

ترمیم شیار سطحی فولاد ساختمانی از طریق جوشکاری شعله‌ای و جوشکاری نفوذی

پدرام کیهانی^۱، یونس رحیمی^۱، سید ابراهیم وحدت^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

*e.vahdat@iauamol.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۵)

چکیده

برای بهبود خواص مکانیکی و افزایش عمر مفید قطعات فلزی از روش های مختلف جوشکاری برای ترمیم ترک سطحی قطعات فلزی استفاده می‌شود. در این پژوهش برای ترمیم شیارهای سطحی فولاد ساختمانی، کارآیی دو روش جوشکاری به نامهای جوشکاری شعله‌ای با پاشش پودر آهن خالص و جوشکاری نفوذی با پودر آهن خالص از طریق القای مغناطیسی مورد ارزیابی قرار گرفته است. ابتدا ۸ دسته نمونه شامل ۲ دسته نمونه به عنوان نمونه شاهد و ۶ دسته دیگر شامل نمونه‌های شیاردار به عمق ۱ میلی‌متر و به طول ۱۲/۵ میلی‌متر و با دهانه شیار به اندازه‌های ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر تهیه شد، سپس فرآیند ترمیم انجام شد. نتایج نشان داد که بعد از ترمیم شیار سطحی، استحکام کششی نمونه‌های ترمیم یافته به روش جوشکاری شعله‌ای و جوشکاری نفوذی به ترتیب با اختلاف ۲/۵ و ۷/۵ درصد به استحکام کششی فلز پایه رسیده است. بنابراین برای تعمیر ترک سطحی فولاد ساختمانی، روش جوشکاری شعله‌ای مطمئن تر از روش جوشکاری نفوذی است.

کلمات کلیدی:

استحکام کششی، اکسی استیلن، القای مغناطیسی، شعله احیایی.

۱- مقدمه

فلزی ادوات نظامی به هنگام حمله، دفاع و یا عقب نشینی، خود به خود یک فاجعه را رقم خواهد زد. مثال دیگر، بروز شکست در قطعات فلزی ادوات حفاری به نگام حفر چاه نفت یا گاز است که منجر به دوباره کاری و صرف هزینه‌های هنگفت می‌شود. نمونه‌ای دیگر، بروز شکست در قطعات موتور دیزل کشتی به هنگام تعقیب و گریز دزدان دریایی و دشمن می‌باشد

در مسابقه صنعتی امروز، اقدام پیشگیرانه برای نگهداری و تعمیرات دستگاه‌ها و تجهیزات از اهمیت ویژه ای برخوردار است. عدم شناسایی ترک و اقدام برای جلوگیری از رشد و اشاعه آن، زمینه‌ساز بروز حوادث فجیع می‌گردد. شکست در فلزات عمدتاً نا به هنگام رخ می‌دهد. به این ترتیب، شرایط بحران را فراهم می‌سازد. به طور مثال، بروز شکست در قطعات

است. به همین دلیل در این تحقیق، کارآیی این روش در ترمیم ترک های سطحی فولاد ساختمانی (که مصرف عام دارد) مورد ارزیابی قرار می گیرد.

روش High Velocity Oxy Fuel (HVOF) یک روش موثر و مفید در پوشش دهی است که تا حدودی با روش جوشکاری شعله ای با پاشش پودر شباهت دارد. در روش HVOF جنس ۴۰ درصد از پودر، پلیمر است تا پوشش انعطاف پذیر شود [۹-۱۰]. در حالیکه در تحقیق حاضر پودر تماما فلزی است و هدف پر کردن ترک با چسبندگی مناسب برای دستیابی به استحکام کششی فلز پایه است.

در این پژوهش، در روش جوشکاری شعله ای با پاشش پودر آهن خالص در مسیر شعله احیایی (روش اول)، شیارهای سطحی فولاد ساختمانی ترمیم می شود. در این روش، مقدار پودر مذاب که در داخل شیار قرار می گیرد، بسیار کم است. بنابراین در محل ترمیم، درجه حرارت پایین است لذا ریزساختار آسیب نمی بیند. در روش جوشکاری نفوذی با پودر آهن خالص از طریق القای مغناطیسی در اتمسفر گاز آرگون (روش دوم)، شیارهای سطحی فولاد ساختمانی ترمیم می شود.

در این پژوهش تلاش شده است با کمک دو روش جوشکاری شعله ای با پاشش پودر و جوشکاری نفوذی، شیارهای سطحی فولاد ساختمانی ترمیم و سپس کارآیی دو روش مذکور مقایسه شود.

۲- مواد و روش انجام تحقیق

ورق فولاد خام از شرکت فولاد سپاهان خریداری و ترکیب شیمیایی ورق به روش کوانتومتری با دستگاه ARL در مرکز پژوهش رازی تعیین و در جدول (۱) فهرست شد. برای ارزیابی مقاومت شکست از آزمون کشش استفاده شد زیرا مقاومت کششی رابطه مستقیم با مقاومت خستگی دارد. مطابق استاندارد [۱۱] ASTM A370 نمونه های آزمون کشش به ضخامت ۶ میلیمتر مطابق با شکل (۱) تهیه و در مرکز پژوهش رازی آماده سازی شد.

که منجر به عدم موفقیت در انجام وظیفه و حتی نابودی می شود. در تمام موارد فوق، یک ترمیم فوری و ساده می تواند از توقف ادوات جلوگیری کرده و امکان عبور از بحران را فراهم کند. سپس در شرایط مناسب می توان نسبت به تعمیر و یا تعویض قطعه معیوب اقدام کرد.

یکی از روش های پرکاربرد برای ترمیم ترک های سطحی قطعات فلزی استفاده از روش جوشکاری قوس با الکتروود دستی است [۱]. بزرگترین محدودیت این روش نسبت به روش های استفاده شده در این پژوهش، ایجاد عیوب متالورژیکی فراوان در محل ترمیم است.

در ترمیم ترک های سطحی اتصالات صلیبی فولادی با کمک روش جوشکاری شعله ای با کمک سیم تنگستن که در محل نصب اتصال صلیبی انجام شد، استحکام خستگی و استحکام کششی بهبود یافت [۲-۴]. در آن تحقیقات، از اثر تنش باقیمانده فشاری در بهبود خواص مکانیکی استفاده شد در حالیکه در تحقیق حاضر از پاشش و نفوذ پودر آهن خالص برای تعمیر شیار استفاده می شود.

