‌شوند. در بسیاری از موارد امکان جایگزینی قطعه کاملاً مشابه وجود ندارد. این موضوع در مواردی که قطعه قدیمی باشد بیشتر صدق می‌کند و اهمیت جوشکاری تعمیراتی را در صنایع نشان می‌دهد. از دیدگاه عمومی تعمیرهای تکراری در جوش می‌تواند روی سازه تأثیرهای مختلفی بگذارد از جمله تغییر در ریز ساختار منطقه متأثر از حرارت، تغییر در مقاومت به خوردگی و تغییر در سختی و استحکام کششی. تحقیقاتی نیز در زمینه جوشکاری تعمیری در صنایع هوایی، دریایی، مخازن تحت فشار و لوله، انجام شده است. اکثر پژوهش‌های انجام شده در مورد جوشکاری تعمیری شامل کلیات و مراحل اجرای جوشکاری ترمیمی و آشنایی با عیوب و روشهای ترمیم و انواع جوشکاری می‌باشد. در برخی از مطالعات با استفاده از شبیه‌سازی عددی به تأثیر و توزیع تنش‌های باقیمانده پس از تکرار تعمیر پرداخته شده است. پژوهش‌های محدودی نیز در مورد تأثیر جوشکاری تعمیری بر خواص مکانیکی و خوردگی انجام شده است. محرمی و همکاران به تحلیل تغییر شکل و تنش‌های پسماند در جوش تعمیری یک قطعه نیروگاهی به کمک آنالیز محدود پرداختند. در تحقیق آنها هدف کنترل تنش‌های پسماند ناشی از فرآیند جوشکاری بود و بدین منظور از شبیه-سازی سه بعدی و تهیه مدل پارامتریک در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که با انتخاب پارامترهای مناسب برای فرآیند تعمیر می‌توان مشکلات پس از جوشکاری را تا حد امکان کاهش داد [۸]. توکلی شوشتری و همکاران نیز به بررسی اثر عملیات حرارتی بعد از جوشکاری بر تغییرات ریز ساختار و سختی فولاد زنگ نزن سخت شونده PH ۱۷-۴ ترمیم شده، پرداختند. در این تحقیق یک قطعه فولادی استوانه‌ای شکل به قطر ۹۳ میلیمتر و طول ۴۰۰ میلیمتر از جنس فولاد زنگ نزن PH ۱۷-۴ تحت جوشکاری ترمیمی قرار گرفت و شرایط عملی با فرض وجود عیب یا ترک احتمالی در قطعه شبیه‌سازی شد. ابتدا شیاری با فرز به منظور از بین بردن آن عیب، ایجاد و سپس جوشکاری گردید. بعد از عملیات جوشکاری، نمونه‌ها در سه شرایط مختلف دمایی (۴۸۰، ۵۵۰ و ۶۲۰ درجه سلیسیوس) و بر اساس استاندارد ASTM A۷۰۵ تحت حرارت قرارگرفتند. نتایج آنها نشان داد عملیات حرارتی بعد از جوشکاری باعث حذف ناحیه متأثر از جوش[1] و کاهش غیر یکنواختی ریز ساختار در مناطق جوش و فلز پایه می‌شود. همچنین شرایط بهینه به ازای درجه حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس حاصل شد [۹]. غلامی و همکاران به بررسی تأثیر تکرار عملیات جوشکاری تعمیری بر ریز ساختار، خواص مکانیکی و خوردگی فولاد P۴۶۰N پرداختند. فولاد P۴۶۰N از نوع فولادهای میکرو آلیاژی بوده و از استحکام مطلوبی در حد فولادهای آلیاژی در بین فولادهای کم کربن و کم آلیاژ برخوردار است و کاربرد وسیعی در محیط‌های دریایی دارد. جهت بررسی ریزساختار مناطق مختلف فلز پایه، منطقه متأثر از حرارت و فلز جوش، از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترون روبشی استفاده گردید و خواص مکانیکی با اندازه‌گیری میکروسختی در مناطق مختلف بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که چگالی جریان خوردگی در منطقه متأثر از حرارت با افزایش تعداد دفعات تعمیر کاهش می‌یابد و سختی در منطقه متأثر از حرارت نزدیک به فلز پایه در دفعه اول تعمیر نسبت به نمونه بدون تعمیر افزایش قابل توجهی دارد و با افزایش دفعات تعمیر، مقدار سختی کاهش می‌یابد. همچنین سختی در منطقه متأثر از حرارت نزدیک به فلز جوش با افزایش دفعات تعمیر افزایش می‌یابد [۱۰]. ناسکمینتو و همکاران در سال ۲۰۱۱ تأثیر تعمیرات جوشکاری با قوس الکتریکی با الکترود تنگستن تحت پوشش گازهای محافظ خنثی (GTAW) را بر مقاومت خستگی محوری اتصال جوشی فولاد AISI ۴۱۳۰ بررسی کردند. این نوع از اتصال در بدنه هواپیما استفاده می‌شود و برای ایمنی پرواز حیاتی است. آزمایشات خستگی در درجه حرارت اتاق بر روی صفحات گرم نورد به ضخامت۰/۸۹ میلیمتر با دامنه ثابت و نسبت

