

بررسی تاثیر قرارگیری در سمت پیش رو و پس رو بر خواص مکانیکی نمونه های اتصال یافته در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژهای آلومینیوم ۶۰۶۱ و ۵۰۵۴

امیر غیاثوند^{۱*} و سوران حسنی فرد^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۱۹ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷	جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی تکنیکی نوین محسوب می شود که در زمره فرایندهای اتصال حالت جامد دسته بندی می گردد، در چنین فرایندهایی در ماده قطعه کار و در ابزار ذوب صورت نمی پذیرد و دمای فرایند همواره در سطحی پایین تر از دمای ذوب مواد می باشد. از این تکنیک به منظور اتصال آلیاژهای آلومینیوم استفاده می گردد و محدودیت های استفاده از جوش گداخت را در پی نخواهد داشت. در پژوهش حاضر به بررسی تجربی تاثیر موقعیت قرارگیری فلز با استحکام بالاتر در سمت پیش رو و سمت پس رو بر استحکام نهایی در کشش و ریز سختی نمونه ها حاصل از نمونه های اتصال یافته به واسطه تکنیک جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی پرداخته شده است. از دو آلیاژ آلومینیومی ۶۰۶۱ و ۵۰۵۴ استفاده شد و هر کدام از این آلیاژها در دو حالت آزمایشگاهی در دو سمت پیش رو و پس رو قرار گرفته و مورد بررسی قرار گرفتند. با بررسی نمودارهای تست کشش حاصل از دو حالت آزمایشگاهی مشخص گردید که نمونه هایی که در آن ها فلز با استحکام بالاتر در سمت پیش رو قرار داشت استحکام نهایی بالاتری در نمونه جوشکاری شده حاصل گشت. هنگام قرارگیری فلز با استحکام بالاتر در سمت پس رو میزان استحکام نهایی نمونه های اتصال یافته از هر دو آلیاژ پایه مقداری پایین تر بدست آمد و نرمی و کرنش شکست در نمونه ها از میزان نرمی فلزات پایه بیشتر گردید. ریز سختی هر دو حالت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت و الگوی W شکل برای هر دو حالت تجربی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی حاصل شد.
واژگان کلیدی: جوش اصطکاکی اغتشاشی، فلزات غیر هم جنس، استحکام نهایی، ریز سختی، آلیاژ آلومینیوم.	

۱- مقدمه

عامل اصلی در اتصال حالت جامد، فشار و تغییر شکل های بزرگ پلاستیک می باشند، بر اساس عامل ایجاد فشار و تغییر شکل، دسته بندی های متفاوتی از اتصال حالت جامد ایجاد شده است [۵]. انگیزه ابداع FSW را می توان وجود محدودیت ها و عیوب فراوان در اتصال و جوشکاری آلومینیوم و آلیاژهای سخت آن با شیوه های پیشین دانست [۲ و ۶]. در این تکنیک از یک ابزار دوار مصرف نشدنی که از دو

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی^۴ تکنیکی نسبتاً نوین محسوب می شود که در زمره فرایندهای اتصال حالت جامد^۵ دسته بندی می گردد، در چنین فرایندهایی در ماده قطعه کار و در ابزار ذوب صورت نمی پذیرد و دمای فرایند همواره در سطحی پایین تر از دمای ذوب مواد می باشد [۴-۱]. دو

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: Amir.ghiasvand@tabrizu.ac.ir

