

اتصال آلیاژ آلومینیوم (AMΓ6M) توسط دو فرآیند جوشکاری اصطکاکی - اغتشاشی و قوس الکتروود تنگستن با گاز خنثی و مقایسه خواص مکانیکی و ریزساختاری آنها

علی اصغر ترابی^۱، ته‌مینه احمدی*^۲، افشین شیرعلی^۳، محمدرضاخانزاده^۴، مجید تقیان دهقانی^۵

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد، واحد شهرضا، شهرضا، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
- ۲- استادیار، گروه مهندسی مواد، واحد شهرضا، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرضا، اصفهان، ایران
- ۳- کارشناس ارشد مهندسی مواد، بخش عملیات تکمیلی شرکت هواپیماسازی ایران، اصفهان، ایران
- ۴- استادیار، گروه مهندسی مواد، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مجلسی، اصفهان، ایران
- ۵- دکتری تخصصی مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

*مسئول مکاتبات: tahmadi56@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۲۱)

چکیده: هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان جایگزینی فرآیند جوشکاری قوس تنگستن گاز با فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی جهت اتصال آلیاژ آلومینیوم (AMΓ6M) می‌باشد. در این راستا پس از اعمال پارامترهای اولیه برای هر دو فرآیند جوشکاری ضمن دستیابی به پارامترهای بهینه، آزمون‌هایی مانند آزمون کشش، خمش، رادیوگرافی، سختی سنجی، بررسی ساختاری و بررسی میزان اعوجاج بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اندازه دانه بدست آمده برای فلز جوش اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن گاز به ترتیب ۶ و ۱۴ میکرون می‌باشد که در مقایسه با اندازه دانه در فلز پایه که برابر با ۳۰ میکرون است، ریز شده‌اند. استحکام کششی نهایی اتصال در جهت همراستای نورد و عمود بر خط جوش در مورد اتصالات جوش اصطکاکی اغتشاشی نسبت به اتصالات جوش قوس تنگستن گاز به مراتب بالاتر است، ۳۶۴ Mpa در مقابل ۲۷۸ Mpa می‌باشد. افت سختی در ناحیه فلز جوش تقریباً در هر دو فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن گاز در یک محدوده بوده است. میزان اعوجاج اندازه‌گیری شده در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی یک چهارم فرآیند جوشکاری قوس تنگستن گاز می‌باشد. نتیجه آزمایش خمش نمونه جوش اصطکاکی اغتشاشی از رویه مانند نتیجه آزمایش فلز پایه عاری از ترک می‌باشد. لذا به منظور افزایش خواص مکانیکی و متالورژیکی و همچنین کاهش اعوجاج اتصالات جوشی در سازه‌های آلومینیومی، فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی گزینه مناسبی جهت جایگزینی با فرآیند جوشکاری قوس تنگستن گاز تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی:

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، جوشکاری قوس تنگستن - گاز، آلیاژ آلومینیوم AMΓ6M.

۱- مقدمه

جوشکاری قوس تنگستن گاز استفاده می‌شود که این موضوع عیوب متالورژیکی متعددی مانند تشکیل لایه اکسیدی، ترک

در حال حاضر، در ساخت سازه‌های حساس مرتبط با صنایع هوافضا جهت اتصال ورق‌های آلیاژ AMΓ6M از فرآیند

تحقیقات زیادی بر روی تاثیر پارامترهای جوشکاری بر کیفیت ناحیه‌ی جوش پرداخته شده است. کیم و همکارانش [۹] به بررسی عیوب رایج جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی در آلیاژهای آلومینیوم پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که به کمک بازرسی چشمی، رادیوگرافی و مایع نافذ می‌توان بسیاری از عیوب تشکیل شده در این جوشکاری را تشخیص داد. عیوبی از جمله بیرون زدگی، کانال و عدم نفوذ که به میزان گرمای ورودی ارتباط دارند، به کمک آزمون‌های غیرمخرب ذکر شده، قابل شناسایی می‌باشند. بالاسوبرامانیا [۱۰] به بررسی رابطه بین خواص فلز پایه و پارامترهای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژهای آلومینیوم پرداخت. این محقق با مشاهده نتایج حاصل به این نتیجه رسید که جوش‌های سالم و بدون عیب بیشتر تابعی از سرعت چرخشی و پیشروی می‌باشند. سرعت پیشروی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی با استحکام تسلیم و سختی آلیاژهای آلومینیوم رابطه عکس و با چقرمگی رابطه مستقیم دارد. اریکسون و همکارش [۱۱] تاثیر سرعت جوشکاری بر خستگی جوش‌های اصطکاکی اغتشاشی را مورد بررسی قرار داده و این مساله با جوشکاری قوسی باحفاظت گازی و قوس تنگستن گاز مورد مقایسه قرار گرفت. در این تحقیق آلیاژهای T4-6080 و T6-6082 مورد استفاده قرار گرفت. در کلیه جوش‌ها سختی نسبت به فلز پایه کاهش یافته ولی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نسبت به جوشکاری قوسی باحفاظت گازی و قوس تنگستن گاز دارای سختی بالاتری بوده است. مایلز و همکارانش [۱۲] استحکام و شکل پذیری ورق‌های آلومینیوم جوشکاری شده توسط جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی را با فرآیند قوس تنگستن گاز مورد مطالعه قرار دادند. آلیاژ O-5182 در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی دارای سختی بالاتری نسبت به فلز پایه بوده که این به خاطر کاهش اندازه دانه و کار سخت باقیمانده می‌باشد، ولی در فرآیند قوس تنگستن گاز تغییری در پروفیل سختی رخ نداد. در O-5754 تفاوت بین پروفیل سختی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن گاز بسیار کمتر بود. در T4-6022 سختی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نسبت به قوس تنگستن

