



(بررسی خواص جوشمان های سطحی دو لایه بر روی ورق فولادی دو لایه)

نام و نام خانوادگی نویسنده اول (مرتضی سیاپوش فر)

وابستگی سازمانی نویسنده (دانشجو)

نام و نام خانوادگی نویسنده دوم (دکتر محمدرضا سائری)

وابستگی سازمانی نویسنده (استاد)

نام دانشگاه: دانشگاه شهرکرد

چکیده

در سال های اخیر مطالعات گسترده ای روی استفاده از مواد مصرفی جوشکاری بویژه در جوشکاری فولادها انجام شده است. پرکاربردترین مواد مصرفی، الکترود روکش کاری می باشد. انتخاب الکترود به جنس فلز پایه، ترکیب شیمیایی و خواص مورد نیاز بستگی دارد. الکترود، نقش های مهم مانند آلیاژ سازی، اکسیژن زدایی و حفاظت از حوضچه مذاب را در جوشکاری ایفا می کند. بنابراین تغییر درصد و نوع عناصر آلیاژی موجود در الکترود می تواند روی بهبود خواص سایشی، خوردگی و در نتیجه خواص نهایی جوش، تاثیر گذار باشد. در این تحقیق، بررسی جوشمان سطحی فولاد دو لایه جوشکاری شده به روش SMAW توسط الکترود های E307, E308, E309 و E310 پس از عملیات حرارتی پسرگرم در دماهای 400°C و 500°C به مدت ۱۰ دقیقه انجام گردید. متغیرهای جوشکاری در مورد پوشش ها ثابت بوده است. بررسی های ریز ساختاری و تعیین نوع فازهای تشکیل شده، پس از ایجاد لایه جوشکاری بر روی نمونه ها انجام شد. همچنین برای بررسی رفتار سایشی، تست از نوع پین روی دیسک بر روی نمونه ها نیز صورت گرفت. نتایج حاصل نشان می دهد که الکترود E308 دارای کمترین اندازه دانه، بیشترین کسر حجمی فریت، بیشترین نسبت کروم به نیکل و بیشترین مقاومت به سایش می باشد. وجود عناصر کروم و نیکل و منگنز در ساختار لایه جوش ایجاد شده می تواند میزان سایش را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. همچنین عملیات حرارتی پسرگرم و افزایش دما سبب افزایش اندازه دانه و همگنی ریزساختار شد. **واژه های کلیدی:**

SMAW، ورق فولادی، رفتار سایشی، ریزساختار



مقدمه

طی دهه‌های گذشته، صنعت جوشکاری فرآیندی دائمی برای اتصال مواد، تحت گرما، فشار یا هر دو، به یکدیگر است. ادغام موضعی به سطوح تماس کمک می‌کند تا به یکدیگر متصل شده و یک واحد را بسازند. جوشکاری در بخش‌های مختلف صنعتی مانند خودروسازی، هوافضا، کشتی‌سازی، ساخت‌وساز، هسته‌ای، تولید انرژی برق، الکترونیک، لوازم خانگی، پتروشیمی و ساخت ماشین‌آلات و غیره به کار می‌رود. فرآیند اتصال را می‌توان به سه نوع عمده تقسیم کرد؛ موقت، نیمه دائمی و دائمی. هر مورد از فرآیند اتصال، قابلیت اطمینان، قابلیت و سازگاری متفاوتی در حمل بار در اتصال مواد مشابه یا متفاوت ارائه می‌دهد. علاوه بر این، در نظر گرفتن اثربخشی هزینه نیز عامل مهمی در انتخاب اتصال برای فرآیندهای تولید است. فرآیند جوشکاری به دلیل روش ساده بودن اتصال و حداقل آماده‌سازی تجهیزات به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، هزینه اتصال نیز در مقایسه با سایر فرآیندها مقرون به صرفه است. وقتی که تعداد قطعات برای تعمیر و یا تولید به روش جوشکاری زیاد باشد بحث جوشکاری اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. پیشرفت‌های اخیر سبب شده کمترین محدودیتی در اتصال مواد مختلف به یکدیگر وجود داشته باشد [۱].

تا به امروز، فرآیندهای جوشکاری متعددی ارائه گردیده است. این فرآیندها بر مبنای نوع منبع گرمای ورودی متفاوت هستند. فرآیندهای جوشکاری را می‌توان به دو دسته فرآیند جوشکاری ذوبی و فرآیند جوشکاری حالت جامد تقسیم کرد. فرآیندهای جوشکاری ذوبی از پرکاربردترین و پراهمیت‌ترین روش‌های اتصال می‌باشند. در این فرآیندها، منبع گرما حرارت مورد نیاز برای ذوب فلزات پایه و فیلر را فراهم می‌کند و در پایان کار اتصال دائمی برقرار می‌شود [۲]. جوشکاری قوسی با الکترود پوشش‌دار یکی از فرآیندهای جوشکاری ذوبی است که در این روش از یک الکترود پوشش‌دار و جریان الکتریکی جهت ایجاد اتصال بین دو قطعه استفاده می‌شود. الکترود با پوشش محافظی به نام فلاکس پوشانیده شده است. در حین جوشکاری، این پوشش فلاکس سوخته و گازی را آزاد می‌کند که این گاز از فلز پایه حین جوشکاری محافظت می‌کند [۲،۳].

قطعاتی که در شرایط کاری سخت در صنایع مختلفی همچون پتروشیمی، نفت و گاز، فولاد، معادن بکار می‌روند پس از مدت کوتاهی معیوب شده و از چرخه کار خارج می‌شوند. تعویض و جایگزینی این قطعات، هزینه گزافی را به صنایع تحمیل می‌کند. لذا روش‌های متعددی ارائه گردیده است که قطعات را قبل از استفاده ارتقا داده به‌طوری‌که طول عمر کاری آن‌ها افزایش یابد. یکی از این روش‌ها، فرآیند سخت‌کاری سطحی است. سخت‌کاری سطحی یک فرآیند فلزکاری است که در آن مواد سخت‌تری با کمک فرآیندهای مختلف جوشکاری مانند جوشکاری قوس الکتریکی، جوشکاری TIG و جوشکاری قوس پلاسما بر روی مواد پایه اعمال می‌شود. آلیاژ سخت‌کاری سطحی بر روی مواد برای دستیابی به مقاومت در برابر سایش بالا و خواص بهتر بر روی مواد اعمال می‌شود [۴].

در حین جوشکاری، گرمایش و سرمایش سریع رخ می‌دهد که سیکل حرارتی شدیدی را در نزدیکی منطقه ناحیه اتصال ایجاد می‌کند. این سیکل حرارتی باعث شده تا ناحیه متأثر از حرارت سخت‌تر شود و تنش‌های پسماند و



حساسیت به ترک سرد در فلز جوش و فلز پایه ایجاد شود. موارد فوق باعث افت خواص مکانیکی ناحیه اتصال و کاهش کیفیت جوش موردنظر می‌شود. برای کم کردن یا به حداقل رساندن مشکلات فوق از عملیات حرارتی قبل از جوشکاری (پیش گرم) و بعد از جوشکاری (پس گرم) استفاده می‌شود [۵].

بیان مسئله

از دیرباز تا کنون، در صنایع مختلف مانند صنایع نفت و گاز، پتروشیمی و... پیشرفت‌های چشمگیری انجام گرفته است. صنعت متالورژی که به عنوان یکی از اجزای اصلی این پیشرفت است، با تکیه بر علم مواد مختلف، روش‌های گوناگونی را جهت اتصال و جوشکاری قطعات به یکدیگر ارائه داده است. یکی از این روش‌ها، کمک به تعمیر و افزایش عمر قطعات خط تولید صنایع فولاد است. در صنایع مختلف از جمله صنعت فولاد، در فرآیند تولید فولاد، خساراتی بر پیکره‌ی این صنایع وارد می‌شود. این خسارات ناشی از عواملی همچون سایش، خوردگی و ... می‌باشند.