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

^۴ Friction Stir Welding

^۵ Solid State Bonding

بخش اصلی پین^۱ و شانه^۲ تشکیل شده و عموماً از قطعه کار سخت تر بوده و دارای استحکام نهایی بالاتری در دمای اولیه و دمای کاری می‌باشد استفاده می‌گردد [۷]. مراحل فرایند این گونه خواهد بود که نخست ابزار دوار با حرکت انتقالی در راستای ضخامت قطعه و در شکاف میان دو قطعه کار به آرامی وارد می‌گردد، در این مرحله بالاترین نیروهای عکس‌العمل به ابزار وارد می‌گردد. تماس اولیه بین ابزار دوار و قطعه کار سبب ایجاد اصطکاک می‌شود که این اصطکاک منجر به تولید حرارت و افزایش دما در قطعات و ابزار می‌گردد، این نفوذ تا بدان جا ادامه می‌یابد که سطح شانه ابزار با سطح بیرونی قطعات تماس پیدا کند، این تماس ثانویه سبب ایجاد حرارتی وسیع و شدیدتر خواهد شد که موجب می‌گردد دمای قطعه کار شدیداً افزایش پیدا کند [۸-۱۰]، همزمان با افزایش دما میزان استحکام تسلیم قطعات کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند که باعث می‌شود فشار اعمالی از حد تسلیم ماده قطعه کار فراتر رفته و این قطعات به منطقه پلاستیک وارد گردند و جریان مواد به صورت جریان پلاستیک بزرگی حول ابزار تولید شود [۱۴-۱۱]. این جریان پلاستیک، مواد قرار گرفته در روبه‌روی ابزار را به پشت ابزار انتقال می‌دهد. در این مرحله به طور معمول برای افزایش بیشتر دمای قطعات و پیش‌گرم کردن ماده پیش روی ابزار در سیکل‌های بعدی، یک زمان اسکان^۳ نیز در نظر گرفته می‌شود که با توجه به نوع ماده میزان این توقف تعیین می‌گردد [۱۲ و ۱۵]. پس از اتمام مراحل پیشین، ابزار در راستای شکاف موجود دو قطعه دارای سرعت انتقالی نیز خواهد شد. تا پیش از حرکت انتقالی ابزار، انتقال حرارت و توزیع جریان پلاستیک مواد در اطراف پین و زیر شانه ابزار به صورت کاملاً متقارن و یکسان صورت می‌پذیرد اما پس از شروع حرکت انتقالی این تقارن از بین رفته و شاهد توزیعی نامتقارن خواهیم بود، که این توزیع نامتقارن هم در جریان مواد و هم در الگوهای انتقال حرارت تاثیر می‌گذارد و در نتیجه سبب ایجاد نواحی خاص در قطعه کار و ابزار می‌شود. قسمتی که در آن جهت برداری سرعت دورانی و سرعت انتقالی ابزار هم سو باشند را سمت پیش‌رو^۴ و بخش دیگر که در آن جهت برداری دو سرعت مذکور مخالف یکدیگر باشند را سمت پس‌رو^۵ می‌نامند [۱].

⁴ Advancing Side

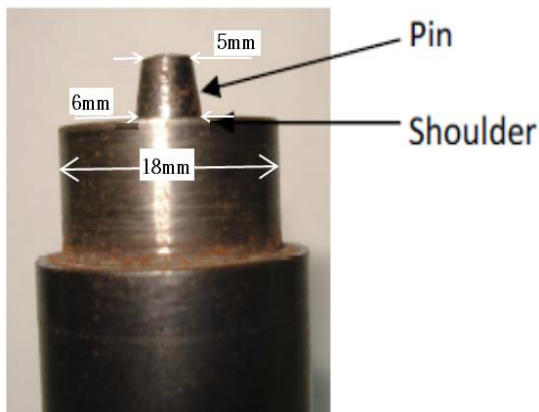
⁵ Retreating Side

¹ Pin

² Shoulder

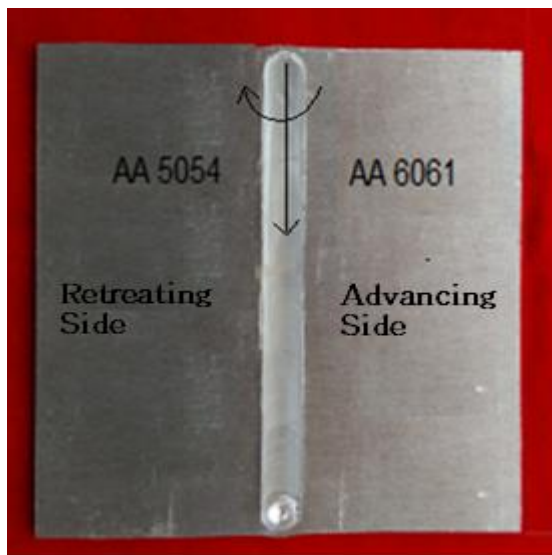
³ Dwell Time

آلیاژ تحت جوشکاری سخت‌تر باشد به همین دلیل ابزار مورد استفاده از جنس فولاد مناسب کارگرم H13 طراحی و ساخته شد که دارای استحکام بالایی در فرایندهای کارگرم می‌باشد، این ابزار در همه حالات آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۱) ابزار مورد استفاده در پژوهش حاضر را نمایش داده است.



شکل ۱- ابزار جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

شکل (۲) نمایانگر دو ورق ۶۰۶۱ و ۵۰۵۴ آلومینیومی پس از اتصال است به طوری که آلیاژ سخت‌تر ۶۰۶۱ در سمت پیش‌رو و آلیاژ نرم‌تر ۵۰۵۴ در سمت پس‌رو (حالت نخست آزمایشگاهی) قرار داشته است.