در روش جوشکاری در کوره، کل قطعه حرارت داده می شود [۵]. در این روش، اکسیداسیون سطحی قطعه اتفاق می افتد و تا حدودی منجر به تغییر ریزساختار نیز می شود. در حالیکه در تحقیق حاضر در روش جوشکاری نفوذی از اتمسفر گاز آرگون استفاده می شود. بعلاوه، در روش جوشکاری شعله ای بخش کوچکی از قطعه تحت تاثیر حرارت جزئی قرار می گیرد زیرا مقدار پودر مذاب که در داخل شیار قرار می گیرد جزئی است. روش سوراخکاری و پیچزنی روش موثری شناخته نمی شود اما اگر به صورت ترکیب با روش های دیگر استفاده شود مفید خواهد بود [۶].

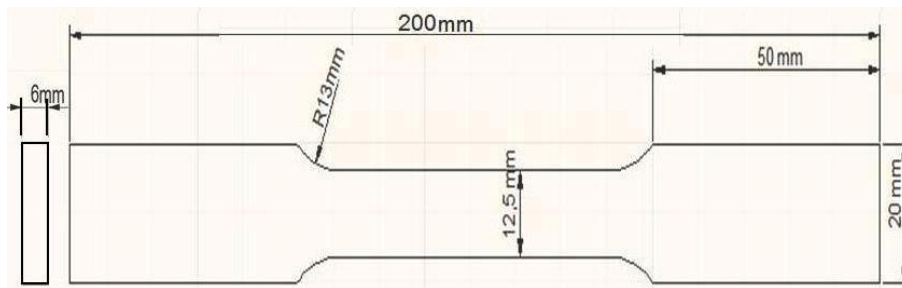
در ترمیم ترک سطحی سوپر آلیاژ پایه نیکل با کمک روش جوشکاری شعله ای با پاشش پودر نشان داده شد که ساختار ترمیم شده ریزدانه تر بوده و نسبت به روش های ترمیم مرسوم استحکام بیشتری دارد [۷-۸]. به این ترتیب، این روش برای ترمیم ترک های سطحی سوپر آلیاژ پایه نیکل موفقیت آمیز بوده

جدول (۱): ترکیب شیمیایی فولاد (فلز پایه)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| C | Si | S | P | Mn | Ni | Cr | Mo | V | Cu | W |
| 0.12 | 0.05 | 0.011 | 0.025 | 0.70 | 0.001 | 0.004 | 0.002 | 0.003 | 0.11 | 0.003 |
| Ti | As | Sn | Co | Al | Pb | Sb | Nb | Zr | Zn | Fe |
| 0.001 | 0.008 | 0.02 | 0.05 | 0.006 | 0.001 | None | 0.002 | None | None | Base |

میانگین ازدیاد طول نسبی فلز پایه ۳۳/۳ درصد تعیین شد. همچنین برای متالوگرافی از مکان ترمیم شده نمونه هایی به ابعاد ۸×۱۵ میلی متر تهیه و در مرکز پژوهش رازی آماده سازی شد.

در مرکز پژوهش رازی با استفاده از دستگاه کشش GOTECH از سه عدد نمونه آزمون کشش برای تعیین استحکام کششی فلز پایه و ازدیاد طول نسبی فلز پایه استفاده شد. مطابق جدول (۲)، میانگین استحکام کششی فلز پایه ۴۶۲ مگاپاسکال و



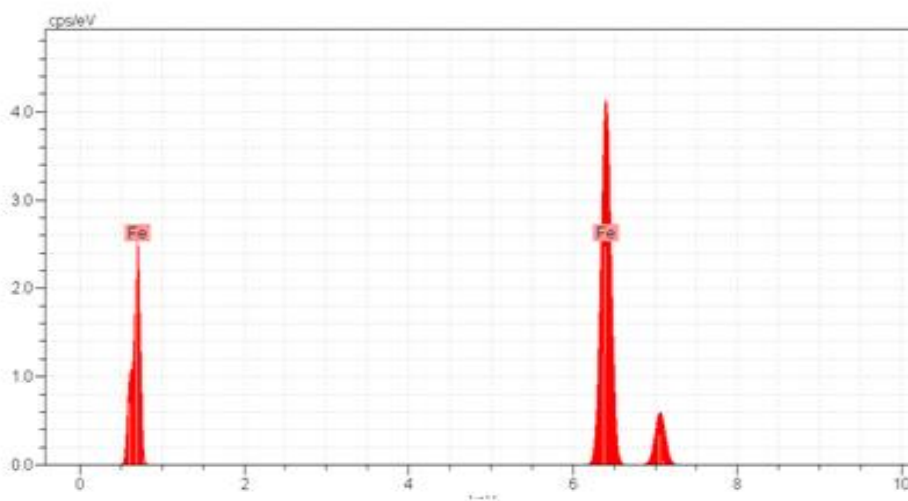
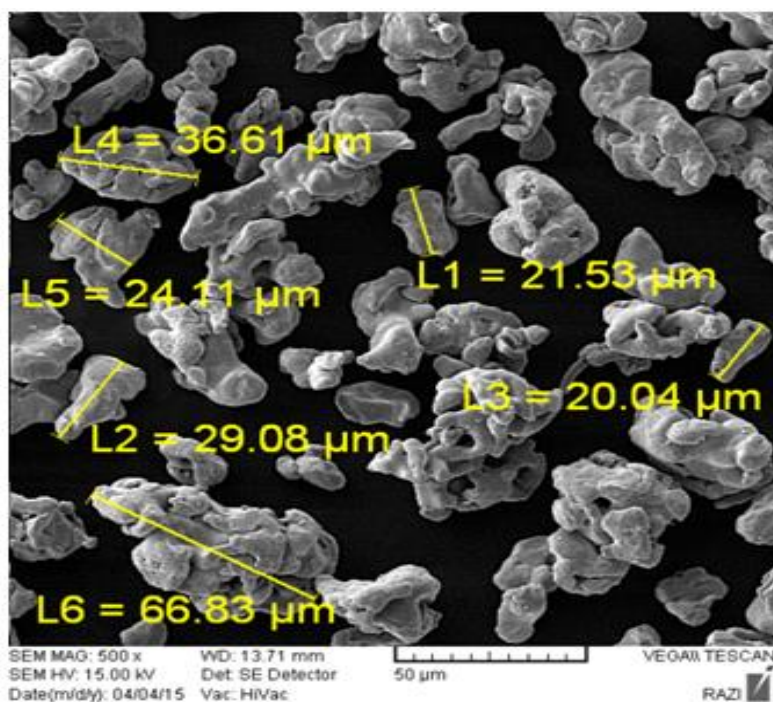
شکل (۱): ابعاد و شکل نمونه کشش

طیف تفکیک انرژی، شکل (۲)، نشان داد که پودر آهن خالص بوده و اندازه دانه بندی پودر ۳۳ میکرون است.