اهمیت و ضرورت تحقیق

با توجه به سرعت روز افزون تولید فولاد، باید خسارات ناشی از این گونه موارد را تا حد زیادی کاهش داد. طبیعتاً این کار باعث کاهش هزینه‌ی تولید و افزایش صرفه‌ی اقتصادی می‌شود. این ذهنیت؛ ما را بر آن داشت که با استفاده از ظرفیت علمی و توان داخلی (مهندسين و محققين) به فکر تعمیر بهینه‌ی قطعات خط تولید فولاد بیفتیم. بدین ترتیب در قطعاتی که با استفاده از لایرهای دولایه، که شامل لایه‌ی فولاد ساختمانی و لایه‌ی روکش و ضد سایش است. مانند ایمپر فن‌های واقع در واحد گندله‌سازی، با استفاده از روش جوشکاری قوسی SMAW لایه‌ای را ایجاد کنیم که مانع ایجاد ترک و افزایش سختی در قسمت اتصال دو لایر از طرف قسمت روکش کاری شده خواهد شد.

اهداف تحقیق

هدف این پژوهش، اتصال ورق هاردفیس به ورق هاردفیس با روش جوشکاری SMAW با الکترود زنگ نزن به صورت جایگزین الکترودهای هاردفیسینگ و رسیدن به خواص مکانیکی مطلوب در ناحیه اتصال مانند سختی مناسب و عدم ترک خوردگی ناحیه اتصال است.

الگوی زیر برای نگارش پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته است:

در فصل دوم مجموعه‌ای از فعالیت‌هایی که تاکنون بر سخت کاری سطحی فلزات انجام شده است به همراه برخی از مبانی جوشکاری قوسی با الکترود پوشش دار ارائه شده است. در فصل سوم روند کلی کارهای تجربی، آزمایش‌های انجام شده و همچنین مشخصات تجهیزات به کار رفته در پژوهش انجام شده، آورده شده است. در فصل چهارم نتایج به دست آمده از این تحقیق مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نتایج شامل آنالیز ریزساختاری، خواص مکانیکی



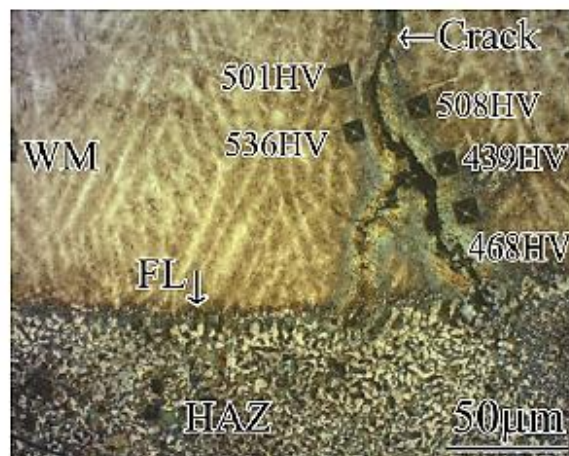
شامل سختی و سایش است. در فصل پایانی نیز نتایج حاصل از پروژه، پیشنهادات و مراجع مورد استفاده ارائه شده است.

مراحل انجام فرایند سخت کاری سطحی

قبل از انجام فرآیند سخت کاری سطحی لازم است تا فلز پایه متناسب با کاربرد مورد نظر انتخاب گردد. سپس باید عامل ساینده غالب که قطعه مورد نظر قرار است تحت آن قرار گیرد شناسایی شود. پس از آن نوع آلیاژی که قرار است بر سطح اعمال شود باید با توجه به ویژگی‌های فلز پایه، ریزساختار و کاربردهایی که حین جوشکاری به وجود خواهد آمد انتخاب شود. سپس سطح فلز پایه باید از هرگونه آلودگی، چربی، گرد و خاک عاری گردد. عملیات حرارتی پیش گرمایش جهت جلوگیری از ترک‌های هیدروژنی، حذف تنش‌های باقیمانده قبل از انجام فرآیند سخت کاری نیز باید انجام شود. سپس یک لایه بافر باید بر سطح اعمال شود. این لایه به منظور جلوگیری از ادغام آلیاژ سخت کاری در فلز پایه، جلوگیری از ترک‌های انقباضی بر سطح اعمال می‌شود. پس از همه این‌ها عملیات سخت کاری سطحی با روش جوشکاری مناسب برای فلز پایه انجام می‌گیرد. به منظور جلوگیری از ترک و حذف تنش‌های ناشی از جوشکاری و کاهش سختی ناحیه اتصال، فلز سخت کاری شده تحت عملیات حرارتی پس گرمایش قرار می‌گیرد. بدین ترتیب فلز پایه دارای یک لایه سخت تر و مقاوم به سایش و سایر فرآیندهای تخریبی می‌شود که این لایه سبب افزایش طول عمر آن می‌شود [۱۵]

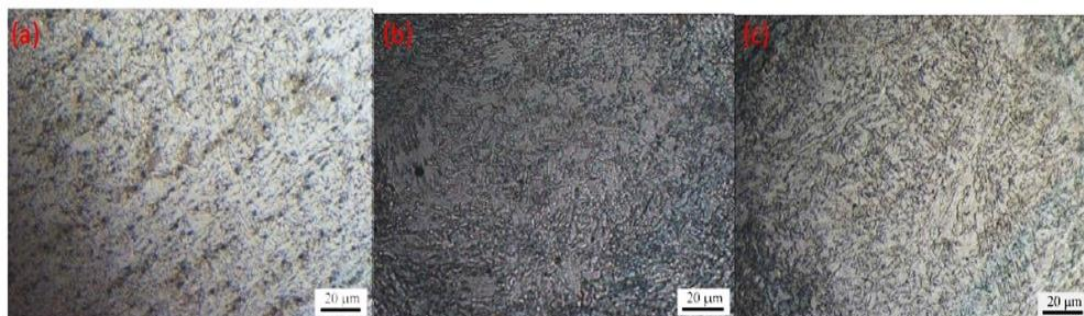
مروری بر پیشینه تحقیق

تری واناپونگ و همکاران در سال ۲۰۱۸، با مطالعه‌ی تأثیر دمای بین پاسی بر مقاومت سایشی فلز جوش سخت کاری سطحی شده با روش جوشکاری SMAW بر روی فولاد کربنی JIS-S50C دریافتند که افزایش دمای بین پاسی منجر به افزایش اندازه دانه، کاهش سختی و کاهش مقاومت به سایش فلز جوش سخت کاری سطحی شده، می‌شود. دمای بین پاسی پایین باعث افزایش تنش پسماند می‌شود که باعث ایجاد ترک در فصل مشترک بین اولین لایه‌ی فلز جوش و فلز پایه می‌شود. نرخ سایش کمتر در مکانی یافت شد که حاوی مقادیر زیادی از عناصر تقویت کننده مانند کروم، سیلیسیم و منگنز بود. کمترین کاهش وزن ۰/۸۹٪ با اعمال دمای بین پاسی بهینه ۱۵۰ °C به دست آمد. شکل ۲-۸ تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار ناحیه جوش در دمای بین پاسی ۵۰ °C را نشان می‌دهد. ترک ناشی از تنش پسماند و سختی مناطق مختلف مشهود است [۱۸].



تشکیل ترک در خط همجوشی در دمای بین پاسی ۵۰ °C.

سیتی پانگ^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۷، پژوهشی را بر روی رفتار سایشی شافت‌های (محورهای) پروانه فولاد آلیاژی AISI 4140 سخت‌کاری سطحی شده توسط سه فرآیند جوشکاری SMAW، MAG و FCAW انجام دادند. نتایج بررسی میکروساختار نشان می‌دهد که نفوذ، ذوب فلز جوش و فلز پایه در هر سه فرآیند جوشکاری FCAW-MAG کامل شده است و همچنین بررسی میکروساختار نشان داد که ساختار دانه‌های فلز جوش به دست آمده توسط فرآیند FCAW سخت‌تر و ظریف‌تر نسبت به SMAW و MAG است. ریزساختار فلز جوش را در سه فرآیند مذکور نشان می‌دهد. علاوه بر این، نواحی فلزی جوش در تمام فرآیندهای جوشکاری ساختارهای ظریف‌تری نسبت به مناطق متأثر از گرما و مناطق فلز پایه دارند. نتایج تست سختی ویکرز نشان داد که فلز جوشی که با فرآیند FCAW ایجاد شد، مقدار سختی بیشتری نسبت به فلز جوش ایجاد شده با فرآیندهای SMAW و MAG از خود نشان داد. سختی مناطق متأثر از حرارت در هر سه فرآیند جوشکاری دارای مقادیر کمتری نسبت به مناطق فلز جوش است، اما بیشتر از سختی فلز پایه است [۱۹].