شکل ۲- ورق‌های آلیاژی اتصال داده شده (حالت نخست)

در هر وضعیت آزمایشگاهی ۳ نمونه جهت تست کشش به صورت عمود بر مسیر و خط جوش برش داده و حاصل شد، و در انتها میانگین نتایج نهایی حاصل از هر ۳ نمونه به

صورت پذیرد، از این رو در پژوهش حاضر به بررسی تجربی تاثیر این عامل (چیدمان قطعات) بر خواص مکانیکی (استحکام نهایی در کشش) و ریز سختی نهایی نمونه‌ها بر اتصال دو آلیاژ غیر هم جنس ۶۰۶۱ و ۵۰۵۴ که تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته اند، پرداخته شده است.

۲- بررسی تجربی

در پژوهش حاضر به بررسی تاثیر موقعیت قرارگیری آلیاژ با استحکام بالاتر در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی فلزات غیر هم جنس پرداخته شده است. از این رو جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی بر روی دو آلیاژ غیر هم جنس آلومینیومی صورت پذیرفت، بدین منظور از دو آلیاژ ۶۰۶۱ و ۵۰۵۴ در ضخامت یکسان و به صورت ورق‌هایی با ابعاد یکسان استفاده شده است. از هر دو آلیاژ ورق‌هایی با ضخامت ۵ میلی‌متر با ابعاد ۳۰*۵۰ میلی‌متر برش داده شد و در دو حالت متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. در حالت نخست آلیاژ سخت‌تر در سمت پیش‌رو و آلیاژ نرم‌تر در سمت پس‌رو قرار گرفت و در حالت دیگر نیز عکس حالت اول شکل گرفت و جای دو ورق آلومینیومی تعویض گردید. پیاده‌سازی و انجام فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به واسطه ماشین فرز صورت پذیرفت.

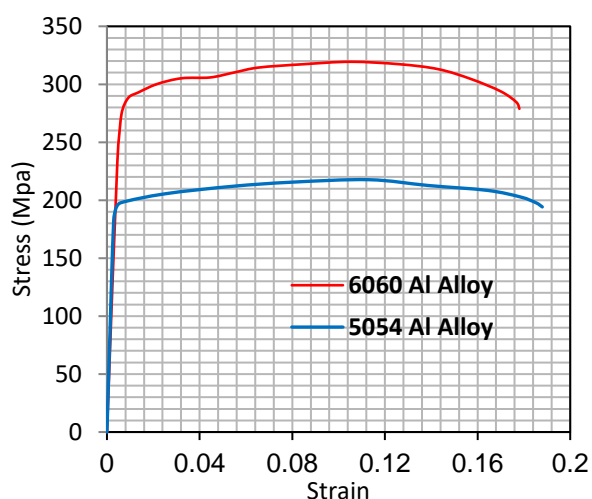
به منظور یکسان بودن شرایط آزمایشگاهی از سرعت دورانی و سرعت تغذیه^۱ یکسان در همه سیکل‌های جوشکاری استفاده شد، در همه نمونه‌های مورد بررسی از سرعت تغذیه ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و سرعت دورانی ابزار برابر با ۱۰۰۰ دور بر دقیقه استفاده شد.

ابزار مورد استفاده در همه حالات آزمایشگاهی به صورت استوانه‌ای مخروطی صاف و فاقد هرگونه ویژگی لحاظ گردید. ابزار با قطر شانه ۱۸ میلی‌متری و پین مخروطی با قطر ۶ میلی‌متر در ساقه شانه و ۵ میلی‌متر در کف پین ساخته شد، ارتفاع پین برابر با ۴/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد تا توانایی ایجاد جریان در بخش تحتانی قطعه کار را داشته باشد، همچنین زاویه کجی^۲ ابزار با برابر با ۲ درجه در نظر گرفته شد که این مقدار با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بر خواص مکانیکی و بهینه‌سازی‌های انجام گرفته توسط محققین در پیشینه پژوهش انتخاب و اجرا شد [۱۶]. به دلیل سختی نسبی دو ورق آلومینیومی باید از ابزاری استفاده می‌شد که در همه دماهای کاری از دو

^۲ Tilt Angle

^۱ Feed Rate

قبل از انجام شرایط آزمایشگاهی جوشکاری بر روی ورق-های آلومینیومی به منظور بررسی شرایط دو فلز پایه نمونه-هایی جهت تست کشش از هر دو آلیاژ پایه ساخته شد و تحت شرایط تست کشش تک محور قرار گرفت تا در نهایت منحنی تنش کرنش دو فلز پایه حاصل گردد و بتوان این داده‌های تجربی را در مراحل بعد با نمونه‌های حاصل از شرایط جوشکاری مورد مقایسه قرار داد. در شکل (۷) نمودار تنش کرنش بدست آمده از دو آلیاژ پایه آلومینیومی ۶۰۶۱ و ۵۰۵۴ نمایش داده شده است.