انجمادی یا گرم، حضور هیدروژن و اعوجاج بیش از حد سازه را سبب خواهد شد. بنابراین علاوه بر نیاز به ساخت قید و بندها، افزایش زمان ساخت و نیز انرژی مصرفی، افزایش هزینه‌های اقتصادی را در پی خواهد داشت [۱].

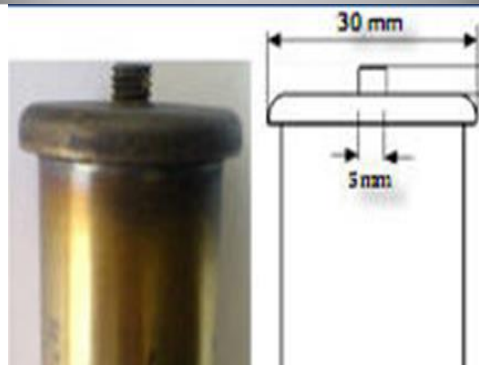
مشکلات مربوط به تولید جوش‌هایی با استحکام بالا و مقاوم به خستگی و شکست در آلیاژهای آلومینیوم که در صنایع هوافضا کاربرد دارند (از جمله آلیاژهای سری 2xxx و 7xxx) موجب شد تا روش‌های ذوبی برای اتصالات سازه‌های هوایی در این گونه آلیاژها مورد استفاده قرار نگیرد. این گونه آلیاژها به واسطه ریز ساختار ضعیف و تخلخل در ناحیه ذوب، عموماً به عنوان آلیاژهای جوش ناپذیر شناخته می‌شوند [۲].

مجموع این عوامل دست به دست هم داد تا در سال ۱۹۹۱ میلادی، در انستیتو جوشکاری TWI جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی توسط آقای نیکولاس اختراع گردد. برای اولین بار این روش برای آلیاژهای آلومینیوم ابداع گشت [۳-۶]. جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی یک فرآیند اتصال جامد می‌باشد که ترکیبی از کار مکانیکی و حرارتی بوده تا به واسطه عملیات ترمومکانیکال و تغییر شکل پلاستیکی که در حین جوشکاری رخ می‌دهد، اتصال حاصل، از خواص مکانیکی و متالورژیکی بالایی برخوردار باشد. این جوشکاری به ویژه برای آلیاژهای آلومینیوم در رنج وسیعی از ضخامت‌ها بسیار مناسب می‌باشد.

سیلان ماده در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی که عامل اتصال فلزات مورد نظر است، شدیداً تحت تاثیر هندسه ابزار و پارامترهای جوشکاری می‌باشد. جریان ماده در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی پیچیده بوده و این نکته مهم است که عوامل بسیاری می‌توانند بر جریان ماده در حین جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی تاثیرگذار باشند. این عوامل شامل هندسه ابزار (طراحی و ابعاد پین و شانه)، پارامترهای جوشکاری (چرخش ابزار و جهت آن که ساعتگرد یا پادساعتگرد است، سرعت پیشروی، عمق فرورفتگی، زاویه انحراف ابزار با قطعه کار)، ماده جوشکاری شده، دمای قطعه و غیره می‌باشد [۲، ۷-۸].