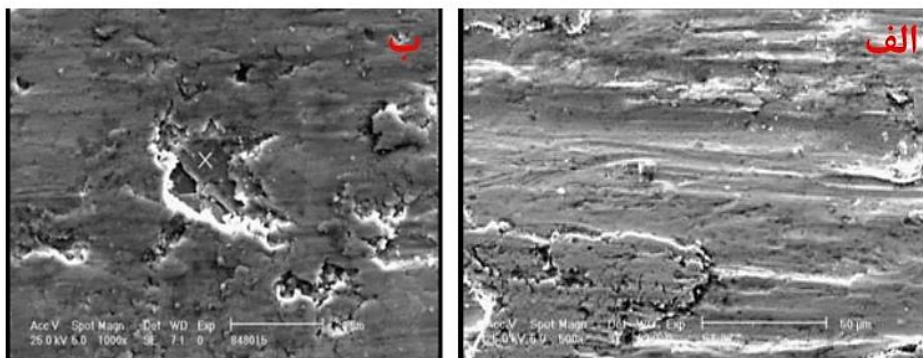


تصویر SEM از ریزساختار فلز جوش در فولاد AISI 4140 هاردفیس شده توسط فرآیندهای (a) SMAW،

¹ Sitthipong

$\cdot \text{FCAW}_{(c)} \cdot \text{MAG}_{(b)}$

آقایان عظیمی و شمعیان با مطالعه بر روی روکش کاری فولاد ساده کربنی با الکترودهای پرکروم - پرکربن، و ارزیابی ریزساختار سایشی روکش دریافتند که افزایش مقاومت سایشی در لایه های روکش ناشی از ترکیب بهینه ای از کروم با عناصر کاربیدزا نظیر Mo و Nb در پوشش الکتروده است که با شکل گیری کاربید NbC و کاربید γ C3(Fe,Mo,Cr) در ریزساختار روکش سبب افزایش سختی سطحی و بهبود رفتار سایشی می گردد. تصویر میکروسکوپی از سطح فولاد ساده کربنی در حالت بدون پوشش و هاردفیس شده را نشان می دهد. همان طور که مشهود است پوشش سطحی توانسته است به طور مؤثر نرخ سایش را کاهش دهد [۲۲].

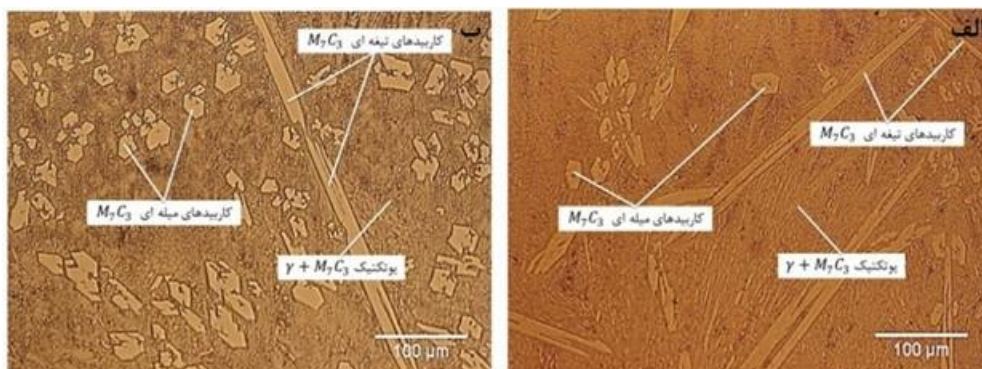


تصویر میکروسکوپی از سطح فلز پایه تحت بار سایشی 150 N در حالت الف) بدون پوشش، ب) روکش با الکتروکودینگ. [۲۲]۸۴۸۰.

برمکی و آمینی در پژوهشی حضور لایه میانی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ بر ریزساختار، سختی و رفتار سایشی فولاد St52 که با استفاده از روش‌های SMAW و GTAW با الکتروود پر کروم-کربن E10-UM-60R سخت‌کاری شدند را بررسی نمودند. بدین منظور ایشان ابتدا یک لایه فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ را بر سطح فولاد پایه با روش جوشکاری GTAW پوشش دادند. سپس یک لایه الکتروود E10-UM-60R بر سطح اعمال کردند و با حالت وجود فقط یک لایه الکتروود E10-UM-60R بر سطح فولاد پایه مقایسه‌ای انجام نمودند. در شکل ۲-۱۳ ریزساختار سطح نمونه‌ها در حالت بدون لایه میانی با لایه میانی ۳۰۹ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد ساختار نمونه‌ها شامل کاربیده‌های M7C3 و زمینه یوتکتیک M7C3+γ است. همچنین بررسی تصاویر حاکی از آن است که در نمونه با لایه میانی ۳۰۹ نسبت به نمونه بدون لایه میانی حجم کاربیده‌های M7C3 تشکیل‌شده افزایش یافته است. این موضوع باعث افزایش سختی و مقاومت سایشی در نمونه با لایه میانی ۳۰۹ در



مقایسه با نمونه ی بدون لایه میانی می‌گردد، به‌نحوی که میزان سختی سطح نمونه های بدون لایه میانی و با لایه میانی به ترتیب ۷۸۰ و ۹۴۵ ویکرز گزارش شد [۲۳].

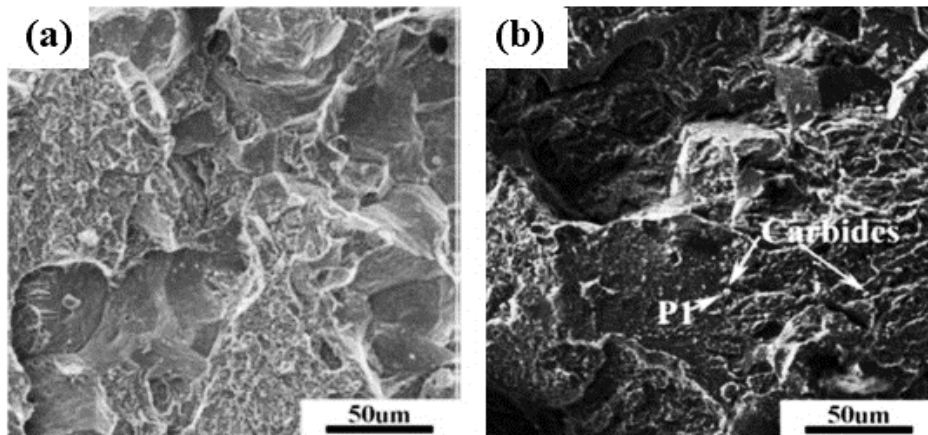


ریزساختار سطح نمونه‌ها در حالت γ بدون لایه میانی با لایه میانی ۳۰۹ در فولاد سخت کاری سطحی

لری نژاد مقدم و عمادی در سال ۱۳۹۳ فولاد ST37 را با آلیاژ Fe-20Cr-10Ni %wt با فرآیند جوشکاری SMAW سخت کاری سطحی کردند و خواص سایشی و سختی فلز پایه را پس فرآیند سخت کاری بررسی نمودند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که در سطح پوشش؛ کاربید کروم تشکیل شده که به موجب آن سختی و مقاومت به سایش فلز پایه افزایش یافته است. مکانیزم سایش در سطح، سایش چسبان بوده که به دلیل تشکیل کاربید کروم، نرخ سایش کاهش پیدا کرده است [۲۶].

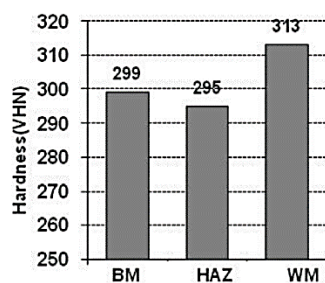
لیانگ^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی گرمای ورودی در جوشکاری SMAW بر ریزساختار و خواص مکانیکی فولاد قالب 5Cr5MoV پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش گرمای ورودی، استحکام کششی فلز جوش و ناحیه متأثر گرما افزایش یافت. همچنین با افزایش گرمای ورودی، سختی ناحیه جوش و ناحیه متأثر از گرما افزایش می‌یابد. بهترین مقدار گرمای ورودی ۶/۶ kJ/cm گزارش گردید. همچنین با افزایش گرمای ورودی کاربیدها در مرزدانه رسوب می‌کنند و مکانیزم شکست نیز از کلیواژ به شبه کلیواژ تغییر می‌کند. شکل ۲-۱۹ سطح مقطع شکست در گرمای ورودی ۴/۲ kJ/cm و ۶/۶ kJ/cm را نشان می‌دهد [۲۷].