برای ترمیم، ۳۰۰ گرم پودر آهن خالص از شرکت فرو آلیاژ ازنا خریداری شد. نتایج بررسی های میکروسکپ الکترونی روبشی با

جدول (۲): خواص مکانیکی فولاد (فلز پایه)

| شماره نمونه | استحکام کششی مگاپاسکال | ازدیاد طول نسبی بر حسب درصد |
|-------------|------------------------|-----------------------------|
| ۱ | ۴۶۱ | ۳۳/۵ |
| ۲ | ۴۵۶ | ۳۴ |
| ۳ | ۴۷۰ | ۳۲/۵ |
| میانگین | ۴۶۲ | ۳۳/۳ |



Spectra: 1

| Element | Series | unn. C [wt.-%] | norm. C [wt.-%] | Atom. C [at.-%] |
|---------|--------|-------------------|--------------------|--------------------|
|---------|--------|-------------------|--------------------|--------------------|

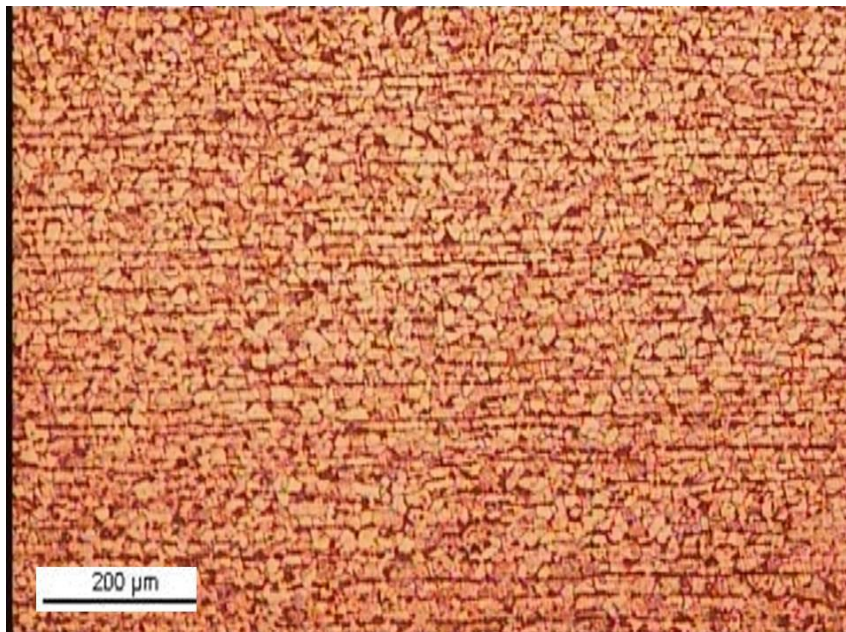
| | | | | |
|------|----------|--------|--------|--------|
| Iron | K series | 112.61 | 100.00 | 100.00 |
|------|----------|--------|--------|--------|

Total: 112.6 %

شکل (۲): تصویر ذرات پودر آهن و آنالیز EDS از آن

نایتال ۲٪ استفاده شد و مدت زمان نگه داری در محلول اچ ۵ ثانیه بود.

مطابق شکل (۳)، ریز ساختار فلز پایه شامل فریت و پرلیت به صورت رشته ای و لایه ای است. برای ظاهر سازی از محلول



شکل (۳): ریز ساختار فلز پایه، فریت فاز روشن است و پرلیت فاز تیره است

۲-۲- روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی

برای مطالعه کارآیی روش ترمیم شیار سطحی فولاد ساختمانی با کمک روش جوشکاری نفوذی پودر آهن خالص از طریق القای مغناطیسی، مجموعاً چهار دسته نمونه شامل یک دسته نمونه شاهد بدون شیار و سه دسته نمونه شیاردار با اندازه‌های دهانه شیار برابر با ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر اما با طول شیار یکسان (۱۰ میلی‌متر) و عمق شیار یکسان (۱ میلی‌متر) آماده شد. هر دسته نمونه شامل چهار عدد نمونه است که سه عدد نمونه برای آزمون کشش و یک عدد نمونه برای آزمون متالوگرافی استفاده می‌شود. مراحل ترمیم به شرح زیر است:

- ۱- شکاف نمونه‌های شیاردار با پودر پر شد و تمام چهار دسته نمونه در داخل کوره القایی ساخت شرکت تیکا قرار داده شد.
- ۲- کوره القایی روشن شد. برای جلوگیری از اکسیداسیون، گاز آرگون داخل کوره تزریق شد.
- ۳- نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد نگه داشته شدند. دما توسط دستگاه دیلاتومتر ساخت شرکت اکستچ آمریکا اندازه‌گیری شد.
- ۴- نمونه‌ها در هوا تا دمای محیط سرد شدند.