[1] HAZ

بار/R=۰ در فرکانس ۲۰ هرتز انجام شدند. آنها نشان دادند که مقاومت خستگی با افزایش تعداد تعمیرات GTAW کاهش می‌یابد و تحت تأثیر تغییرات ریز ساختاری و ریز سختی، فاکتورهای هندسی پروفیل جوش و میدان تنش پسماند قرار دارد [۱۱]. گِگِل و همکاران در سال ۲۰۱۳ مطالعه‌ای به منظور بررسی اثر تعمیرات جوش بر روی خواص مکانیکی و فیزیکی محصولات ریخته‌گری[1] انجام دادند. نتایجی که بدست آمد نشان می‌داد که تعمیر صحیح جوش محصولات ریخته‌گری با کیفیت، هیچ اثری بر خواص کششی استاتیکی و دینامیکی محصول ریخته‌گری ماسه E۳۵۷-T۶ ندارد. آنها پیشنهاد کردند که جوشکاری GTA زمانی که به طور صحیح صورت بگیرد می‌تواند برای اتصال قطعات ریخته‌گری ماسه به یکدیگر یا اتصال محصولات چکش خور[2] (از آلیاژ مناسب) به محصولات ریخته‌گری مناسب باشد [۱۲]. گورکا در سال ۲۰۱۳ به مطالعه تأثیر جوشکاری تعمیری بر خصوصیات اتصال جوشی فولاد S۷۰۰mc پرداخت. او نشان داد که مقدار حرارت داده شده به اتصال در طول جوشکاری فولادی که تحت اصلاح حرارتی مکانیکی با محدودیت‌های بالای پلاستیکی قرار گرفته است، مسئله‌ای حیاتی است. انرژی خطی فرآیند جوشکاری باید به kj/cm ۸ محدود شود. بعلاوه، حرارت اضافی اعمال شده به اتصال بعد از فرآیند جوشکاری (جوشکاری تعمیری) می‌تواند به زوال سریع خصوصیات اتصال منجر شود، به خصوص مقاومت مواد می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد. حرارت دادن بیش از حد ناحیه اتصال جوشکاری باعث تبلور مجدد و رشد محدوده بلوری در ناحیه متأثر از حرارت می‌شود که به نوبه خود منجر به از دست رفتن خصوصیات بدست آمده از فرآیند اصلاح حرارتی مکانیکی می شود. این حرارت بیش از حد در اتصالات نیز منجر به فرآیندهای انفصال غیر قابل کنترل شده که به نوبه خود موجب زوال خصوصیات اتصال جوش می شود[۱۳]. ونچون و همکاران در سال ۲۰۱۳ به مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تعمیرات متعدد جوش بر ریز ساختارها، سختی و تنش پسماند در ورق فولادی با روکش ضد زنگ فولادی[3] پرداختند. آنها از اندازه گیری پراش نوترون برای تعیین تنش پسماند جوش استفاده کردند. نتایج نشان می‌داد که جوش تعمیری دارای ۹ ناحیه با ریز ساختار متفاوت بود. در نواحی حد فاصل بین فلز پایه و فلز جوش یک لایه نفوذی به دلیل نفوذ عناصرکربن، کروم، نیکل و آهن تشکیل می‌شود. لایه نفوذی حاوی مارتینزیت که سختی بیشتری از فلز همجوار دارد، باید قبل از تعمیر دوباره، کاملا زدوده شود. در حد فاصل جوش و روکش، در طول ناحیه ذوب، فریت کوتاه تشکیل می‌شود. با افزایش تعداد تعمیرات، ناحیه ذوب ضخیمتر شده و محتوای فریت کوتاه نیز افزایش می‌یابد که منجر به حفره‌هایی در جوش‌های تعمیری سوم و چهارم می‌شود. در ناحیه ذوب نمونه با چهار بار تعمیر، فریت بسیار بیشتری تشکیل می‌شود چرا که عنصر کروم بیشتری به ناحیه ذوب نفوذ می‌کند. تنش پسماند به تدریج از مرکز جوش افزایش می‌یابد و در ناحیه متأثر از حرارت به بیشترین حد میرسد و بعد از آن کاهش می‌یابد. به دلیل کاهش سختی، تنش پسماند نمونه با چهار بار تعمیر کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن ملاحظات کلی زیر ساختارها، تنش پسماند و سختی، آنها پیشنهاد می‌کنند که ورق روکش‌دار بیش از ۲ بار تعمیر نشود[۱۴]. زین الدینی و همکاران در سال ۲۰۱۳ به مطالعه آزمایشگاهی تأثیر جوشکاری تعمیری بر خطوط لوله دریایی پرداختند. آنها از روش‌های نیمه مخرب حفر سوراخ ناقص[4] و برش مخرب[5] برای اندازه‌گیری تنش پسماند استفاده کردند. به طور کلی نتایج حاصل از دو روش اندازه‌گیری مطابقت قابل قبولی داشتند. نتایج آنها نشان می‌داد که تنش‌های پسماند نسبتاً بزرگ بوده و در مجاورت جوش به صورت کششی هستند و بزرگی آنها در این قسمت تقریباً برابر با مقاومت تسلیم فلز جوش است. تنش‌های کششی ایجاد شده ناشی از تعمیرات کامل و جزئی در مجاورت خط مرکزی نمونه‌ها اندکی افزایش داشت. تنش پسماند فشاری در نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌هایی که فقط تحت جوشکاری اصلی قرار داشتند، بیشتر به خط مرکزی میل می‌کرد. تکرار جوشکاری تعمیری در نواحی یکسان، بزرگی و توزیع تنش پسماند را بخصوص در نواحی نزدیک به خط مرکزی جوش تحت تأثیر قرار می‌داد.[۱۵].

هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر تکرار عملیات جوشکاری تعمیری در محل اتصال بر روی استحکام کششی فولاد نرمه (St37) می‌باشد با توجه به کاربرد گسترده‌ای که این فولاد در صنعت ساختمان دارد و نیز با عنایت به لزوم ترمیم مجدد جوشکاری در بسیاری از قطعات ساختمانی، انجام مطالعات گسترده دراین زمینه ضروری است.

۲. جوشکاری ترمیمی

جوشکاری ترمیمی به سه دسته جوشکاری تکمیلی در حین تولید[6]، اصلاح جوشکاری‌های غیر قابل قبول[7] و جوشکاری تعمیری حین کارکرد قطعه[8] تقسیم می‌شوند که در ادامه به توضیح مختصری در مورد آنها پرداخته می‌شود:

۲-۱. جوشکاری تکمیلی در حین تولید

این نوع از جوشکاری ترمیمی به نوع فرآیند تولید بستگی دارد. برای نمونه در قطعات ریختگی، از جوشکاری تکمیلی برای حذف حفره‌ها، کاهش تخلل و یا اصلاح ابعاد و اندازه قطعات استفاده می‌شود. در جوشکاری تکمیلی، توجه به میزان حرارت ورودی و کنترل تنش‌های پسماند احتمالی بسیار ضروری است و عدم دقت در آن می‌تواند کارکرد

[1] castings
[2] wrought products
[3] stainless steel clad plate

[4] blind hole drilling
[5] destructive sectioning
[6] finishing weld
[7] correction of non-confirming weld
[8] repair weld

قطعه را مختل کند. در برخی از موارد اعمال عملیات حرارتی خاصی نیاز می‌باشد.

۲-۲. اصلاح جوشکاری‌های غیر قابل قبول

کیفیت جوش و رواداری‌های قطعه باید با شرایط موجود در استاندارد ها و قراردادهای مورد استفاده، انطباق داشته باشد و در صورت عدم احراز شرایط استاندارد، باید اقدامات اصلاحی انجام گیرد. پس از اجرای اقدامات اصلاحی قطعه باید مجدداً تحت بازرسی، آزمون و کنترل کیفی قرار گرفته و با شرایط مورد نیاز مطابقت و شرایط و علل ایجاد عیب باید بدرستی بررسی و رفع گردد.

۲-۳. جوشکاری تعمیری حین کارکرد قطعه

اگر قطعه، حین کارکرد دچار شکست شود و یا عیوبی در جوش و یا فلز پایه ایجاد گردد قبل از انجام جوشکاری تعمیری باید علل و عوامل شکست قطعه شناسایی شوند. ساختار و خواص مکانیکی فلز پایه و نیز مواد مصرفی جوش به دقت بررسی شوند و جوشکاری ترمیمی باید مطابق با استاندارد و طبق برنامه‌ای مشخص انجام گیرد.

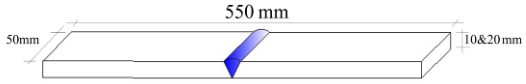
با توجه به تعاریف فوق، جوشکاری ترمیمی در صنعت ساختمان اغلب مربوط به اصلاح جوشکاری‌های غیر قابل قبول می‌باشد. بعنوان مثال طبق استاندارد AWS D ۱-۱ [۷] هر گونه ترک مستقل از سایز و محل قرارگیری آن، غیر قابل پذیرش است و باید نسبت به برداشتن جوش معیوب و جوشکاری مجدد (جوش تعمیری) اقدام نمود.

۳. مواد و روش تحقیق

در این مطالعه از فولاد نرمه(St۳۷) استفاده شد. الکترود آما به کد استاندارد ۱۰۴۷P (E۶۰۱۰) به قطر ۳/۲۵ میلیمتر برای پاس ریشه و برای پاس پر کننده الکترود میکا E۶۰۱۳ به قطر ۴ میلیمتر انتخاب شدند (شکل ۱). ۱۵ نمونه به ابعاد ۱۰×۵۰×۵۵۰ میلیمتر و ۱۵ نمونه به ابعاد ۲۰×۵۰×۵۵۰ میلیمتر تهیه شدند.

شکل ۱- مصالح مصرفی

برای عملیات جوشکاری، نمونه‌ها ابتدا به دو قسمت مساوی برش داده شدند و سپس با زاویه ۳۰ درجه لبه‌سازی شدند و طرح اتصال به علت ضخامت کم ورق‌ها بصورت V در نظر گرفته شد. نمونه‌ها به صورت لب به لب برای انجام عملیات جوشکاری قرار گرفتند. شکل ۲ طرح اتصال جوش لب به لب و شکل ۳ نمونه‌ای از قطعه لبه‌سازی شده در آزمایشگاه را نشان می‌دهند.