¹ Liang

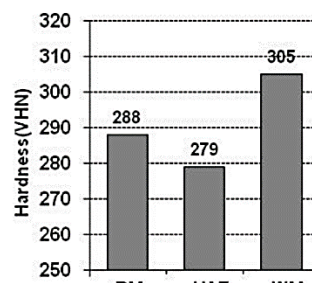


b) a) $2/4 \text{ kJ/cm}$ جوشکاری شده با گرمای ورودی $6/6 \text{ kJ/cm}$ [27].

حبیبی‌پور و همکاران در سال ۲۰۱۷ تحقیقی را بر تأثیر دمای عملیات حرارتی پس‌گرمایش بر ریزساختار و خواص مکانیکی فولاد کم آلیاژ استحکام بالا A517-Gr.B جوشکاری شده با فرآیند SMAW انجام دادند. در تحقیق ایشان، فولاد A517-Gr.B با طرح جناقی و با الکترود E11018-M به یکدیگر متصل شدند. سپس برای بررسی تأثیر دمای پس‌گرمایش از دماهای 450°C تا 600°C فولاد را با نرخ گرمایش $600 \text{ h/}^\circ\text{C}$ و نرخ سرمایش $500 \text{ h/}^\circ\text{C}$ به مدت ۳۰ دقیقه عملیات حرارتی کردند. نتایج تست خمش نشان داد که با افزایش دمای عملیات حرارتی، طول و عمق ترک‌ها افزایش یافته و قطعه شکننده‌تر می‌شود. همچنین با افزایش دمای عملیات حرارتی، سختی مناطق مختلف جوش کاهش می‌یابد. که دلیل آن را می‌توان شکل‌گیری فاز فریت و پرلیت در ریزساختار فلز جوش عنوان کرد. همچنین افزایش دما سبب شکل‌گیری رسوباتی در مرز دانه‌ها می‌شود که به موجب آن مکانیزم شکست قطعه کلیواژ می‌شود. شکل ۲-۲۰، نمودار سختی مناطق مختلف جوش را در دو دمای عملیات حرارتی پس‌گرمایش 450°C و 550°C نشان می‌دهد [۳۱].



a)

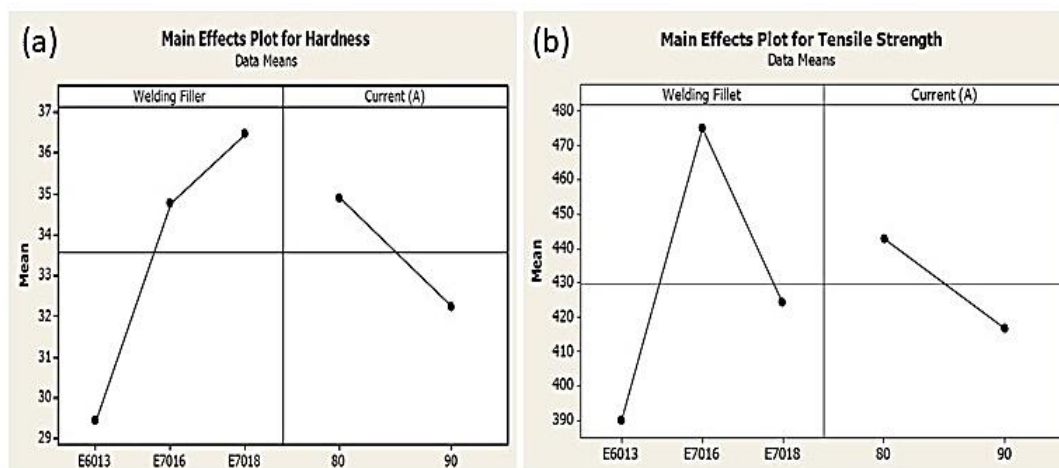


b)

b) نمودار سختی مناطق مختلف جوش را در دو دمای عملیات حرارتی پس‌گرمایش 450°C [۳۱]. a) 550°C



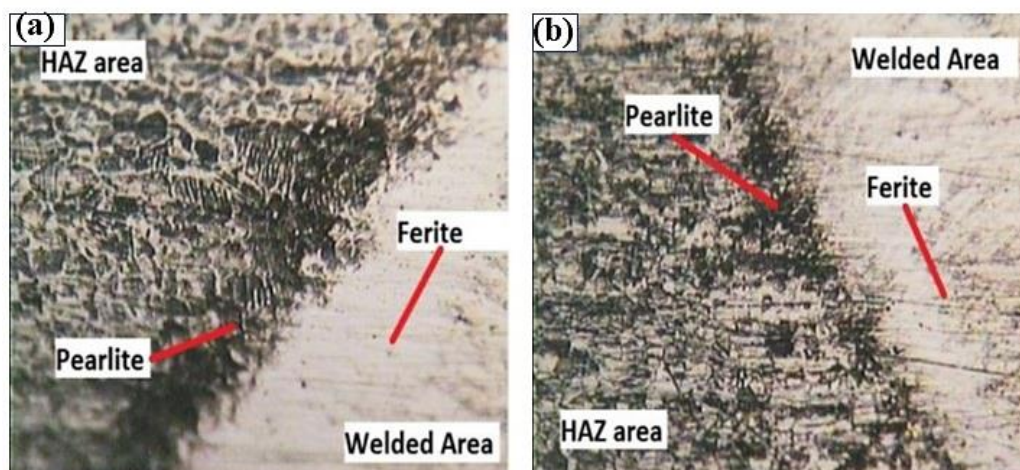
در تحقیقی که در سال ۲۰۱۸ توسط تاهیر^۱ و همکاران بر تأثیر الکترودهای مختلف و شدت جریان جوشکاری بر خواص مکانیکی فولاد کم‌کربن AISI 1020 در روش جوشکاری SMAW صورت گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش شدت جریان جوشکاری، گرمای ورودی نیز افزایش یافته و رشد دانه در ریزساختار فلز جوش افزایش می‌یابد و مرزهای دانه نیز کاهش می‌یابد. از آنجایی که مرزدانه‌ها که به عنوان مانعی برای حرکت نابجایی‌ها است، با کاهش آن‌ها امکان حرکت نابجایی‌ها افزایش می‌یابد. این امر باعث کاهش استحکام می‌شود. این فولاد دارای دو فاز پرلیت و فریت است. بنابراین با افزایش اندازه دانه، فاز پرلیت نیز بزرگ شده و باعث کاهش سختی می‌شود. الکتروده E6103 کمترین سختی و استحکام کششی را در ناحیه اتصال ایجاد کرد در حالی که الکتروده E7016 بیشترین استحکام کششی و الکتروده E7018 بیشترین سختی را در ناحیه اتصال ایجاد نمود. شکل ۲-۱۴ مقایسه بین سختی و استحکام کششی الکترودها و جریان‌ها در فلز جوش را نشان می‌دهد [۳۲]



تأثیر متغیرهای الکتروده و جریان بر (a) سختی، (b) استحکام کششی [۳۲].

¹ Tahir

ویدودو^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۸، تأثیر پارامتر شدت جریان جوشکاری بر خواص مکانیکی فولاد زنگ‌نزن AISI 304 با الکتروود E308-16 توسط فرآیند SMAW بررسی کردند. نتایج نشان داد که شدت جریان ۹۰ A مناسب برای جوشکاری این فولاد با الکتروود مذکور است که استحکام کششی در حدود ۶۳۲ MPa است. این فولاد دارای دو فاز فریت و درصد کمی پرلیت است که با افزایش شدت جریان ورودی، ریزساختار فریت و پرلیت صاف‌تر و یکنواخت‌تر می‌شود. شکل ۲-۱۵ ریزساختار ناحیه اتصال را در دو شدت جریان ۷۰ و ۹۰ آمپر نشان می‌دهد [۳۳].