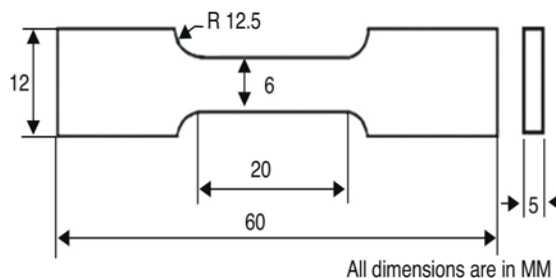


شکل ۵- نمودار تنش کرنش آلیاژهای ۶۰۶۱ و ۵۰۵۴

با توجه به نمودار شکل (۵) استحکام نهایی در کشش UTS آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ برابر با ۳۱۹ مگاپاسکال و استحکام نهایی در کشش آلیاژ آلومینیومی ۵۰۵۴ برابر با ۲۱۷ مگاپاسکال می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل، آلیاژ ۶۰۶۱ آلیاژی با استحکام نهایی بالاتر نسبت به آلیاژ ۵۰۵۴ می‌باشد و ۴۷ درصد استحکام نهایی در کشش این آلیاژ بالاتر از آلیاژ ۵۰۵۴ می‌باشد. میزان نرمی و کرنش شکست هر دو آلیاژ به طور تقریبی یکسان می‌باشد و اختلافی کمتر از یک درصد با یکدیگر دارند. با توجه به نتایج تست کشش این دو آلیاژ پایه مشخص گردید که آلیاژ ۶۰۶۱ آلیاژ سخت‌تر و آلیاژ ۵۰۵۴ آلیاژی نرم‌تر می‌باشد. در شکل (۶) نمونه‌های تست کشش هر دو وضعیت آزمایشگاهی را قبل و بعد از انجام تست نمایش می‌دهد.

در مرحله بعد آزمایشات تجربی صورت گرفته به بررسی تاثیر قرارگیری دو آلیاژ در دو سوی خط اتصال بر خواص مکانیکی و ریزساختاری پرداخته شد. بدین منظور یکبار آلیاژ با استحکام بالاتر در سمت پیشرو و یک بار آلیاژ با استحکام پایین‌تر در سمت پیشرو قرار گرفت و قطعات به

عنوان نتیجه پایانی همان وضعیت آزمایشگاهی گزارش شد. شکل (۳) شماتیک ابعادی نمونه تست کشش را نمایش می‌دهد که بر اساس استاندارد ASTM E8M-9 می‌باشد [۱۷] برای هر دو حالت آزمایشگاهی از این ابعاد برای ساخت نمونه‌ها استفاده شده است. پس از ساخت نمونه‌ها، تست کشش به وسیله دستگاه سنتام نشان داده شده در شکل (۴) بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت.



شکل ۳: شماتیک ابعادی نمونه‌های تست کشش



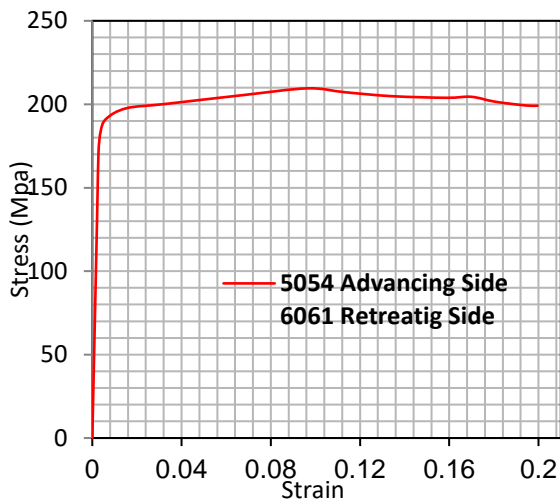
شکل ۴- دستگاه تست کشش مورد استفاده

در این پژوهش علاوه بر بررسی نمودار تنش کرنش و بررسی تغییرات حاصل در این نمودارها و تفاوت‌های موجود با فلزهای پایه، به بررسی ریز سختی مقطع نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM E92 نیز پرداخته شد [۱۸]. از نمونه‌های اتصال داده شده به واسطه برشی عمود بر خط جوشکاری نمونه‌هایی آماده گردید و بررسی ریز سختی بر نقاط متفاوت و نواحی مختلف مقطع جوش صورت پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی استحکام نهایی

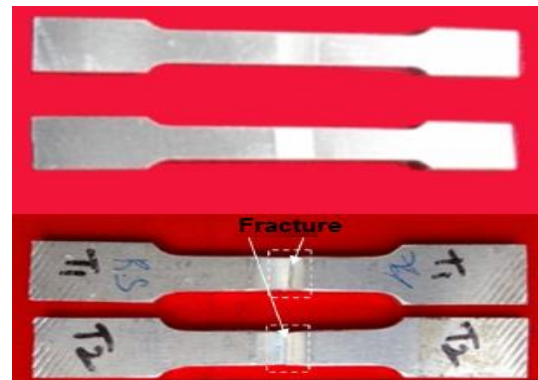
نمایش می‌دهد که در این وضعیت فلز با استحکام پایین تر در سمت پیش‌رو و فلز با استحکام بالاتر در سمت پس‌رو قرار گرفته است.