شکل ۲- طرح اتصال جوش لب به لب

شکل ۳- نمونه ای از قطعه لبه‌سازی شده

فرآیند جوشکاری به روش دستی و در شرایط کارگاهی انجام شد و ماشین جوشکاری مورد استفاده اینورتر مدل AW۲۵۰ بود. جوشکاری با قطبیت معکوس(DCRP) انجام شد. برای پاس‌های ریشه(پاس اول) آمپر بین ۱۰۰ تا ۱۱۰ و برای پاس های دوم و سوم آمپر بین ۱۶۰ تا ۱۸۰ و برای پاس‌های بعدی آمپر بین ۱۴۰ تا ۱۵۰ تنظیم گردید. پارامترهای جوشکاری بسته به قطر الکترود و با استفاده از استاندارد الکترود طوری انتخاب شد که جوشی با ظاهر سالم و عمق نفوذ کافی حاصل شود. تصویری از نمونه‌های جوشکاری شده در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

شکل۴- نمونه‌های جوشکاری شده

پس از عملیات جوشکاری، در نمونه جوشکاری شده برای اولین تعمیر، یک شیار به عمقی برابر ضخامت ورق با زاویه ۳۰ درجه با دستگاه سنگ تعبیه شد و با همان پارامترهای قبلی، جوشکاری مجدد انجام گرفت. این کار برای نمونه دوبار و سه بار تعمیر تکرار شد. به منظور

بررسی و مقایسه استحکام نمونه‌ها در آزمون کشش، نمونه‌ها مطابق استاندارد (ASTM E8) در اندازه مشخص آماده شدند (شکل ۵).

شکل۵- نمونه‌های آماده‌سازی شده مطابق استاندارد برای آزمون کشش

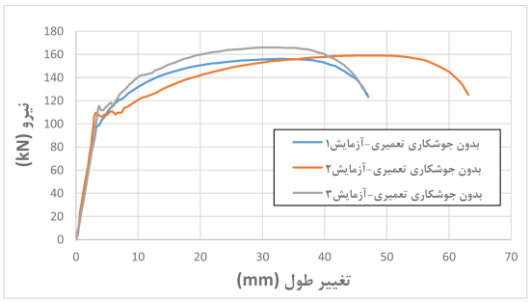
۴. یافته‌های پژوهش

نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه و آماده‌سازی مطابق استاندارد (ASTM E8)، تحت کشش قرار گرفتند تا اینکه گسیخته شدند. شکل ۶ نمونه‌های گسیخته شده را نشان می‌دهد.

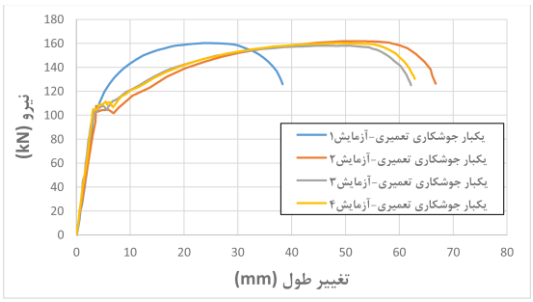
شکل ۶- نمونه‌های گسیخته شده

نتایج حاصل از کشش نمونه‌های جوشکاری شده بدون تعمیر، یکبار تعمیر، دوبار تعمیر و سه بار تعمیر در اشکال ۷ تا ۱۴ نشان داده می‌شوند. در جداول ۱ تا ۸ مقادیر بدست آمده برای تنش حد تسلیم، مقاومت کششی، ازدیاد طول نسبی نمونه‌ها در هنگام گسیختگی، فاصله منطقه شکست از محل جوش و انرژی مستهلک شده توسط نمونه‌ها قبل از گسیختگی به ازای دفعات مختلف جوشکاری تعمیری ارائه شده‌اند. نتایج حاصل از آزمون کشش برای نمونه‌های به ضخامت ۱۰ میلیمتر و نمونه‌های به ضخامت ۲۰ میلیمتر که در مراحل مختلف تعمیر جوشکاری شده‌اند حاکی از آن است که:

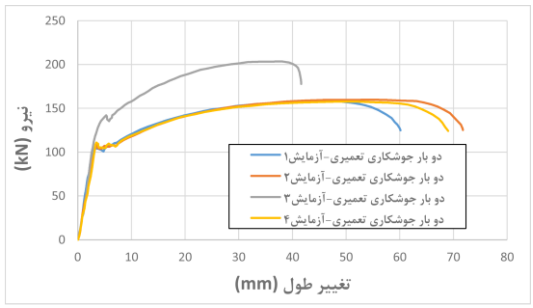
گسیختگی نمونه‌ها اغلب در خارج از منطقه متأثر از حرارت رخ می‌دهد و حد جاری شدن نمونه‌های بدون تعمیر، یکبار تعمیر، دوبار تعمیر و سه بار تعمیر بیش از ۲۴۰ مگا پاسکال و مقاومت کششی کلیه نمونه‌ها بیش از ۳۷۰ مگا پاسکال می‌باشد. مقدار میانگین تنش‌های تسلیم و تنش‌های نهایی در نمونه با ضخامت ۱۰ میلیمتر در وضعیت یکبارتعمیر نسبت به نمونه بدون تعمیر به ترتیب حدود ۴٪ و ۰/۸٪کاهش ولی در وضعیت دوبار تعمیر به ترتیب ۸٪ و ۶٪ افزایش و در وضعیت سه بار تعمیر نیز به ترتیب ۱۶٪ و ۱۴٪ افزایش می‌یابد.