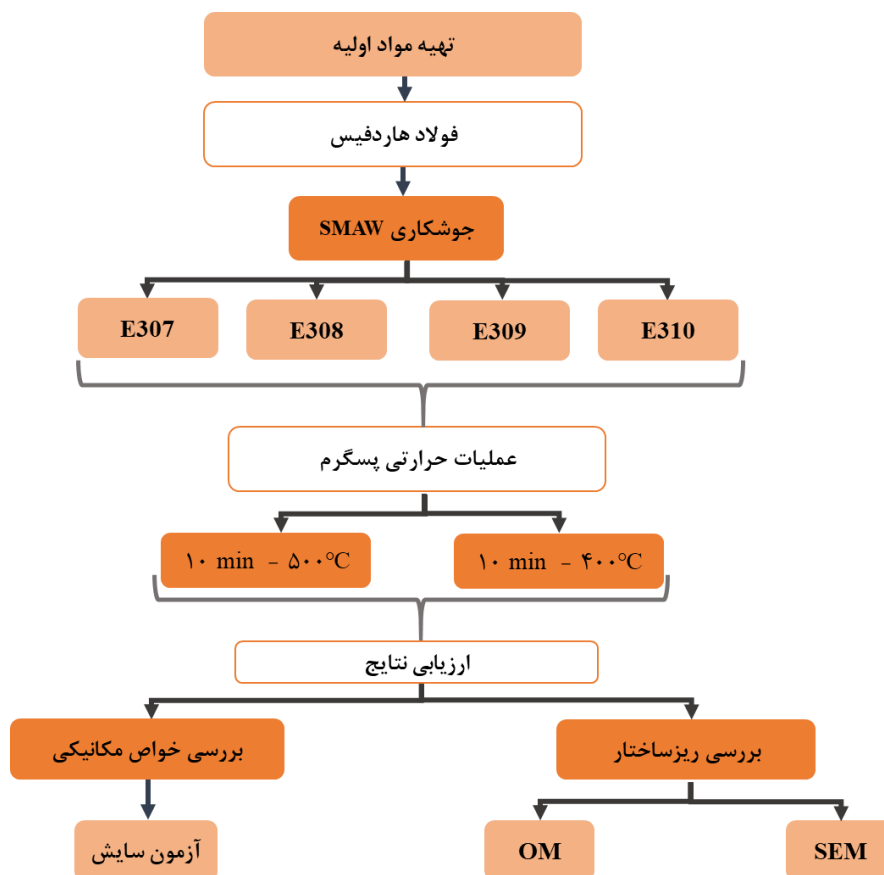
هدف پروژه

هدف از این پروژه بررسی انواع الکتروود مناسب برای جوشکاری ورق‌های فولادی دولایه و دسته‌بندی آنها براساس خواص مکانیکی علی‌الخصوص رفتار سایشی می‌باشد. به عبارتی دیگر از اهداف اصلی این پروژه دستیابی به پروتکل لازم برای تعمیرات قابل انجام در جوشکاری قطعات فولادی ابزار یا آلیاژی به روش SMAW در صنایع بزرگ مانند فولاد مبارکه می‌باشد.

فلوچارت تحقیق

با توجه به حجم عملیات صورت گرفته از قبیل آماده‌سازی اولیه نمونه‌ها، انجام عملیات حرارتی و آزمون سایش، برای درک بهتر مراحل کار انجام‌شده در این پژوهش، روند کلی کار در آورده شده است.

¹ Widodo



مراحل انجام پژوهش

شماره	الکتروود	عملیات حرارتی پس گرم
۱	E307	-
۲	E307	۱۰ min - ۴۰۰°C
۳	E307	۱۰ min - ۵۰۰°C
۴	E308	-
۵	E308	۱۰ min - ۴۰۰°C
۶	E308	۱۰ min - ۵۰۰°C
۷	E309	-



۱۰ min – ۴۰۰°C	E309	۸
۱۰ min – ۵۰۰°C	E309	۹
عملیات حرارتی پس گرم	الکترو	شماره
–	E310	۱۰
۱۰ min – ۴۰۰°C	E310	۱۱
۱۰ min – ۵۰۰°C	E310	۱۲

آزمون سایش

در این پژوهش به علت جوشکاری نمونه به صورت T-joint امکان آزمون سایش از نوع پین روی دیسک امکان پذیر نبوده است. در نتیجه روش سایش رفت و برگشتی انتخاب شد. قبل از انجام آزمون سایش نمونه‌ها برای یکسان سازی زیری تا سنباده ۸۰۰ پولیش شدند. دیسک‌هایی از جنس فولاد بلبرینگ AISI52100 برای انجام آزمون سایش مورد استفاده قرار گرفتند. آزمون سایش به وسیله دستگاه سایش رفت و برگشتی طبق استاندارد ASTM G133 در دمای محیط (۲۵ °C)، سرعت لغزش ۰/۲ m/s و مسافت لغزش ۱۰۰۰m تحت نیروی ۱۵ نیوتن انجام شد. در طی آزمون سایش، ضریب اصطکاک با استفاده از یک ترانسدیوسر غیر تماسی به همراه مسافت لغزش و عمق سایش اندازه گیری شد.

ترکیب آلیاژ

در این پژوهش به بررسی تأثیر جنس الکترو و عملیات حرارتی پس گرم بر رفتار سایش و ریزساختار فولاد دو لایه پرداخته شده است. بدین منظور از فولاد هاردفیس با سختی ۵۸ HRC (از ضخامت ۲ mm از زیر لایه سخت شده) و ضخامت ورق‌های فولادی ۱۰ میلی‌متر استفاده شد. برای دستیابی به ترکیب شیمیایی ورق‌های فولادی، آنالیز ترکیب شیمیایی به روش اسپکترومتری نشری (کوانتومتری) بر روی آن‌ها انجام شد. نتایج به دست آمده در نشان داده شده است.

نتایج آزمایش کوانتومتری فلز پایه

ترکیب شیمیایی (درصد وزنی)					
C	Si	Mn	Cr	Nb	Fe
۰/۴۵	۱/۳۹	۰/۴۵	۲۶/۳۲	۱/۰۵	مابقی



جوشکاری نمونه ها

در این تحقیق نمونه ها به وسیله ۴ نوع الکترو د زنگ نزن E307, E308, E309 و E310 جوشکاری شدند که در تصاویر آن ها مشخص شده است. در ادامه به تفکیک این الکترودها معرفی می شوند. قبل از استفاده تمامی الکترودها در آون و در دمای 200°C به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. روش جوشکاری مورد استفاده جوشکاری قوس الکتریکی دستی (SMAW) و با وضعیت تخت در شرایط استاندارد انجام شده است. به منظور جوشکاری از ۲۴ ورق دو لایه هاردفیس مطابق استاندارد DIN 8575 به ابعاد ۵۰ mm در ۱۰۰ mm و با ضخامت ۴ + ۶ mm بریده شده توسط پلاسما استفاده شد. طرح اتصال ورق های فولادی به صورت T-joint است که در شکل ۳-۳ مشاهده می شود. منبع جریان الکتریکی در این فرآیند جریان مستقیم بوده است که توسط دستگاه رکتی فایر جوشکاری تأمین گردید. پارامترهای اصلی دستگاه و جوشکاری شامل میزان آمپراژ ولتاژ ورودی و سرعت در نمونه ها همگی ثابت بوده است

عملیات حرارتی پس گرم

به منظور بهبود خواص فلز پایه عملیات حرارتی پس گرم اعمال می شود. این عملیات حرارتی باعث بهبود کارپذیری آلیاژ در فرآیندهای تغییر شکل بعدی می شود. در این پژوهش نمونه ها در دماهای 400°C و 500°C به مدت ۱۰ دقیقه تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند. به منظور راحتی کار در نام گذاری نمونه ها مشخص شده است. همچنین در شماتیک کوره آنیل حفاظتی مدل Nabertherm Co., Germany, L-150S3SN با دمای پیشینه 750°C و ظرفیت ۱ تن استفاده شده قابل مشاهده است.