جوشکاری در محلول ۱۰۰ گرم بر لیتر هیدروکسید سدیم در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۰ تا ۵۰ ثانیه قرار داده شد و بعد از شستشو با آب، برای از بین بردن اکسیدهای موجود در سطح، در محلول اکسید زدایی با ترکیب اسید کرومیک ۵۰ گرم بر لیتر و اسید سولفوریک ۱۵٪ حجمی قرار گرفته، سپس با آب شستشو و خشک شدند.

در این تحقیق از یک ابزار غیر مصرفی از جنس فولاد گرم کار H13 که پس از انجام عملیات حرارتی دارای سختی 40HRC شد، استفاده گردید. عملیات پولیش کاری بر روی این ابزار به منظور جلوگیری از چسبیده شدن آلومینیوم در بین رزوه‌های پین انجام گرفت. ابزار دارای ۶ عدد رزوه ساعت گرد بود تا بتواند ماده تغییر شکل یافته را به جریان درآورد. در تصویر (۱) و جدول (۲) به ترتیب شکل و مشخصات ابزار مذکور آورده شده است. جهت انجام فرایند اتصال از دستگاه فرز مدل FNGJ 32-TST TOS CELAKOVICE ساخت کشور چک دارای سرعت چرخش ۲۰ تا ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و نیز حداقل و حداکثر سرعت پیشروی برابر با ۸ mm/min و ۴۰۰ mm/min استفاده گردید.



شکل (۱): شکل و ابعاد پین مورد استفاده در جوشکاری اصطکاکی-اغتشاشی

گاز دارای مقادیر بالاتری بوده، ولی در هر دو روش سختی نسبت به فلز پایه پایین تر می‌باشد.

به طور خلاصه به منظور حذف یا کاهش عیوب حین جوشکاری، تحقیق حاضر با موضوع "اتصال آلیاژ آلومینیوم AMG6M توسط دو فرایند جوشکاری اصطکاکی-اغتشاشی و قوس تنگستن گاز و مقایسه خواص مکانیکی و ریزساختاری آنها با کاربرد در صنایع هوایی" به منظور بررسی جایگزینی فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی با فرایند جوشکاری قوس تنگستن گاز تعریف و مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روش انجام تحقیق

۲-۱- مواد اولیه و فرایند جوشکاری

فلز پایه مورد استفاده در این تحقیق، ورق آلیاژ آلومینیوم AMG6M با ضخامت ۳ میلی‌متر می‌باشد. ترکیب شیمیایی این ورق با توجه به نتایج حاصل از کوانتومتری مطابق جدول (۱) است.

جدول (۱): ترکیب شیمیایی ورق آلومینیوم AMG6M

عناصر	درصد وزنی
Ti	۰/۰۱
Fe	۰/۱۷
Zn	۰/۰۷
Cr	۰/۰۹
Mg	۵/۵۷
Mn	۰/۶۶
Cu	۰/۰۴
Si	۰/۱۷
Al	باقیمانده

به منظور آماده‌سازی جهت جوش کاری، نمونه‌ها در ابعاد ۱۱۰×۵۰ میلی‌متر به طور عمود بر جهت نورد برش زده شد و سپس به شکل دوتایی هم سطح یکدیگر درون ثابت کننده‌ای که قابلیت نصب بر روی دستگاه فرز را داراست، قرار داده شدند. به منظور از بین بردن آلودگی‌های سطحی، قطعات قبل از

لازم به ذکر است که نوع گاز مصرفی در فرآیند قوس تنگستن، گاز آرگون با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹ بود.

جدول (۴) پارامترهای نهایی جوش قوس تنگستن - گاز

۱۳۰-۱۴۰	شدت جریان جوشکاری (Amp)
۱	فاصله بین دو قطعه (mm)
۵۰	دمای پیشگرم °C
مسی	نوع پشت بند
۵۰	نرخ تزریق سیم (cm/min)
۱۸-۲۰	سرعت حرکت تورچ (cm/min)
۲/۴	قطر سیم جوش (mm)
۲/۴	قطر الکتروود (mm)

۲-۲- آزمایش‌های بعد از جوشکاری

ابتدا تمامی نمونه‌ها مطابق استاندارد AWS D17-1 مورد بازرسی چشمی قرار گرفتند [۱۴].

آزمایش رادیوگرافی با استفاده از دستگاه مدل OIS 160 Kev بر روی نمونه‌های جوش اصطکاکی اغتشاشی و جوش قوس تنگستن گاز با پارامترهای مورد نظر انجام شد.