شکل ۸- نمودار تنش کرنش نمونه آزمایشگاهی دوم

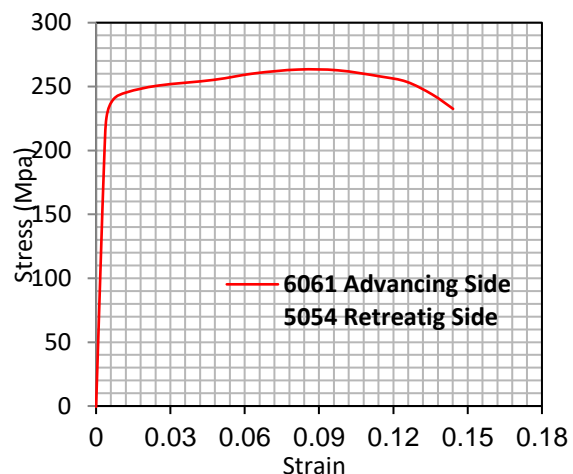
در این حالت آزمایشگاهی آلیاژهای ۶۰۶۱ و ۵۰۵۴ به ترتیب در سمت پس‌رو و پیش‌رو مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطابق نتایج حاصل از نمودار شکل (۱۰) استحکام نهایی نمونه جوشکاری شده برابر با ۲۰۹ مگاپاسکال می‌باشد که این میزان از استحکام نهایی در کشش برابر با ۶۶ درصد فلز با استحکام بالاتر و ۹۶ درصد استحکام فلز با استحکام پایین‌تر است که در نتیجه استحکام نهایی نمونه جوشکاری شده از دو آلیاژ پایه کمتر می‌باشد اما نرمی نمونه مورد بررسی و کرنش شکست این نمونه حدود ۴ درصد از مقدار دو آلیاژ مورد جوشکاری، بالاتر حاصل گردید، در این حالت آزمایشگاهی استحکام نهایی نمونه‌های اتصال داده شده نسبت به فلزات آلیاژی پایه در سطحی پایین‌تر قرار دارد و میزان نرمی نهایی نمونه جوشکاری شده از حالت پایه دو فلز بزرگ‌تر می‌باشد که دلیل آن افزایش جریان پلاستیک و میزان کرنش پلاستیک در منطقه مرکزی جوش و تبلور مجدد دینامیکی بالاتر و ریز شدن اندازه دانه‌ها در این ناحیه می‌باشد، با ریزتر شدن اندازه دانه‌ها در ناحیه جوشکاری شده میزان نرمی افزایش و میزان استحکام نهایی کاهش می‌یابد، بر اساس نتایج حاصل از تست کشش نیز مشاهده شد که شکست نهایی نمونه در بخش مرکزی ناحیه جوش در همه نمونه‌های وضعیت دوم روی داده است که این موضوع به دلیل تمرکز کرنش پلاستیک بزرگ‌تر در این ناحیه و کاهش استحکام این ناحیه نسبت به سایر مناطق جوش می‌باشد. شکل (۹) نمودار تنش کرنش پایه

واسطه روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی اتصال پیدا نمودند.



شکل ۶- نمونه‌های تست کشش (قبل و بعد از تست)

شکل (۷) نمودار تنش کرنش نمونه‌های حاصل از وضعیتی که آلیاژ با استحکام بالاتر در سمت پیش‌رو قرار گرفته است را نمایش داده است. با توجه به نمودار حاصل مشخص گردید که منحنی تنش کرنش حاصل از این حالت آزمایشگاهی دارای استحکام نهایی برابر با ۲۶۲ مگاپاسکال می‌باشد که این مقدار در حدود ۸۳ درصد استحکام آلیاژ سخت‌تر و ۱۲۰ درصد استحکام آلیاژ با استحکام پایین‌تر می‌باشد، میزان کرنش در شکست که فاکتوری برای نرمی فلزات محسوب می‌شود در نمونه‌ها به طور متوسط برابر با ۱۴ درصد بود که در مقایسه با هر دو آلیاژ پایه آلومینیومی میزان نرمی پایین‌تری را نمایش می‌دهد. این نتایج حاکی از این مسأله است که نمونه حاصل در شرایطی که فلز سخت‌تر در سمت پیش‌رو قرار گیرد دارای خواص بینابین از دو آلیاژ پایه می‌باشد و همچنین در چنین شرایطی اتصالی با استحکام مناسب و عاری از عیوب فرایند به وجود خواهد آمد.