شکل۷- نمودارهای نیرو- تغییرمکان در حالت بدون جوشکاری تعمیری برای نمونه‌ها با ضخامت ۱۰ میلیمتر



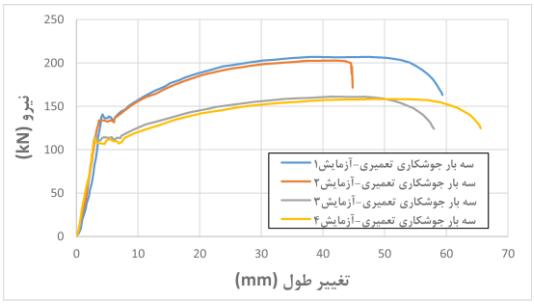
شکل۸- نمودارهای نیرو- تغییرمکان در حالت یکبار جوشکاری تعمیری برای نمونه‌ها با ضخامت ۱۰ میلیمتر



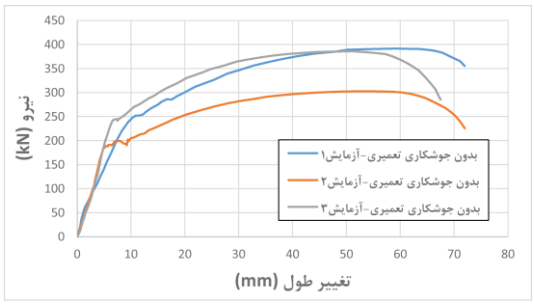
شکل۹- نمودارهای نیرو- تغییرمکان در حالت دو بار جوشکاری تعمیری برای نمونه‌ها با ضخامت ۱۰ میلیمتر

مقدار میانگین تنش‌های تسلیم و تنش‌های نهایی در نمونه با ضخامت ۲۰ میلیمتر در وضعیت یکبار تعمیر نسبت به نمونه بدون تعمیر به ترتیب ۴٪ و ۲٪ افزایش ولی در وضعیت دوبار تعمیر به ترتیب ۸٪ و

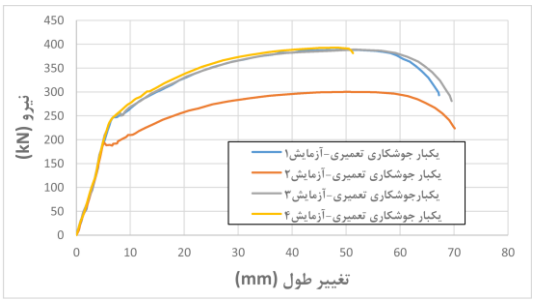
۱۲٪ کاهش و در وضعیت سه بار تعمیر نسبت به نمونه بدون تعمیر به ترتیب ۷٪ و ۰/۴٪ افزایش می‌یابد.



شکل۱۰- نمودارهای نیرو- تغییرمکان در حالت سه بار جوشکاری تعمیری برای نمونه‌ها با ضخامت ۱۰ میلیمتر

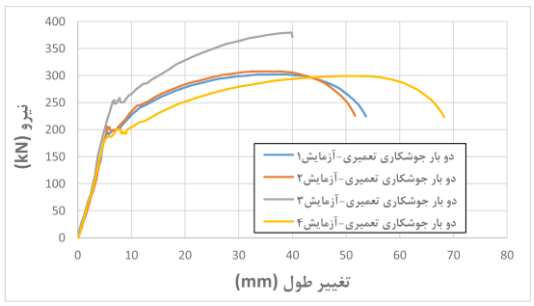


شکل۱۱- نمودارهای نیرو- تغییرمکان در حالت بدون جوشکاری تعمیری برای نمونه‌ها با ضخامت ۲۰ میلیمتر

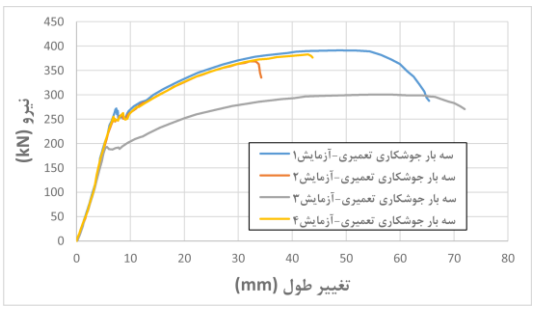


شکل۱۲- نمودارهای نیرو- تغییرمکان در حالت یکبار جوشکاری تعمیری برای نمونه‌ها با ضخامت ۲۰ میلیمتر

میانگین مدول الاستیسیته در نمونه‌های با ضخامت ۱۰ میلیمتر در وضعیت یکبار تعمیر نسبت به نمونه بدون تعمیر اندکی کاهش ولی در وضعیت دوبار تعمیر و سه بار تعمیر افزایش پیدا می‌کند. همچنین میانگین مدول الاستیسیته در نمونه‌های با ضخامت ۲۰ میلیمتر با افزایش تکرار تعمیرات جوشکاری روند افزایشی داشته است. با افزایش تکرار تعمیر جوش مقدار متوسط انرژی مستهلک‌شده توسط نمونه‌ها قبل از گسیختگی (با توجه به سطوح زیر منحنی‌ها) برای نمونه‌های با ضخامت ۱۰ میلیمتر افزایش پیدا می‌کند در حالیکه برای نمونه‌های با ضخامت ۲۰ میلیمتر کاهش می‌یابد.