۲-۱- روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش پودر آهن خالص

برای مطالعه کارآیی روش ترمیم شیار سطحی فولاد ساختمانی با کمک روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش پودر آهن خالص، مجموعاً چهار دسته نمونه شامل یک دسته نمونه شاهد بدون شیار و سه دسته نمونه شیاردار با اندازه‌های دهانه شیار برابر با ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر اما با طول شیار یکسان (۱۰ میلی‌متر) و عمق شیار یکسان (۱ میلی‌متر) آماده شد. هر دسته نمونه شامل چهار عدد نمونه است که سه عدد نمونه برای آزمون کشش و یک عدد نمونه برای آزمون متالوگرافی استفاده می‌شود. مراحل ترمیم به شرح زیر است:

- ۱- سطح تمیز شد.
- ۲- شعله احیایی اکسی استیلن روشن شد.
- ۳- شیار به مدت ۵ ثانیه پیشگرم شد.
- ۴- پودر آهن خالص در مسیر شعله احیایی اکسی استیلن پاشیده شد تا وارد شیار شود.
- ۵- پودر در مسیر شعله ذوب شد.
- ۶- پس از برخورد پودر مذاب با دیواره شیار اتصال برقرار شد.

پس از ترمیم، خواص کششی نمونه‌های شیاردار با اندازه دهانه شیار ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر تعیین و به ترتیب در جدول (۳) و جدول (۴) و جدول (۵) ارایه شده است. برای بررسی کارآیی روش ترمیم، استحکام کششی نمونه‌های ترمیم یافته با استحکام کششی نمونه شاهد در جدول (۶) و شکل (۴) مقایسه شده است.

۵- از هر دسته نمونه (چهار عدد نمونه)، سه عدد برای مطالعه خواص کششی و یک عدد برای مطالعه ریزساختاری استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش پودر آهن خالص

جدول (۳): خواص کششی نمونه ترمیم شده با اندازه دهانه شیار برابر با ۰/۵ میلی‌متر، روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش

| نمونه | استحکام کششی مگاپاسکال | ازدیاد طول نسبی درصد | توضیحات |
|---------|------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| ۱ | ۴۶۸ | ۲۳/۵ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۲ | ۴۶۶ | ۲۳/۰ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۳ | ۴۷۳ | ۲۴/۰ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| میانگین | ۴۶۹ | ۲۳/۵ | |

جدول (۴): خواص کششی نمونه ترمیم شده با اندازه دهانه شیار برابر با ۰/۷۵ میلی‌متر، روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش

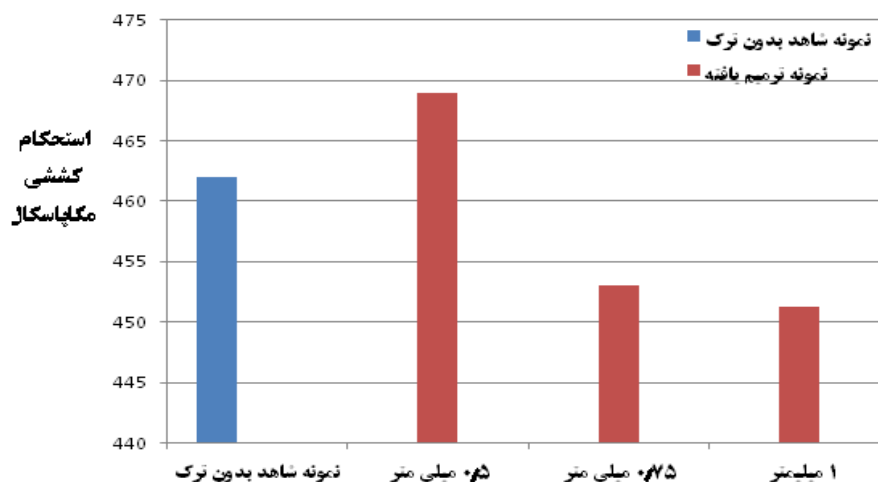
| نمونه | استحکام کششی مگاپاسکال | ازدیاد طول نسبی/درصد | توضیحات |
|---------|------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| ۱ | ۴۵۵ | ۲۸/۰ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۲ | ۴۵۴ | ۲۸/۵ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۳ | ۴۵۰ | ۲۷/۵ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| میانگین | ۴۵۳ | ۲۸ | |

جدول (۵): خواص کششی نمونه ترمیم شده با اندازه دهانه شیار برابر با ۱ میلی‌متر، روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش

| نمونه | استحکام کششی مگاپاسکال | ازدیاد طول نسبی/درصد | توضیحات |
|---------|------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| ۱ | ۴۵۴ | ۳۲/۵ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۲ | ۴۵۳ | ۳۱/۵ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۳ | ۴۴۷ | ۳۱/۵ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| میانگین | ۴۵۱/۳ | ۳۱/۸ | |

جدول (۶): مقایسه خواص کششی نمونه‌های ترمیم یافته با نمونه شاهد، روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش

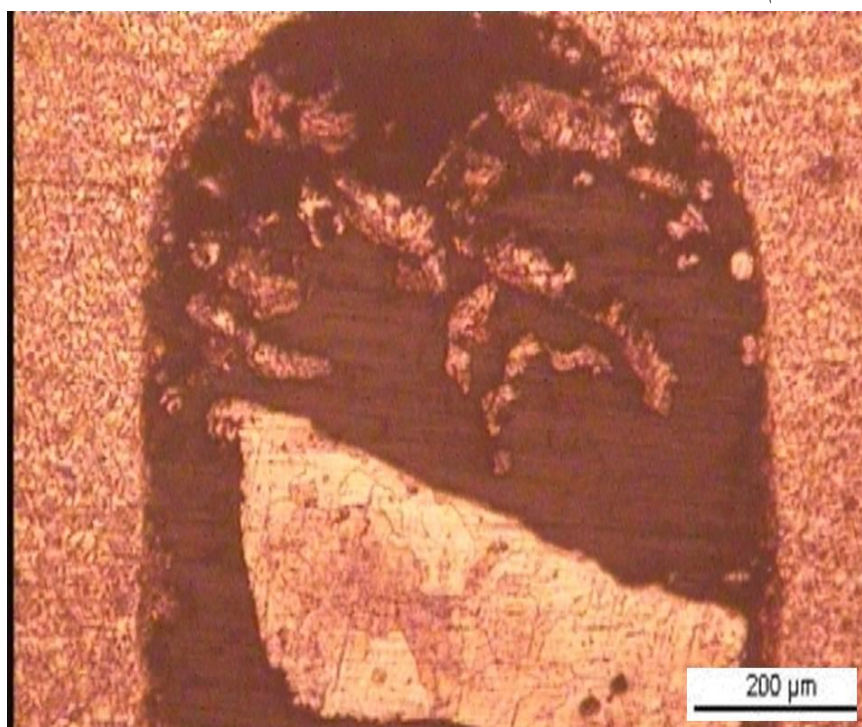
| اندازه شیار | میانگین استحکام کششی مگاپاسکال | میانگین ازدیاد طول نسبی/درصد |
|----------------|--------------------------------|------------------------------|
| ۰/۵ | ۴۶۹ | ۲۳/۵ |
| ۰/۷۵ | ۴۵۳ | ۲۸ |
| ۱ | ۴۵۱/۳ | ۳۱/۸ |
| شاهد بدون شیار | ۴۶۲ | ۳۳/۳ |