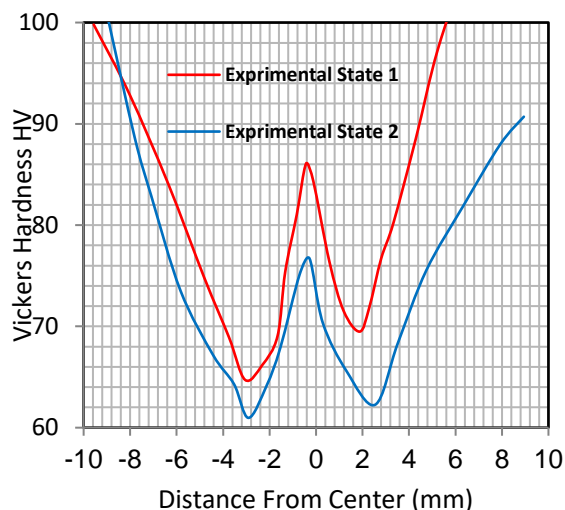
شکل ۷- نمودار تنش کرنش نمونه آزمایشگاهی نخست

شکل (۸) نمودار تنش کرنش حالت جوشکاری دوم را

آلیاژهای پایه

۲-۳- بررسی سختی

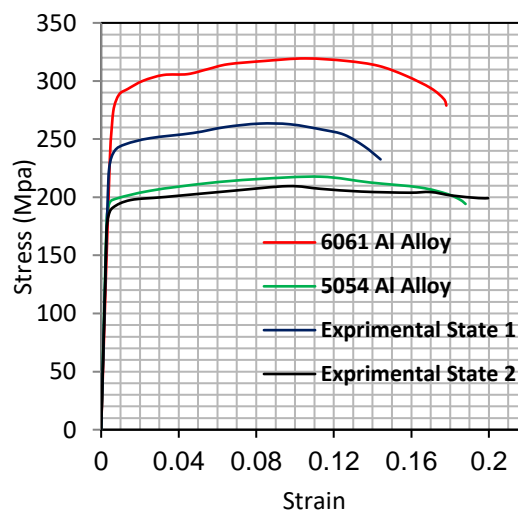
بررسی ریزسختی نمونه‌ها توسط تست سختی ویکرز بر روی سطح مقطع جوش ایجاد شده صورت پذیرفت و نتایج سختی حاصل در هر دو حالت آزمایشگاهی بدست آمد. نمودار سختی نمونه‌ها در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.



شکل ۱۰- ریزسختی نمونه‌های مورد آزمایش

با توجه به نمودار شکل (۱۰) الگوی نمودار ریز سختی در هر دو حالت مورد بررسی فارق از نحوه قرارگیری دو آلیاژ در دو سوی خط جوش به صورت W شکل می‌باشد با این اختلاف که میزان سختی در سمت آلیاژ ۶۰۶۱ به دلیل سختی فلز پایه در این آلیاژ بیشتر می‌باشد. با توجه به شکل (۷) پایین‌ترین میزان سختی در هر دو وضعیت آزمایشگاهی در ناحیه TMAZ و در سمت پسرو اتفاق خواهد افتاد که به دلیل پدیده تبلور مجدد دینامیکی جزئی و ناقص در این ناحیه از سطح مقطع جوش است [۲۲ و ۲۳] و با تغییر در جانمایی آلیاژهای مختلف این مسأله همچنان تغییر نخواهد کرد، همچنین با توجه به نمودارهای دو حالت مورد بررسی در حالت استفاده از آلیاژ سخت‌تر در سمت پیشرو (وضعیت نخست آزمایشگاهی)، میزان سختی بیشتری در کل در همه نواحی مقطع جوش ایجاد خواهد شد و این مسأله به دلیل جریان پلاستیک، نرخ کرنش و کرنش پلاستیک کوچک‌تر نسبت به وضعیت دیگر است که در نهایت منجر به کاهش کمتر در اندازه و سایز دانه‌ها در مقطع جوش می‌باشد.