شکل۱۳- نمودارهای نیرو- تغییرمکان در حالت دو بار جوشکاری تعمیری برای نمونه‌ها با ضخامت ۲۰ میلیمتر



شکل۱۴- نمودارهای نیرو- تغییرمکان در حالت سه بار جوشکاری تعمیری برای نمونه‌ها با ضخامت ۲۰ میلیمتر

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی تعداد دفعات جوشکاری تعمیری در محل اتصال بر روی استحکام کششی قطعات فولادی پرداخته شد. علت انجام این تحقیق تردیدی است که گاها در مهندسین عمران برای تکرار عملیات جوشکاری در ناحیه نیازمند تعمیر، ایجاد می‌شود. مبنی بر اینکه فرایند تکرار جوش، ممکن است مقاومت کششی قطعه را در ناحیه اتصال بشدت کاهش دهد طوریکه از مقادیر مجاز آیین نامه‌ها کمتر گردد. در این مطالعه، دو نمونه با ضخامت‌های ۱۰ و ۲۰ میلیمتر تحت حالت‌های مختلف جوشکاری تعمیری (بدون تعمیر، یکبار تعمیر، دو بار تعمیر و سه بار تعمیر) قرار گرفتند و سپس روی نمونه‌ها آزمایش کشش مستقیم انجام شد. جهت اطمینان از دقت پاسخ‌ها، هرکدام از آزمایش‌ها چهار بار تکرار شده و میانگین نتایج با هم مقایسه گردیدند. نتایج نشان می‌دهند گسیختگی حاصل از کشش نمونه‌ها اغلب در خارج از منطقه متأثر از حرارت رخ داده است. همچنین تأثیر تکرار عملیات جوشکاری بر مقاومت کششی نمونه‌ها، به ضخامت ورق وابسته است. بطوریکه برای ورق به ضخامت ۱۰ میلیمتر، بیشترین مقاومت کششی

به ازای سه بار تکرار تعمیر حاصل شده است که در مقایسه با نمونه بدون تعمیر ۱۴٪ افزایش دارد. در حالیکه برای ورق با ضخامت ۲۰ میلیمتر، بیشترین مقاومت کششی به ازای یک بار عملیات تعمیر بدست آمده است که در مقایسه با نمونه بدون تعمیر ۲٪ افزایش دارد. در تمامی آزمایشات انجام شده، حد جاری شدن نمونه‌های بدون تعمیر، یکبار تعمیر، دوبار تعمیر و سه بار تعمیر بیش از ۲۴۰ مگا پاسکال و مقاومت کششی کلیه نمونه‌ها بیش از ۳۷۰ مگا پاسکال بوده است. بنابراین می‌توان اظهار نظر کرد استحکام کششی فولاد نرمه (St۳۷) با انجام سه بار تکرار تعمیر در نواحی جوشکاری شده، در صورت تأیید کیفیت جوش طبق استاندارد، قابل پذیرش است. اگرچه نتایج اولیه حاصل از این مطالعه، تردیدها در مورد کاهش شدید مقاومت کششی بدلیل تکرار عملیات جوشکاری را می‌کاهد ولی نیاز است مطالعات بیشتری بویژه در مورد ورق‌ها با ضخامت بیشتر از ۲۰ میلیمتر و جوشکاری با الکترودها با استحکام بالا (E70) انجام گیرد.

جدول۱- نتایج بدست آمده از آزمون اول کشش نمونه‌ها با ضخامت ۱۰ میلیمتر

تعداد دفعات جوشکاری تعمیری	ضخامت (mm)	تنش حد تسلیم (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	ازدیاد طول نسبی (٪)	منطقه شکست فاصله از جوش(cm)	انرژی مستهلک شده (Joule)
بدون تعمیر	۱۰	۲۴۷	۳۹۰	۱۷/۵۰	۶/۵۰	۶۴۶۳/۱
یکبار جوشکاری تعمیری	۱۰	۲۵۸	۴۰۲	۱۵/۵۰	۸/۰۰	۵۱۸۰/۰
دو بار جوشکاری تعمیری	۱۰	۲۶۲	۳۹۶	۲۳/۰۰	۷/۶۰	۸۹۰۲/۷
سه بار جوشکاری تعمیری	۱۰	۳۵۲	۵۲۰	۲۳/۵۰	۶/۳۰	۱۰۴۹۴/۹

جدول۲- نتایج بدست آمده از آزمون دوم کشش نمونه‌ها با ضخامت ۱۰ میلیمتر

تعداد دفعات جوشکاری تعمیری	ضخامت (mm)	تنش حد تسلیم (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	ازدیاد طول نسبی (٪)	منطقه شکست فاصله از جوش(cm)	انرژی مستهلک شده (Joule)
بدون تعمیر	۱۰	۲۷۵	۳۹۹	۲۴	۷/۵۰	۸۸۰۵/۱
یکبار جوشکاری تعمیری	۱۰	۲۵۳	۳۹۶	۲۳/۵۰	۶/۰۰	۹۱۷۹/۸
دو بار جوشکاری تعمیری	۱۰	۲۷۶	۴۰۰	۲۸/۰۰	۶/۸۰	۱۰۲۲۲/۰
سه بار جوشکاری تعمیری	۱۰	۳۳۴	۵۰۸	۱۸/۰۰	۰	۷۷۰۱/۵