شکل (۴): مقایسه استحکام کششی نمونه شاهد و نمونه‌های ترمیم یافته، روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش

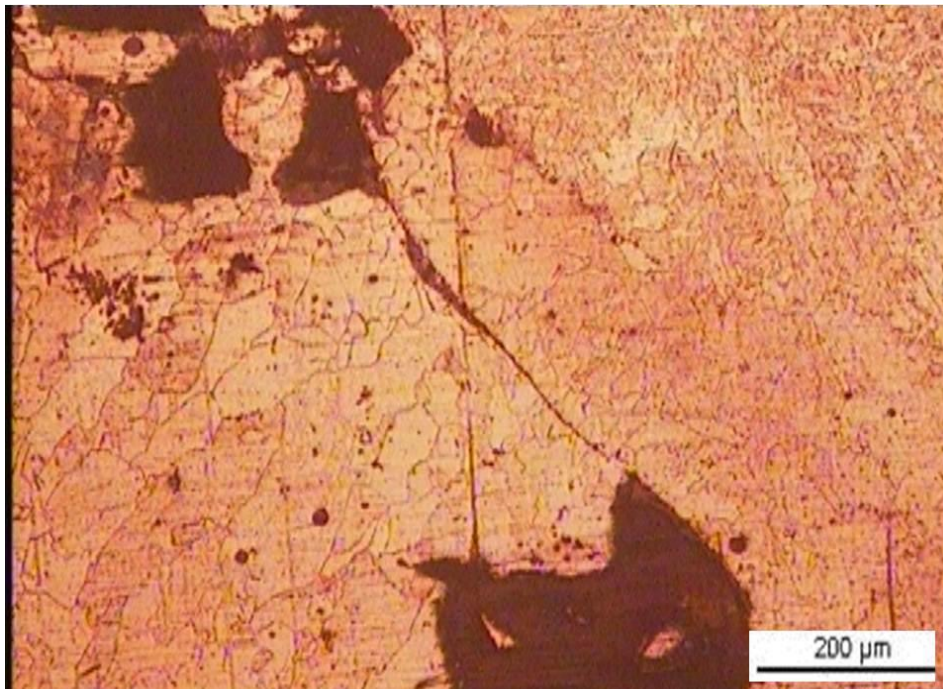
مگاپاسکال (۲/۵ درصد) کاهش نشان می‌دهد. زیرا مطابق شکل (۵) تا (۷)، عیوب متالورژیکی در نمونه‌های شیاردار ترمیم شده با عرض دهانه شیار ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر نسبت به نمونه ترمیم یافته با اندازه دهانه شیار ۰/۵ میلی‌متر بیشتر بوده و لذا اثر آن به صورت کاهش استحکام کششی بروز کرده است.

با توجه به نتایج حاصل از آزمون کشش فقط میانگین استحکام کششی نمونه شیاردار ترمیم شده با اندازه دهانه شیار ۰/۵ میلی‌متر نسبت به میانگین استحکام کششی نمونه شاهد، ۷ مگاپاسکال افزایش نشان می‌دهد. در حالی که میانگین استحکام کششی نمونه‌های شیاردار ترمیم شده با اندازه دهانه شیار ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر نسبت به میانگین استحکام کششی نمونه شاهد، تقریباً ۱۰

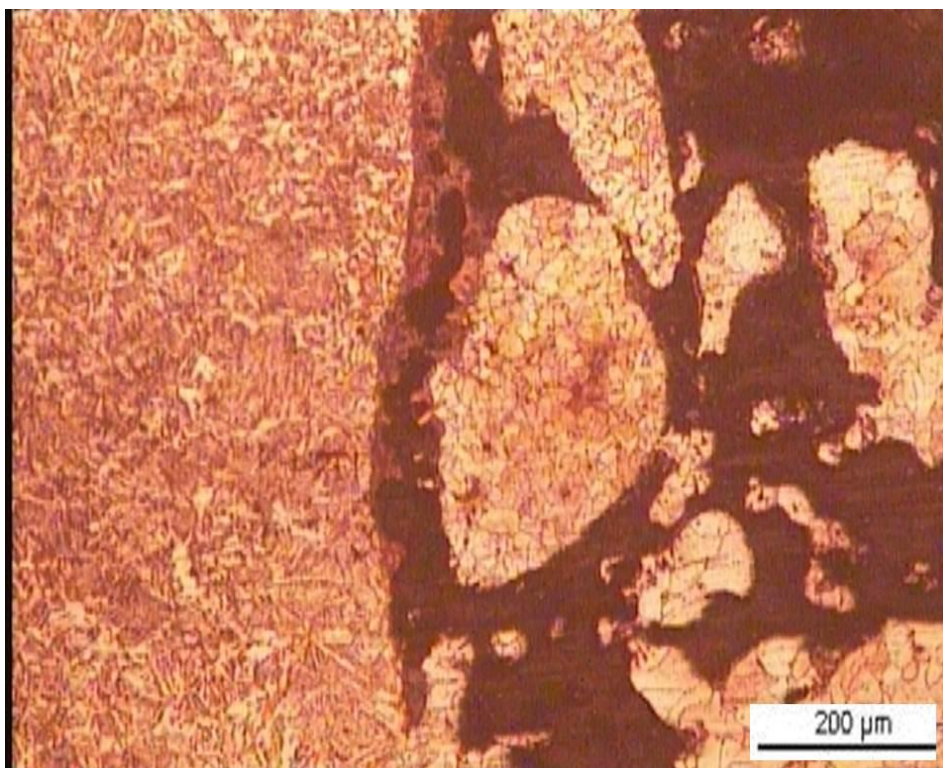


شکل (۵): نمونه ترمیم یافته با اندازه دهانه شیار برابر با ۰/۵ میلی‌متر، عیوب متالورژیکی به رنگ تیره در محل ترمیم یافته، میکروسکپ نوری شرکت Dewinter،

روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش



شکل (۶): نمونه ترمیم یافته با اندازه دهانه شیار برابر با $0/75$ میلیمتر، عیوب متالورژیکی به رنگ تیره در محل ترمیم یافته، میکروسکپ نوری شرکت Dewinter، روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش

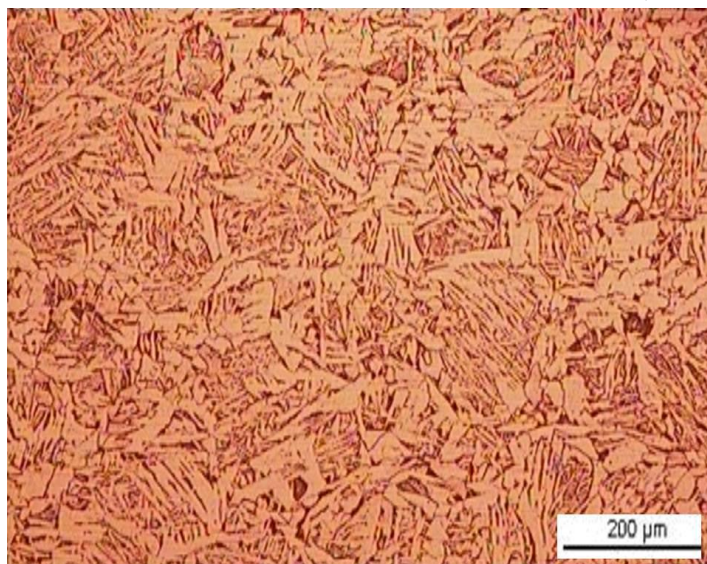


شکل (۷): نمونه ترمیم یافته با اندازه دهانه شیار برابر با 1 میلیمتر، عیوب متالورژیکی به رنگ تیره در محل ترمیم یافته، میکروسکپ نوری شرکت Dewinter، روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش

۲-۳- روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی

محیط خنک شده‌اند. به همین دلیل، خواص کششی نمونه شاهد که به همراه نمونه‌های ترمیم یافته در داخل کوره قرار داده شده بود در جدول (۷) تعیین و ارایه شد.

مطابق شکل (۸)، پس از ترمیم، ریز ساختار شامل فریت سوزنی و نواحی جزیبی پرلیت به رنگ تیره است زیرا نمونه‌ها در دمای ۱۳۵۰ درجه به مدت ۱۵ دقیقه ترمیم و سپس در هوا تا دمای



شکل (۸): ریز ساختار نمونه شاهد که به همراه نمونه‌های ترمیم یافته در داخل کوره قرار داده شده بود، فریت فاز روشن است و پرلیت فاز تیره است، میکروسکپ نوری شرکت Dewinter، روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی

جدول (۷): خواص کششی نمونه شاهد که به همراه نمونه‌های ترمیم یافته در داخل کوره قرار داده شده بود، روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی

| شماره نمونه | استحکام کششی مگاپاسکال | ازدیاد طول نسبی بر حسب درصد |
|-------------|------------------------|-----------------------------|
| ۱ | ۴۵۹ | ۳۴/۵ |
| ۲ | ۴۶۰ | ۳۳/۰ |
| ۳ | ۴۵۸ | ۳۴/۰ |
| میانگین | ۴۵۹ | ۳۳/۸ |

روش ترمیم، استحکام کششی نمونه‌های ترمیم یافته با استحکام کششی نمونه شاهد در جدول (۱۱) و شکل (۹) مقایسه شده است.

خواص کششی نمونه‌های شیاردار با اندازه دهانه شیار ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر پس از ترمیم تعیین و به ترتیب در جدول (۸) و جدول (۹) و جدول (۱۰) ارایه شده است. برای بررسی کارآیی

جدول (۸): خواص کششی نمونه ترمیم شده با اندازه دهانه شیار برابر با ۰/۵ میلی‌متر، روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی

| نمونه | استحکام کششی مگاپاسکال | ازدیاد طول نسبی درصد | توضیحات |
|---------|------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| ۱ | ۴۶۹ | ۳۳/۰ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۲ | ۴۷۲ | ۳۲/۰ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۳ | ۴۷۰ | ۳۳/۰ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| میانگین | ۴۷۰ | ۳۲/۷ | |

جدول (۹): خواص کششی نمونه ترمیم شده با اندازه دهانه شیار برابر با ۰/۷۵ میلیمتر، روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی

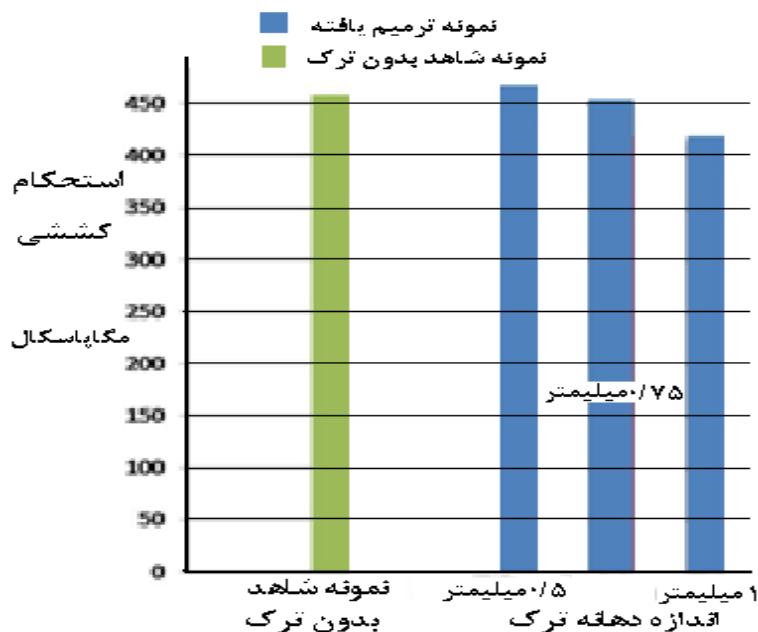
| نمونه | استحکام کششی مگاپاسکال | ازدیاد طول نسبی درصد | توضیحات |
|---------|------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| ۱ | ۴۶۰ | ۲۷/۰ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۲ | ۴۵۰ | ۲۹/۵ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۳ | ۴۵۶ | ۲۸/۵ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| میانگین | ۴۵۵ | ۲۸/۳ | |