متالوگرافی

برای بررسی های ریزساختاری نمونه ها، سه منطقه فلز پایه، منطقه HAZ و منطقه جوش (پرکننده) در نظر گرفته شد. ابتدا نمونه ها به وسیله وایرکات در ابعاد ۲۰ mm در ۲۰ mm بریده شدند. سطح نمونه ها به وسیله سنباده هایی از جنس SiC و از شماره ۸۰ تا ۲۰۰۰ آماده شدند و در نهایت پولیش نهایی به کمک سوسپانسیون آلومینای ۳ میکرون انجام شد. برای مشاهده ریزساختار از محلول اچ حاوی ۲۰ میلی لیتر متانول، ۴۵ میلی لیتر اسید کلریدریک و ۱۵ میلی لیتر اسید نیتریک استفاده شد. همچنین ریزساختار آلیاژها به وسیله میکروسکوپ نوری ساخت شرکت Leitz و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، مدل CamScan-MV2300 مورد بررسی قرار گرفت. در این آنالیز از فاصله کاری ۱۴/۷ mm و ولتاژ ۲۰ kV استفاده شد.

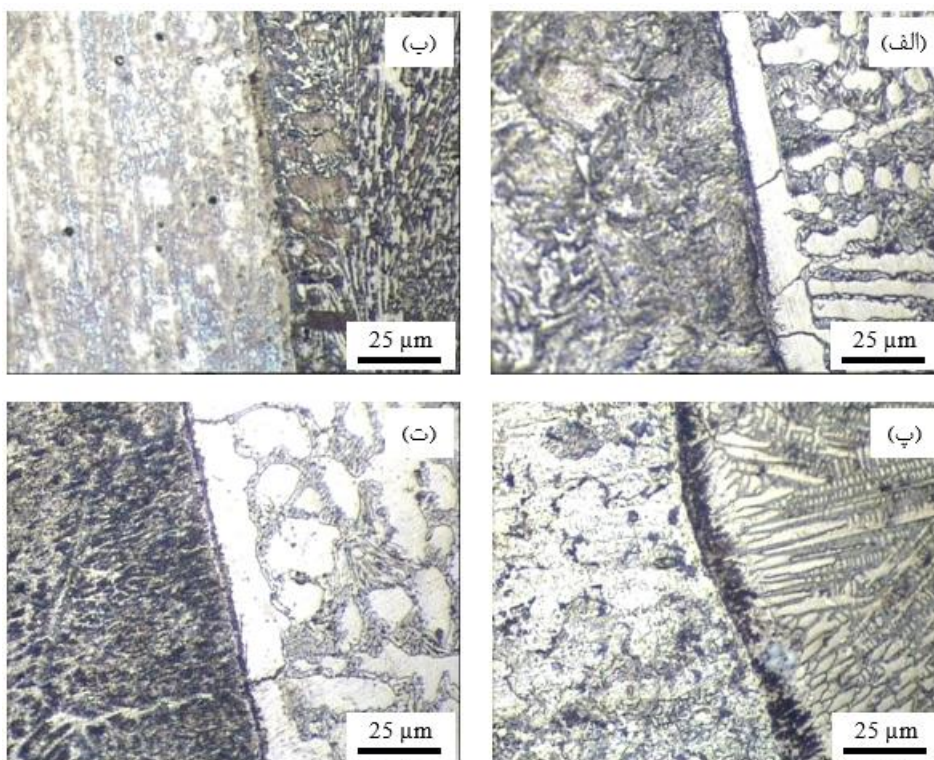


بررسی ریز ساختار

در این بخش به بررسی ریزساختار نمونه‌ها بعد از جوشکاری توسط الکترودهای مختلف پرداخته می‌شود. به این منظور تصاویر میکروسکوپ نوری و SEM در حالت‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مقایسه ریز ساختار

تصاویر ریزساختار میکروسکوپ نوری فلز جوشکاری شده با الکترودهای مختلف را نشان می‌دهد. مطابق شکل ریزساختار فلز پایه در همه الکترودهای استفاده شده ثابت است. اما در منطقه HAZ و جوشکاری متفاوت است. شکل ۴-۹ (ب) نشان می‌دهد استفاده از الکتروده E308 سبب تشکیل ریزساختار ریزتری در مقایسه با نمونه‌های دیگری شده است. علاوه بر آن منطقه HAZ تشکیل شده نیز باریک تر است. بعد از آن نمونه الکتروده E309 دارای ریزساختار ریزی است. در مرحله بعد نمونه الکتروده E307 و در نهایت نمونه الکتروده E310 با بزرگ‌ترین ریزساختار قرار دارد. همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد هر یک از این الکترودها دارای ترکیب شیمیایی متفاوت و کاربردهای مختلفی هستند که سبب شده ریزساختار تشکیل شده متفاوت باشد

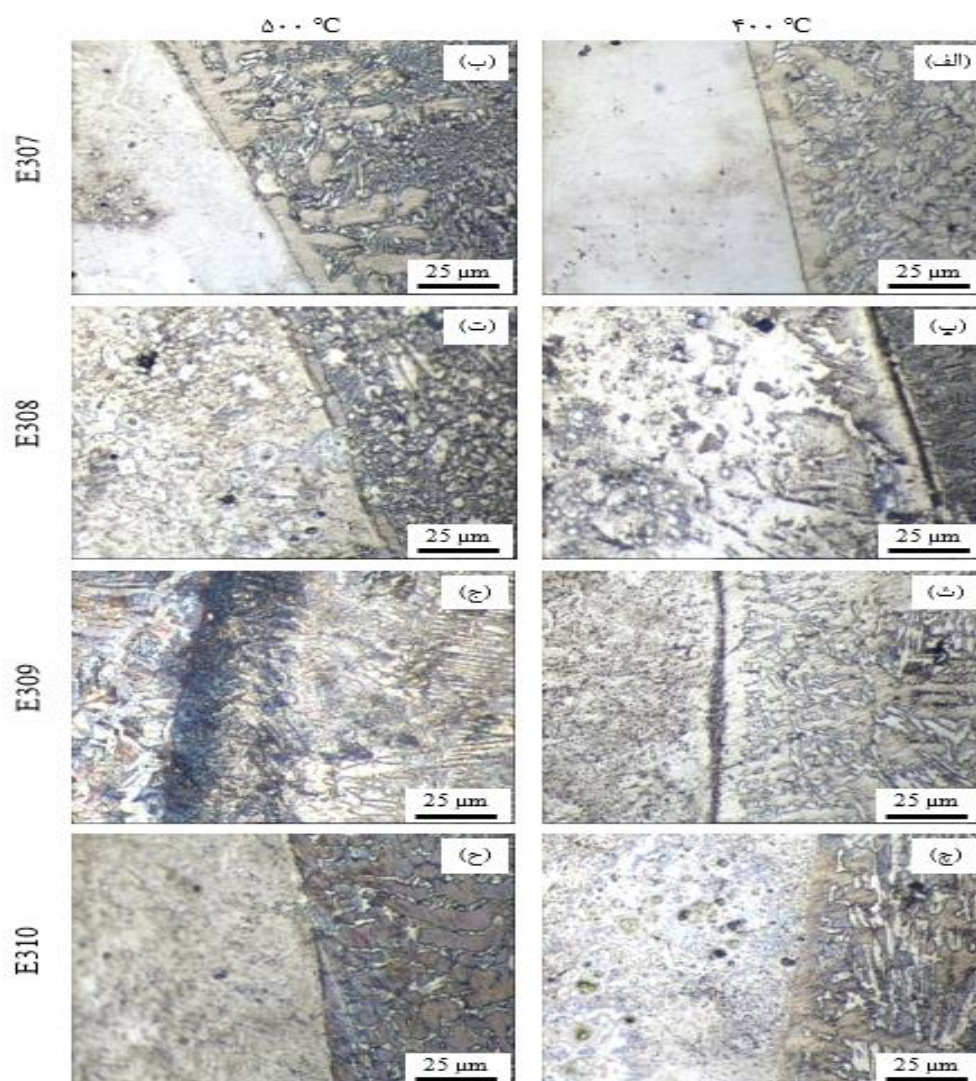


تصاویر ریزساختار میکروسکوپ نوری فلز جوشکاری شده با الکترودهای: (الف) E307، (ب) E308، (پ) E309 و (ت) E310.