جدول۳- نتایج بدست آمده از آزمون سوم کشش نمونه‌ها با ضخامت ۱۰ میلیمتر

تعداد دفعات جوشکاری تعمیری	ضخامت (mm)	تنش حد تسلیم (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	ازدیاد طول نسبی (٪)	منطقه شکست فاصله از جوش(cm)	انرژی مستهلک شده (Joule)
بدون تعمیر	۱۰	۲۹۰	۴۱۵	۱۷/۵۰	۶/۷۰	۶۲۶۲/۶
یکبار جوشکاری تعمیری	۱۰	۲۶۲	۴۰۰	۲۳/۵۰	۷/۸۰	۸۳۷۹/۲
دو بار جوشکاری تعمیری	۱۰	۳۵۷	۵۱۲	۱۵/۰۰	۶/۸۰	۷۲۸۶/۱
سه بار جوشکاری تعمیری	۱۰	۲۹۰	۴۰۴	۲۲/۵۰	۷/۵۰	۸۳۸۰/۴

جدول۴- نتایج بدست آمده از آزمون چهارم کشش نمونه‌ها با ضخامت ۱۰ میلیمتر

تعداد دفعات جوشکاری تعمیری	ضخامت (mm)	تنش حد تسلیم (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	ازدیاد طول نسبی (٪)	منطقه شکست فاصله از جوش(cm)	انرژی مستهلک شده (Joule)
بدون تعمیر	۱۰	.....	.....	.....	.....	.....
یکبار جوشکاری تعمیری	۱۰	۲۶۶	۳۹۳	۲۴/۰۰	۷/۷۰	۹۰۴۸/۲
دو بار جوشکاری تعمیری	۱۰	۲۷۸	۳۹۵	۲۶/۰۰	۹/۸۰	۹۷۸۴/۵
سه بار جوشکاری تعمیری	۱۰	۲۸۱	۳۹۷	۲۵/۵۰	۶/۶۰	۹۲۲۶/۰

جدول۵- نتایج بدست آمده از آزمون اول کشش نمونه‌ها با ضخامت ۲۰ میلیمتر

تعداد دفعات جوشکاری تعمیری	ضخامت (mm)	تنش حد تسلیم (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	ازدیاد طول نسبی (٪)	منطقه شکست فاصله از جوش(cm)	انرژی مستهلک شده (Joule)
بدون تعمیر	۲۰	۳۱۲	۴۹۰	۲۵/۵۰	۵/۲۰	۲۵۳۰۱/۶
یکبار جوشکاری تعمیری	۲۰	۳۰۸	۴۸۵	۲۴/۵۰	۷/۰۰	۲۲۳۱۰/۸
دو بار جوشکاری تعمیری	۲۰	۲۴۴	۳۸۰	۱۹/۵۰	۸/۰۰	۱۴۱۹۵/۲
سه بار جوشکاری تعمیری	۲۰	۳۴۰	۴۹۰	۲۴/۰۰	۹/۴۰	۲۱۶۹۳/۴

جدول۶- نتایج بدست آمده از آزمون دوم کشش نمونه‌ها با ضخامت ۲۰ میلیمتر

تعداد دفعات جوشکاری تعمیری	ضخامت (mm)	تنش حد تسلیم (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	ازدیاد طول نسبی (٪)	منطقه شکست فاصله از جوش(cm)	انرژی مستهلک شده (Joule)
بدون تعمیر	۲۰	۲۳۶	۳۷۸	۲۶/۵۰	۷/۱۰	۱۸۸۰۹/۶
یکبار جوشکاری تعمیری	۲۰	۲۴۲	۳۷۸	۲۵/۵۰	۶/۸۰	۱۸۲۴۰/۷
دو بار جوشکاری تعمیری	۲۰	۲۵۷	۳۸۶	۱۹/۵۰	۶/۸۰	۱۳۸۴۹/۱
سه بار جوشکاری تعمیری	۲۰	۳۱۲	۴۶۲	۹/۰۰	۰	۹۷۰۷/۱

جدول۷- نتایج بدست آمده از آزمون سوم کشش نمونه‌ها با ضخامت ۲۰ میلیمتر

تعداد دفعات جوشکاری تعمیری	ضخامت (mm)	تنش حد تسلیم (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	ازدیاد طول نسبی (٪)	منطقه شکست فاصله از جوش(cm)	انرژی مستهلک شده (Joule)
بدون تعمیر	۲۰	۳۰۵	۴۸۱	۲۲/۰۰	۱۰/۸۰	۲۲۱۹۹/۱
یکبار جوشکاری تعمیری	۲۰	۳۱۳	۴۸۵	۲۵/۵۰	۸/۳۰	۲۳۲۰۲/۴
دو بار جوشکاری تعمیری	۲۰	۳۱۸	۴۷۴	۱۲/۵۰	۰	۱۱۸۲۰/۹
سه بار جوشکاری تعمیری	۲۰	۲۴۲	۳۷۸	۲۸/۰۰	۶/۷۰	۱۹۹۹۲/۴

جدول۸- نتایج بدست آمده از آزمون چهارم کشش نمونه‌ها با ضخامت ۲۰ میلیمتر

تعداد دفعات جوشکاری تعمیری	ضخامت (mm)	تنش حد تسلیم (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	ازدیاد طول نسبی (٪)	منطقه شکست فاصله از جوش(cm)	انرژی مستهلک شده (Joule)
بدون تعمیر	۲۰	.....	.....	.....	.....	.....
یکبار جوشکاری تعمیری	۲۰	۳۱۶	۴۸۹	۱۷/۵۰	۰	۱۶۵۶۴/۷
دو بار جوشکاری تعمیری	۲۰	۲۳۳	۳۷۳	۲۵/۰۰	۷/۰۰	۱۷۹۵۳/۸
سه بار جوشکاری تعمیری	۲۰	۳۱۷	۴۷۶	۱۲/۵۰	۰	۱۳۴۲۰/۷

۶. مراجع

۱. ازهری، م.، میرقادری، س. ر.، طراحی سازه‌های فولادی (جلد ششم–طراحی اتصالات)، تهران، انتشارات ارکان دانش، چاپ اول، ۱۳۸۸ .