دو آلیاژ همراه با نمودارهای دو حالت آزمایشگاهی مورد بررسی را نمایش داده است. بر اساس شکل (۹)، در صورت قرارگیری آلیاژ نرم‌تر در سمت پیشرو میزان استحکام نهایی به طور تقریبی برابر با استحکام فلز نرم‌تر و با استحکام پایین‌تر خواهد بود و رفتار غالب در نمونه‌ها مشابه رفتار فلز نرم‌تر خواهد شد. با توجه به چهار نمودار مورد بررسی در شکل (۹) بهینه‌ترین شرایط جهت حصول اتصالی با استحکام نهایی بالاتر در شرایط و وضعیتی روی خواهد داد که فلز با استحکام بالاتر در سمت پیشرو قرار گرفته باشد زیرا در این وضعیت میزان جریان و توزیع کرنش پلاستیک در منطقه مرکزی جوش سطحی پایین‌تر داشته و به سبب همین موضوع تبلور مجدد دینامیکی و ریز شدن سایز دانه‌ها به میزان کم‌تری اتفاق خواهد افتاد. هر چه میزان کرنش پلاستیک و نرخ کرنش در منطقه مرکزی جوش پایین‌تر باشد منجر به کاهش پدیده تبلور مجدد دینامیکی در این ناحیه می‌شود و در نتیجه استحکام نهایی در کشش نمونه اتصال داده شده که رابطه مستقیم با اندازه دانه‌ها در هسته مرکزی جوش دارد به میزان بزرگ‌تر و مناسب‌تری خواهد رسید. بالعکس چنانچه هدف از اتصال نیل به نمونه‌ای با درصد نرمی بالا باشد باید فلز با استحکام پایین‌تر را در سمت پیشرو و فلز با استحکام بالاتر را در سمت پسرو قرار داد تا بدین واسطه جریان و توزیع کرنش پلاستیک بزرگ‌تری به وجود آید و به طبع همین جریان تبلور مجدد دینامیکی افزایش یافته و اندازه دانه‌ها ریز تر شود تا در نهایت این کاهش در سایز دانه‌ها در ناحیه مرکزی جوش در نمونه اتصال داده شده موجب افزایش درصد نرمی نهایی شود.



شکل ۹- نمودار تنش کرنش همه حالات آزمایشگاهی و

۴- نتیجه گیری

- با قرارگیری فلز با استحکام پایین تر در سمت پیش-رو، استحکام نهایی حاصل از نمونه‌ها به میزان قابل توجهی دچار افت خواهد گردید و از میزان استحکام نهایی هر دو آلیاژ پایه مقداری پایین تر حاصل خواهد شد، اما نرمی نمونه نهایی در این حالت آزمایشگاهی ۴ درصد از آلیاژهای پایه بزرگتر بدست آمد.
 - ریزسختی نمونه‌های مورد بررسی در هر دو حالت آزمایشگاهی به صورت الگوی W شکل حاصل شد و پایین ترین میزان سختی در منطقه TMAZ سمت پس‌رو هر دو نمونه به وجود آمد.
 - میزان سختی نمونه‌ای که در آن فلز سخت تر در سمت پیش‌رو قرار گرفته بود در کل مقطع مقداری بالاتر از نمونه دیگر با شرایط معکوس جانمایی حاصل شد.
- جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی بر روی دو آلیاژ غیر هم جنس ۶۰۶۱ و ۵۰۵۴ صورت پذیرفت، دو حالت متفاوت آزمایشگاهی در نظر گرفته شد و هر دو فلز آلیاژی در دو سمت پیش‌رو و پس‌رو قرار گرفتند و نتایج استحکام نهایی و ریز سختی این نمونه‌ها مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گشت:
- با قرارگیری آلیاژ سخت تر در سمت پیش‌رو و آلیاژ نرم تر در سمت پس‌رو بیشترین میزان استحکام نهایی در کشش در بین نمونه‌ها حاصل شد. نمودار تنش کرنش در این حالت آزمایشگاهی دارای حالتی بینابین از دو آلیاژ پایه می‌باشد.
 - میزان نرمی و کرنش شکست نمونه‌ها در صورت قرارگیری فلز سخت تر در قسمت پیش‌رو به طور تقریبی با دو آلیاژ پایه برابر و در مقداری نسبتاً مشابه حاصل شد.