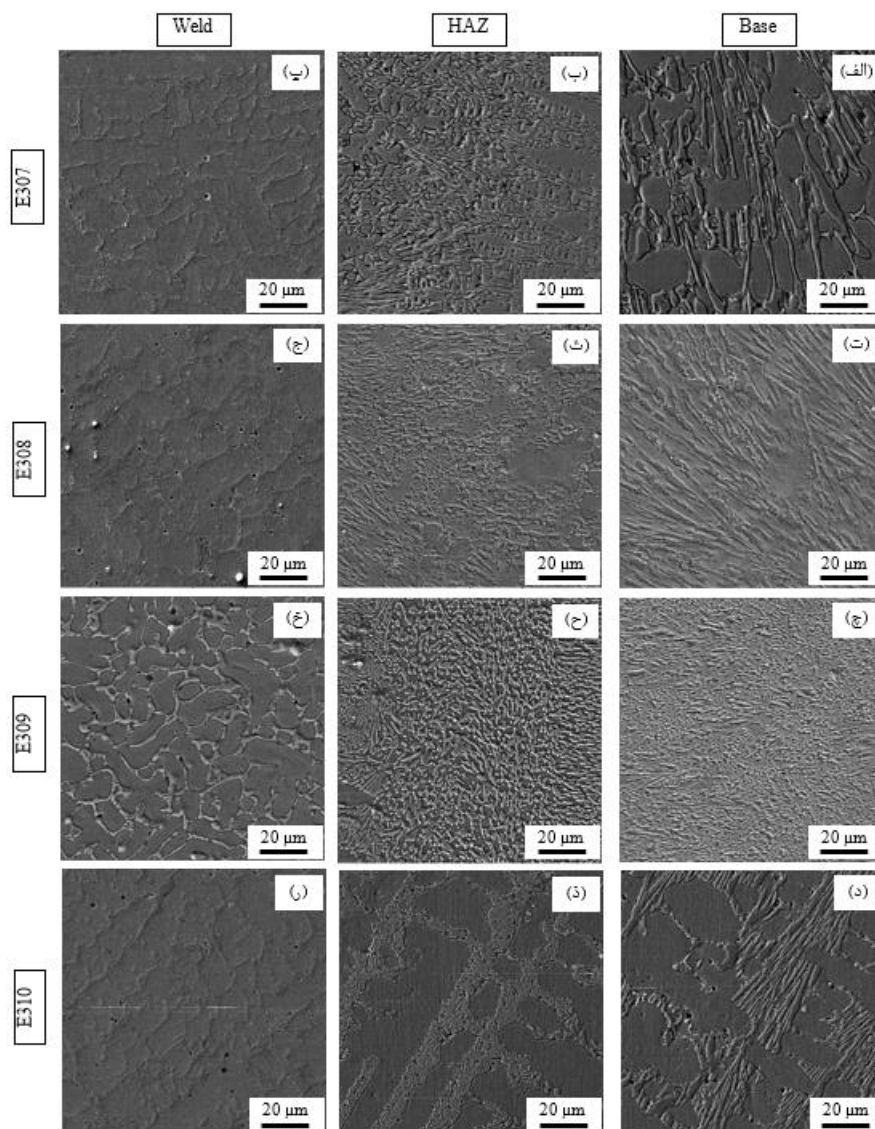
برای مقایسه راحت‌تر مناطق مختلف جوشکاری در شکل ۴-۱۰ تصاویر ریزساختار SEM فلز جوشکاری شده با الکترودهای مختلف نمایش داده شده است. به خوبی در فلز پایه ترکیب فریت و آستنیت قابل مشاهده است که با حرکت به سمت منطقه HAZ ساختار تغییر کرده و به صورت جزئی پرلیت هم مشاهده می‌شود. روند اندازه فریت در ریزساختار مانند توضیحات داده شده در بخش میکروسکوپ نوری است. اما طبق تحقیقات انجام شده عامل مهم و تعیین کننده در ریزساختار به دست آمده نسبت کروم و نیکل در الکترودها است [۳۶]. در جدول ۴-۱ این نسبت نمایش داده شده است. مطابق شکل نسبت کروم به نیکل برای الکترودهای استفاده شده به صورت $E310 < E307 < E309 < E308$ است. با تعمیم این روند به پژوهش حاضر مشاهده می‌شود تغییرات ریزساختار و اندازه فازها نسبت مستقیمی با این جدول دارد. به عبارتی دیگر با افزایش نسبت کروم به نیکل ریزساختار ریزتر شده است. تنها تفاوت نتایج به دست آمده با پژوهش بلوگرا [۳۶] نسبت کروم به نیکل الکترودها است که علت آن ترکیب شیمیایی الکترودها و اندازه بزرگ تر ریزساختار آن است. الکترودها E307 به علت دارا بودن بیشترین منگنز و کربن دارای تفاوت ریزساختاری با بقیه الکترودها است. عامل تعیین کننده دیگر طبق تحقیقات عدد فریت است. گزارش شده است با افزایش نسبت کروم به نیکل عدد فریت افزایش می‌یابد [۳۷]. مطابق شکل ۴-۱۰ (ت) و (ج) کسر حجمی فریت از دو نمونه دیگر بیشتر است که این نشان دهنده تطابق نتایج با تحقیقات انجام شده توسط دیگر پژوهشگران است.

الکترودها	مقدار کروم تعادلی	مقدار نیکل تعادلی	نسبت کروم به نیکل
E307	۲۰/۴۲	۱۳/۴۸	۱/۵۱
E308	۲۰/۵۰	۱۰/۷۴	۱/۹۰
E309	۲۴/۴۶	۱۴/۶۳	۱/۶۷
E310	۲۸/۴۳	۲۴/۴۶	۱/۱۶

مقادیر کروم و نیکل برای الکترودهای مختلف [۳۷]



تصاویر ریزساختار میکروسکوپ نوری فلز جوشکاری شده با الکترودهای مختلف بعد از عملیات پس گرم در دماهای ۴۰۰ °C و ۵۰۰ °C: الف و ب) الکترود E307، پ و ت) E308، ث تا ج) E309 و چ و ح) E310.

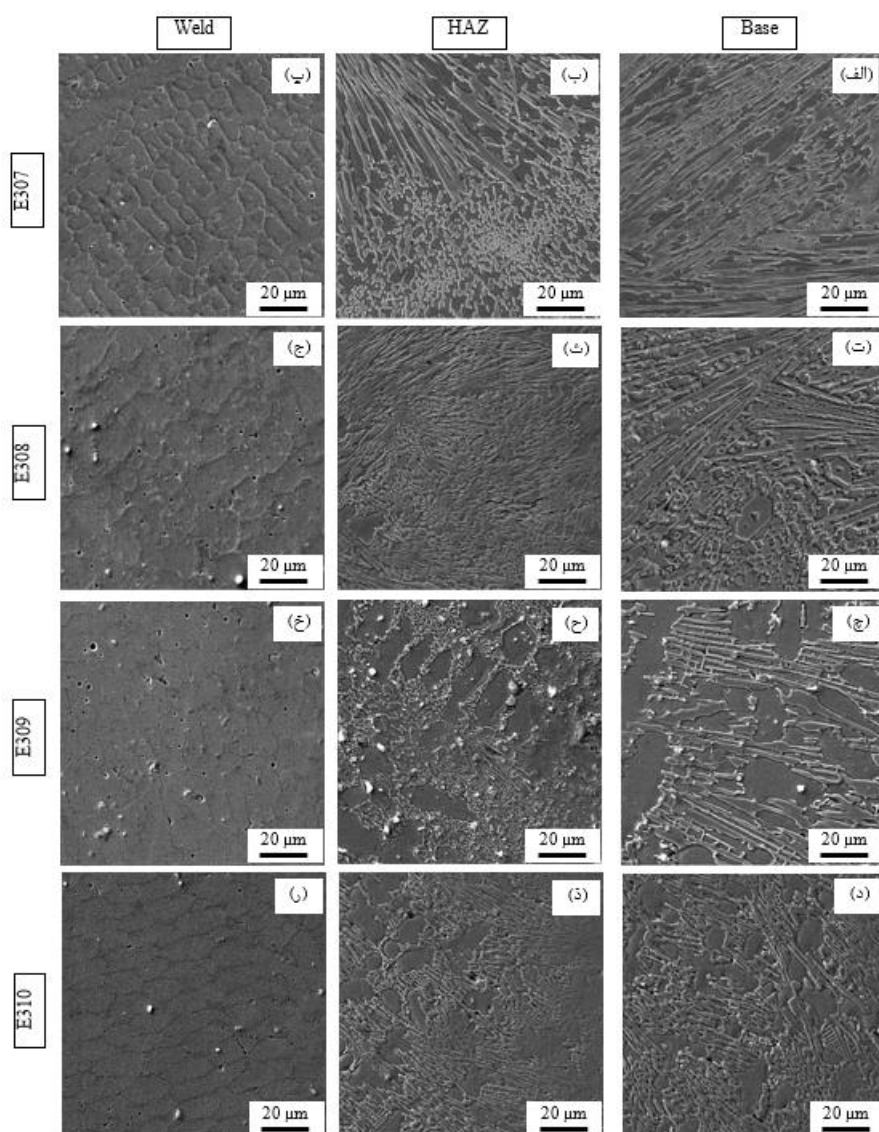


تصاویر ریزساختار SEM فلز جوشکاری شده با الکترودهای مختلف، الف تا پ) الکتروده E307، ت تا ج) E308، چ تا خ) E309 و د تا ر) E310.