جدول (۱۰): خواص کششی نمونه ترمیم شده با اندازه دهانه شیار برابر با ۱ میلیمتر، روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی

| نمونه | استحکام کششی مگاپاسکال | ازدیاد طول نسبی درصد | توضیحات |
|---------|------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| ۱ | ۴۲۶ | ۱۹/۵ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۲ | ۴۲۹ | ۱۸/۰ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| ۳ | ۴۲۱ | ۱۹/۵ | نمونه در حوالی محل ترمیم دچار شکست شد |
| میانگین | ۴۲۵ | ۱۹/۰ | |

جدول (۱۱): مقایسه خواص کششی نمونه‌های ترمیم یافته با نمونه شاهد، روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی

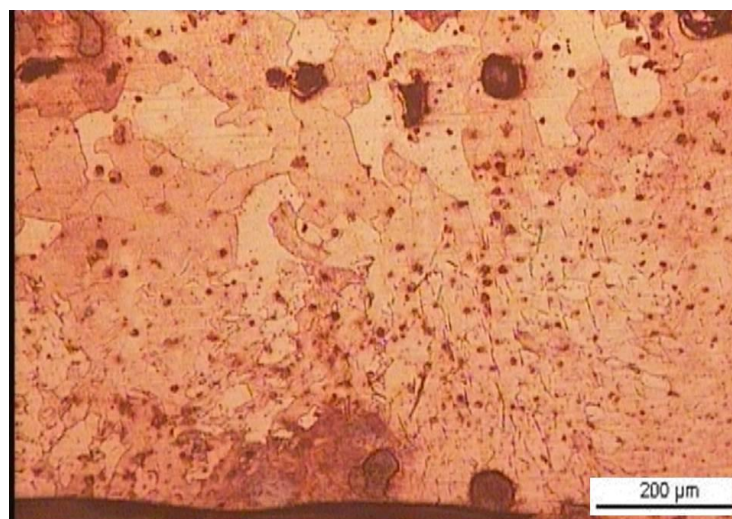
| اندازه شیار | میانگین استحکام کششی مگاپاسکال | میانگین ازدیاد طول نسبی درصد |
|----------------|--------------------------------|------------------------------|
| ۰/۵ | ۴۷۰ | ۳۲/۷ |
| ۰/۷۵ | ۴۵۵ | ۲۸/۳ |
| ۱ | ۴۲۵ | ۱۹/۰ |
| شاهد بدون شیار | ۴۵۹ | ۳۳/۸ |



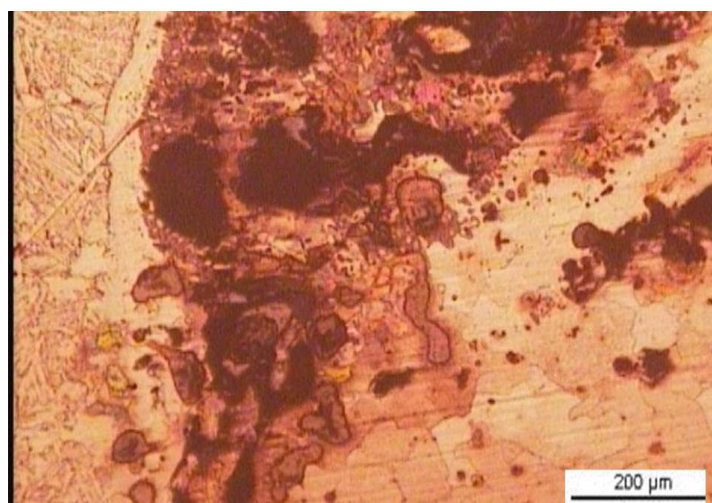
شکل (۹): مقایسه استحکام کششی نمونه شاهد و نمونه‌های ترمیم یافته، روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی

ترمیم شده با اندازه دهانه شیار ۱ میلی‌متر نسبت به میانگین استحکام کششی نمونه‌های شاهد، ۳۴ مگاپاسکال کاهش نشان می‌دهد. زیرا مطابق شکل (۱۰) تا (۱۲)، عیوب متالورژیکی ناشی از پراکنده شدن ذرات پودر بر اثر فشار گاز آرگون از محل شیار در نمونه با عرض دهانه شیار ۱ میلی‌متر نسبت به نمونه‌های ترمیم یافته با اندازه دهانه شیار ۰/۷۵ و ۰/۵ میلی‌متر بیشتر بوده و لذا اثر آن به صورت کاهش استحکام کششی بروز کرده است.

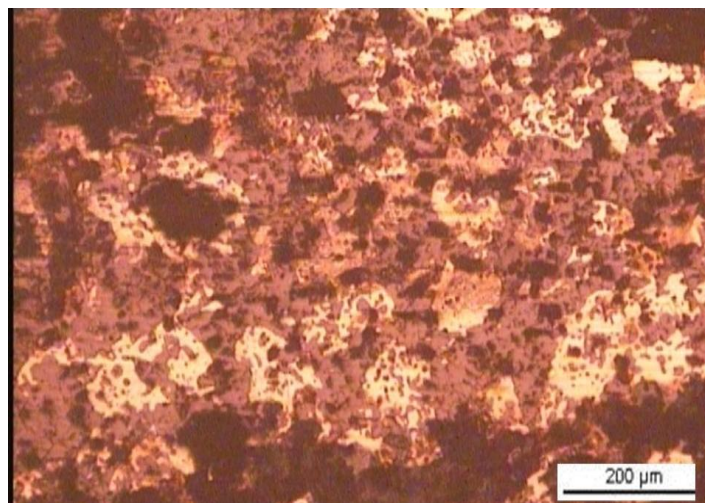
با توجه به نتایج حاصل از آزمون کشش فقط میانگین استحکام کششی نمونه‌های شیاردار ترمیم شده با اندازه دهانه شیار ۰/۵ میلی‌متر نسبت به میانگین استحکام کششی نمونه‌های شاهد، ۱۱ مگاپاسکال افزایش نشان می‌دهد. در حالیکه میانگین استحکام کششی نمونه‌های شیاردار ترمیم شده با اندازه دهانه شیار ۰/۷۵ میلی‌متر نسبت به میانگین استحکام کششی نمونه‌های شاهد، تقریباً بدون تغییر بوده و میانگین استحکام کششی نمونه‌های شیاردار