۲. دفتر مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان: طرح و اجرای ساختمانهای فولادی، تهران، نشر توسعه ایران، چاپ چهارم، ۱۳۹۲.

۳. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها، آیین نامه اتصالات در سازه‌های فولادی (نشریه شماره ۲۶۴)، تهران، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، چاپ سوم، ۱۳۸۵,

۴. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها، آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی ایران (نشریه شماره ۲۲۸)، تهران، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۰.

۵. طاحونی، ش.، راهنمای جوش و اتصالات جوشی، تهران، نشر توسعه ایران، چاپ چهارم، ۱۳۸۲,

۶. وزارت مسکن و شهرسازی. کمیته آموزش استان تهران، آشنایی با فرایند جوشکاری و بازرسی جوش در ساختمان، تهران، انتشارات بهینه، ویرایش چهارم، ۱۳۸۵,

7. AWS D1 Committee on Structural Welding, Structural Welding Code-Steel, American Welding Society, 23rd Edition, 2015.

۸. محرمی، ر.، میرزاجانی، س.، کوپایی، س.، تحلیل تغییرشکل و تنش‌های پسماند در جوش تعمیری یک قطعه نیروگاهی به کمک المان محدود، اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاههای برق آبی، ایران: تهران، ۱۹ و ۲۰ بهمن ماه، ۱۳۹۰,

۹. توکلی شوشتری، م. ر.، مؤید، م. ه.، داودی، ع.، اثر حرارتی بعد از جوشکاری بر تغییرات ریز ساختار و سختی فولاد زنگ نزن رسوب سختی‌شونده ۴-۱۷ PH ترمیم شده به روش جوشکاری، دومین همایش مشترک انجمن مهندسین متالوژی ایران و جامعه ریخته‌گران ایران، ایران: کرج، ۲۸ و ۲۹ آبان ماه، ۱۳۸۷,

۱۰. غلامی، م.، گلعذار، م. ع.، اشرفی زاده، س. ف.، تأثیر تکرار جوشکاری تعمیری بر ریزساختار خواص مکانیکی و خوردگی فولاد، ششمین همایش مشترک انجمن مهندسی متالوژی ایران و انجمن علمی ریخته‌گران ایران، ایران: تهران، ۱۶ الی ۱۸ آبان ماه، ۱۳۹۱.

11. Nascimento, M.-P., Voorwald, H.-J.C., Payao Filho, J.d.-C., Fatigue Strength of Tungsten Inert Gas- Repaired Weld Joints in Airplane Critical Structures, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 211, No. 6, 2011, pp 1126–1135.

12. Gegel, G., Hoefert, D., hirvela, J., Oehrlein, R., Effect of Weld Repair on Static and Dynamic Tensile Properties of E357-T6 Sand Castings, International Journal of Metalcasting, Vol. 7, No. 4, 2013, pp 43-48.

13. Gorka, J., Effect of Repair Welding on the Properties of Welded Joints of Steel S700MC, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology, Vol. 2, No. 5, 2013, pp 383-390.

14. Wenchun, J., Yun, L., Guodong, Z., Wanchuck, W., Tu, S.T., Experimental to Study the Effect of Multiple Weld-Repairs on Microstructure, Hardness and Residual Stress for a Stainless Steel Clad Plate, Materials and Design, Vol. 51, 2013, pp 1052-1059.

15. Zeinoddini, M., Arnavaz, S., Zandi, A.P., Alizadeh Vaghasloo, Y., Repair Welding Influence on Offshore Pipelines Residual Stress Fields: An Experimental Study. Journal of Constructional Steel Research, Vol. 86, 2013, pp 31-41.

An Experimental Study to Investigate the Effect of Repair Welding Repetition at the Joint on the Tensile Strength of Welded Segment

Mahmoud Mirzaaghaei
M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
Ali Seyedkazemi[*]
Lecturer, Department of Civil Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
[*]*a.seyedkazemi@iauamol.ac.ir*

Abstract:

Steel is extensively used in the construction industry and, welded joint is a conventional type of steel joints. It is important that the welding quality should comply with standard terms and consistent with the contract. If the terms are not met and the quality of weld is poor, corrective actions (repairs) should be taken in accordance with the standard. Once the corrective actions (repairs) have been completed, the piece (the weldments) must be re-inspected, tested and checked in accordance with the requirements, and the conditions and causes of defect should be carefully reviewed and resolved. Fixing unacceptable welding defects is simply called "welding repair". This study, investigates the effect of repeated welding repairs on tensile properties of the component in the welding area. To this end, four samples (samples without repair, one repair, two repairs and three repairs) with thicknesses of 10 mm and 20 mm, were welded unilaterally (v shape), and an evaluation of tensile strength was implemented. The results show that for samples with the thickness of 10 and 20 mm, the mean yield stresses and the ultimate stresses of three repair welds increase compared to original welds. Furthermore, the failure in tensile often occurs out of the heat-affected zone and the tensile strength of mild steel (st37) subjected to three repairs is acceptable in the welding area.

Keywords: base metal, weld metal, heat-affected zone, repair welding, tensile strength