مراجع

- [1] R.S. Mishra, Z. Ma, "Friction stir welding and processing, Materials Science and Engineering", Materials Science and Engineering, Vol. 50, NO. 1-2, August 2005, pp. 1-78.
- [2] G. Buffa, L. Fratini, F. Micari, R. Shivpuri, "Material flow in FSW of T-joints: experimental and numerical analysis", International Journal of Material Forming, Vol, 1, NO. 1, April 2008, pp. 1283-1286.
- [3] M. Pourali, A. Abdollah-Zadeh, T. Saeid, and F. Kargar, "Influence of welding parameters on intermetallic compounds formation in dissimilar steel/aluminum friction stir welds", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 715, pp. 1-8, 2017.
- [4] D. Jayabalakrishnan and M. Balasubramanian, "Friction Stir Welding of Dissimilar Butt Joints with Novel Joint Geometry", Acta Physica Polonica, A., Vol. 133, No. 1, 2018.
- [5] M. Aliha, M. Shahheidari, M. Bisadi, M. Akbari, and S. Hossain, "Mechanical and metallurgical properties of dissimilar AA6061-T6 and AA7277-T6 joint made by FSW technique", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 86, No. 9-12, pp. 2551-2565, 2016.
- [6] M. Ahmed, S. Ataya, M. E.-S. Seleman, H. Ammar, and E. Ahmed, "Friction stir welding of similar and dissimilar AA7075 and AA5083", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 242, pp. 77-91, 2017.
- [7] K. N. Kumar and P. R. Raju, "Dissimilar materials of friction stir welding—Overview", International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)—Vol-44 February, 2017.
- [8] S. Jain, N. Sharma, and R. Gupta, "Dissimilar alloys (AA6082/AA5083) joining by FSW and parametric optimization using Taguchi, grey relational and weight method," Engineering Solid Mechanics, Vol. 6, No. 1, pp. 51-66, 2018.
- [9] B. Huang, Q. Qin, D. Zhang, Y. Wu, and X. Su, "Microstructure and Mechanical Properties of Dissimilar Joints of Al-Mg 2 Si and 5052 Aluminum Alloy by Friction Stir Welding", Journal of Materials Engineering and Performance, pp. 1-10, 2018.

- [10] N. Sathari, A. Razali, M. Ishak, and L. Shah, "Mechanical strength of dissimilar AA7075 and AA6061 aluminum alloys using friction stir welding", *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 11, p. 2713, 2015.
- [11] Y. Sun, N. Tsuji, and H. Fujii, "Microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welding between ultrafine grained 1050 and 6061-t6 aluminum alloys," *Metals*, Vol. 6, No. 10, p. 249, 2016.
- [۱۲] عباس هنربخش رئوف و احسان غریبشاهیان، "شبیه سازی المان محدود جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی و تاثیر پارامترهای موثر بر آن در آلیاژ ۶۰۶۱ آلومینیوم"، نشریه مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۱، شماره ۳۵، زمستان ۱۳۹۲، صفحه ۱-۹.
- [۱۳] رحمن سیفی، محسن موسوی ریگی و وحید آذر فر، " بررسی تجربی و عددی تأثیر شکل جوش در انتهای اتصال سپری بر تنش‌های پسماند"، نشریه مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۰، شماره ۲۹، تابستان ۱۳۹۱، صفحه ۸۱-۹۰.
- [۱۴] روح اله وحدتی و مهرداد عضو امینیان، " شبیه سازی جوش نقطه ای مقاومتی به روش MLPG جهت تعیین تنش های حرارتی- مکانیکی و تنش های پسماند"، نشریه مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۱، شماره ۳۴، پاییز ۱۳۹۲، صفحه ۶۳-۷۵.
- [15] A. Simar, T. Pardoën, B. De Meester, "Effect of rotational material flow on temperature distribution in friction stir welds", *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 12, No. 4, December 2007, pp. 324-333.
- [16] D. Devaiah, K. Kishore, and P. Laxminarayana, "Optimal FSW process parameters for dissimilar aluminium alloys (AA5083 and AA6061) Using Taguchi Technique," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 2, pp. 4607-4614, 2018.
- [17] Standard test methods for tension testing of metallic materials, ASTM. E8M;2009.
- [18] ASTM, (1996) E 92-82: Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, 1996 Annual Book of ASTM Standards, Sec. 03, 01, ASTM, Easton, MD.
- [19] H. Schmidt, J. Hattel, "Modelling heat flow around tool probe in friction stir welding", *Science and Technology of Welding and joining*, Vol. 10, No. 2, December 2013, pp. 176-186.
- [20] Z. Zhang, H. Liu, "Effect of pin shapes on material deformation and temperature field in friction stir welding", *Trans Chin Weld Inst*, Vol. 32, No. 3, August 2011, pp. 5-8.
- [21] S. Ji, X. Meng, Z. Liu, R. Huang, Z. Li, "Dissimilar friction stir welding of 6061 aluminum alloy and AZ31 magnesium alloy assisted with ultrasonic", *Materials Letters*, Vol. 201, No. 2, August 2017, pp. 173-176.
- [22] V. Fahimpour, S. Sadrnezhaad, F. Karimzadeh, "Microstructure and mechanical property change during FSW and GTAW of Al6061 alloy", *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 44, No. 5, May 2013, pp. 2187-2195.
- [23] J. Yang, D. Wang, B. Xiao, D. Ni, Z. Ma, "Effects of rotation rates on microstructure, mechanical properties, and fracture behavior of friction stir-welded (FSW) AZ31 magnesium alloy", *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 44, No. 1, January 2013, pp. 517-530.