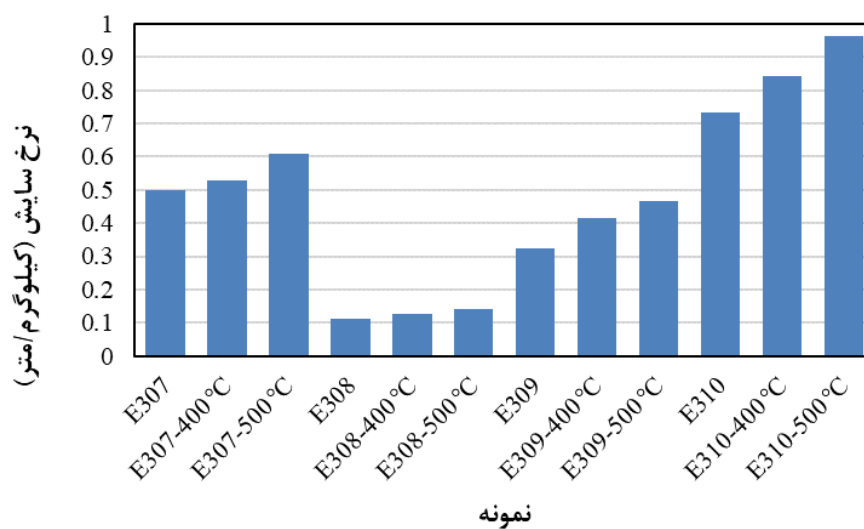
به منظور بررسی توزیع عناصر حل‌شده در حین جوشکاری در شکل ۴-۱۱ آنالیز خطی فلز جوشکاری شده با الکترودهای مختلف نشان داده شده است. مطابق شکل عناصر تعیین‌کننده در ریزساختار آهن و کروم است. بقیه عناصر تقریباً روند ثابتی در طول جوشکاری داشته‌اند. در منطقه HAZ مقداری افت کروم مشاهده شد اما با ورود به منطقه جوش این مقدار جبران شد. کاهش یا مقدار کروم در یک طول می‌تواند با عرض منطقه HAZ در ارتباط باشد. برای مثال در نمونه E310 طول کاهش مقدار کروم نسبت به نمونه‌های دیگر بیشتر است درحالی‌که برای نمونه E308 تقریباً ثابت است



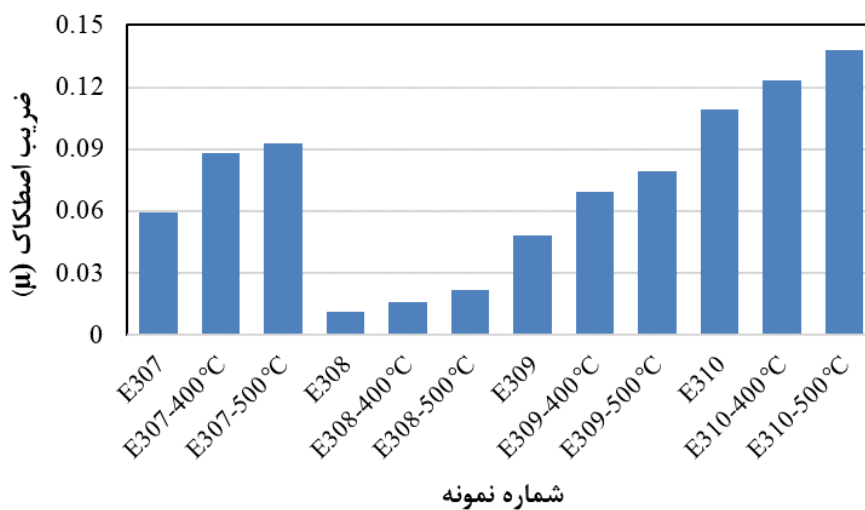
تصاویر ریزساختار SEM فلز جوشکاری شده با الکترودهای مختلف بعد از عملیات پس گرم در دمای 500°C را نشان می‌دهد. مطابق شکل کسر حجمی فریت در منطقه HAZ برای نمونه E308 بیشتر از بقیه است. همان‌طور که قبلاً نیز توضیح داده شد علت این امر ترکیب شیمیایی این الکتروده و نسبت کروم به نیکل آن است. به عبارتی دیگر می‌توان گفت عملیات پس گرم و افزایش دمای آن سبب افزایش کسر حجمی فاز فریت و تشکیل پرلیت در محدوده HAZ می‌شود که اثر مخرب آن بر مقاومت به سایشی در بخش بعدی بررسی می‌شود.



تصاویر ریزساختار SEM فلز جوشکاری شده با الکترودهای مختلف بعد از عملیات پس گرم در دمای 500°C الف تا پ (الکتروده E307، ت تا ج E308، چ تا خ E309 و د تا ر E310).



نتایج نرخ سایش فلز جوشکاری شده با الکترودهای مختلف بعد از عملیات حرارتی پس گرم.



نتایج تغییرات اصطکاک با مسافت برای فلز جوشکاری شده با الکترودهای مختلف بعد از عملیات حرارتی پس گرم.



انگلیسی	فارسی	مقاله منبع
(R. Singh, 2012) (A. O'Brien, 2004) (I. Alkahla, 2010)	(علوی، ۱۳۹۳)	یک نویسنده
(G.R.C. Pradeep et al, 2010) (R. Tyagi et al, 2018) (D.S.Sharma et al , 2013) (S.Triwanapong et al, 2019) (S.Sitthipong et al, 2017) (Y.Liang et al, 2018) (N.Habibpour et al, 2017) (A.M.Tahir et al, 2018) (E.Widodo et al, 2018)	(ع.ق و همکاران ۱۳۷۸) (ب.م و همکاران ۱۳۹۷) (ل.ن و همکاران ۱۳۹۳)	بیشتر از دو نویسنده

Abstract:

In recent years, extensive studies have been conducted on the use of welding consumables, especially in steel welding. The most widely used consumables are coating electrodes. The choice of electrode depends on the base metal, chemical composition and required properties. The electrode plays important roles such as alloying, deoxygenation and protection of the molten pool in welding. Therefore, changing the percentage and type of alloy elements in the electrode can have an effect on improving the wear and corrosion properties and, as a result, the final welding properties. In this research, the surface welding of two-layer steel welded by SMAW method by EI307, EI308, EI309 and EI310 electrodes was investigated after post-heating heat treatment at temperatures of 400 and 500 °C for 10 minutes. Welding variables have been fixed in the case of coatings. Microstructural investigations and determination of the type of formed phases were performed on the samples after creating the welding layer. Also, to check the wear behavior, a pin-on-disk type test was also performed on the samples. The results show that the EI308 electrode has the smallest grain size, the largest volume fraction of ferrite, the highest ratio of chromium to nickel, and the highest wear resistance. The presence of chromium, nickel and manganese elements in the structure of the created weld layer can significantly increase the amount of wear. Also, post-heating heat treatment and increasing the temperature increased the grain size and homogeneity of the microstructure.

Keywords: SMAW, steel sheet, wear behavior, microstructure