شکل (۱۰): نمونه ترمیم یافته با اندازه دهانه شیار برابر با ۰/۵ میلی‌متر، عیوب متالورژیکی به رنگ تیره در محل ترمیم یافته ناشی از پراکنده شدن ذرات پودر بر اثر فشار گاز آرگون، میکروسکپ نوری شرکت Dewinter، روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی



شکل (۱۱): نمونه ترمیم یافته با اندازه دهانه شیار برابر با ۰/۷۵ میلی‌متر، عیوب متالورژیکی به رنگ تیره در محل ترمیم یافته ناشی از پراکنده شدن ذرات پودر بر اثر فشار گاز آرگون، میکروسکپ نوری شرکت Dewinter، روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی



شکل (۱۲): نمونه ترمیم یافته با اندازه دهانه شیار برابر با ۱ میلیمتر، عیوب متالورژیکی به رنگ تیره در محل ترمیم یافته ناشی از پراکنده شدن ذرات پودر بر اثر فشار گاز آرگون، میکروسکپ نوری شرکت Dewinter، روش جوشکاری نفوذی با القای مغناطیسی

است درحالیکه استحکام کششی نمونه‌های ترمیم یافته با روش جوشکاری نفوذی با اختلاف بیشتری (۷/۵ درصد) به استحکام کششی فلز پایه رسیده است.

۵- مراجع

- [1] S. M. Mirhedayatian, S. E. Vahdat, M. J. Jelodar & R. F. Saen, "Welding process selection for repairing nodular cast iron engine block by integrated fuzzy data envelopment analysis and TOPSIS approaches", *Materials & Design*, Vol. 43, pp. 272-282, 2013.
- [2] S. Huan, "Flame spray welding using tungsten carbide alloy powder: S. Huan et al. (Shenyang Polytechnic University, Shenyang, China). *PM Technol.*, Vol 13, No 4, pp. 259-264, 1994. (In Chinese.)", *Metal Powder Report*, Vol. 51, pp. 44, 1996.
- [3] C. Miki, T. Hanji & K. Tokunaga, "Weld Repair for Fatigue-Cracked Joints in Steel Bridges by Applying Low Temperature Transformation Welding Wire", *Weld World*, Vol. 56, pp. 40-50, 2012.
- [4] Z. Sterjovski, "Pad-Weld Repairs of in-Service High-Strength Steel Plate used in Seawater Environments", *Weld World*, Vol. 54, pp. R173-R181, 2010.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش تلاش شده است با کمک دو روش جوشکاری، شیارهای سطحی فولاد ساختمانی ترمیم و سپس کارآیی دو روش جوشکاری برای ترمیم این شیارها مقایسه شود. روش اول، روش جوشکاری شعله‌ای با پاشش پودر آهن خالص در مسیر شعله احیایی گاز اکسی استیلن و روش دوم، روش جوشکاری نفوذی با پودر آهن خالص از طریق القای مغناطیسی در اتمسفر گاز آرگون می‌باشد. ۸ دسته نمونه شامل ۲ دسته نمونه به عنوان نمونه شاهد و ۶ دسته دیگر شامل نمونه‌های شیاردار به طول ۱۲/۵ میلیمتر، عمق ۱ میلیمتر و با دهانه شیار به اندازه‌های ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون کشش، هر دو روش جوشکاری برای ترمیم شیارهای سطحی فولاد ساختمانی از اندازه دهانه شیار ۰/۵ تا ۱ میلیمتر مفید است. زیرا هر دو روش ترمیم توانسته است استحکام کششی نمونه‌های شیاردار از اندازه دهانه شیار ۰/۵ تا ۱ میلیمتر را نسبت به استحکام کششی نمونه شاهد، با اختلاف حداکثر ۷/۵ درصد حفظ کند. از طرف دیگر، برای تعمیر ترک سطحی فولاد ساختمانی، روش جوشکاری شعله‌ای مطمئن‌تر از روش جوشکاری نفوذی است زیرا استحکام کششی نمونه‌های ترمیم یافته با روش جوشکاری شعله‌ای با اختلاف ۲/۵ درصد به استحکام کششی فلز پایه رسیده

- [9] C. Moreau, "HVO Colloquium: High Velocity Oxy-Fuel Flame Spraying in Focus", *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol. 24: pp. 590-591, 2015.
- [10] W. C. Sun, P. Zhang, F. Zhang, C. X. Dong, J. M. Zhang & H. Cai, "Influence of Heat Treatment on Corrosion Resistance of High-Velocity Oxygen-Fuel Sprayed WC-17Co Coatings on 42CrMo Steel", *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 24, pp. 3218-3227, 2015.
- [11] ASTM A370-14, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org
- [5] Committee AIH, Olson DL., ASM handbook: Welding, brazing, and soldering: ASM International, 1993.
- [6] H. Nakamura, W. Jiang, H. Suzuki, K. I. Maeda & T. Irube, "Experimental study on repair of fatigue cracks at welded web gusset joint using CFRP strips", *Thin-Walled Structures*, Vol. 47, pp. 1059-1068, 2009.
- [7] X. Zhao, D. Wang & C. Deng, "Research on fatigue behavior of welded joint spraying fused by low transformation temperature alloy powder", *Materials & Design*, Vol. 53, pp. 490-506, 2014.
- [8] X. Zhao, D. Wang & C. Deng, "Fatigue behavior of welded joint spray fused by nickel-base alloy powder", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 211 pp. 2039-2044, 2011.