جهت بررسی ساختار ماکرو سطح مقطع جوش در نمونه‌ها، پس از پولیش با سمباده‌های ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۲۵۰۰ از محلول اچ پلوتون با ترکیب یک میلی لیتر آب مقطر، یک میلی لیتر اسید فلوریدریک، شش میلی لیتر اسید نیتریک و دوازده میلی لیتر اسید کلریدریک استفاده شد و نمونه‌ها به مدت ۳ تا ۵ دقیقه در محلول اچ قرار گرفتند. جهت بررسی ریزساختار نمونه‌ها سطح مقطع نمونه‌های جوش به صورت عمود بر جهت جوشکاری برش و سپس با پودر آلومینای ۰/۰۵ میکرونی محلول در آب پولیش شده و در نهایت با نمک بسیار نرم تا حد آینه‌ای شدن پولیش شدند و در ادامه از محلول اسید فسفریک ۱۰ درصد حجمی در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد و زمان ۵ دقیقه استفاده شد تا نتایج مطلوب حاصل گردید. تصاویر نمونه‌های آماده شده با میکروسکوپ نوری مدل

جدول (۲) مشخصات ابزار جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

جنس ابزار	فولاد H13
طول پین (mm)	۲۷۰
شکل هندسی پین	استوانه‌ای رزوه دار M5
قطر شانه (mm)	۲۹/۹۵
سختی (HRC)	۴۰

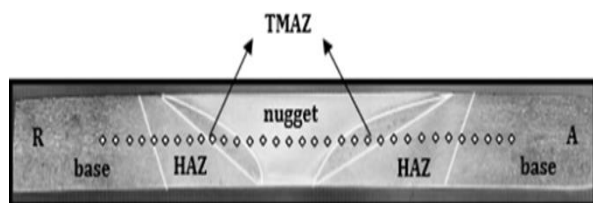
ابتدا جهت انجام جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی و براساس مطالعات مروری انجام شده، پارامترهای سرعت چرخش ابزار، سرعت پیشروی، زاویه انحراف پین نسبت به قطعه کار و نیروی اعمالی به پین تغییر داده شد و بقیه پارامترها مانند جنس پین، هندسه ابزار، عمق فروروندگی و دمای محیط، ثابت در نظر گرفته شد. در راستای دستیابی به جوش سالم، عملیات جوشکاری در طول درز محل اتصال قطعات آماده شده، با پارامترهای مختلف انجام گردید. برای تهیه نمونه جوشکاری قوس تنگستن گاز به روش دستی، پارامترهای مختلفی لحاظ گردید. از قیدوبند جهت تنظیم لبه‌های جوش، پشت بند مسی، سشوار صنعتی برای پیشگرم در تمام نمونه‌ها استفاده گردید. لازم به ذکر است به جهت بدست آوردن نتایج بهینه و کاهش حساسیت به ترک از فیلر ۵۳۵۶ با ترکیب نزدیک به فلز پایه استفاده گردید [۱۳]. در ادامه این تحقیق با بررسی ۲۴ ناحیه جوشکاری شده با فرایندهای اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن به دلیل نتایج مثبت آزمایش رادیوگرافی و انجام بازرسی‌های چشمی مورد نظر بر روی نمونه‌ها نهایتاً پارامترهای مطلوب انتخاب گردیدند. پارامترهای منتخب جوش اصطکاکی اغتشاشی در جدول (۳) و پارامترهای منتخب جوش قوس تنگستن گاز در جدول (۴) نمایش داده شده‌اند.

جدول (۳) پارامترهای نهایی جوش اصطکاکی-اغتشاشی

سرعت چرخش (rpm)	۸۰۰
سرعت پیشروی (mm/min)	۱۶
زاویه انحراف (درجه °)	۱
طول پین (mm)	۲/۷
جا به جایی در محور Z (mm)	۰/۴

یونیون با بزرگنمایی ۵۰ تا ۱۰۰۰ برابر و مجهز به دوربین ۱/۳ مگاپیکسل و نرم افزار آنالیز تصویری، مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین از تصاویر میکروسکوپی حاصل و از مناطق مختلف جوش، براساس استاندارد ASTM E112-28 و روش هین عدد اندازه‌ی دانه‌ها محاسبه شد [۱۵].

نمونه‌های آزمایش کشش مطابق با استانداردهای DIN 50120 [۱۶] (برای نمونه‌های جوشکاری قوس تنگستن گاز و جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی) با دستگاه وایرکات AGE ساخت کشور انگلستان تهیه و آزمون کشش عمودی با دستگاه سنتام ۱۵ تن مدل STM-250 ساخت ایران (سرعت جابجایی فک بالا، ۲ میلی متر بر دقیقه) انجام پذیرفت. نمونه‌های کشش به بصورت شیاردار و بدون شیار، عمود بر مسیر جوشکاری و هم راستا با مسیر نوردها تهیه شدند (شکل (۲)).



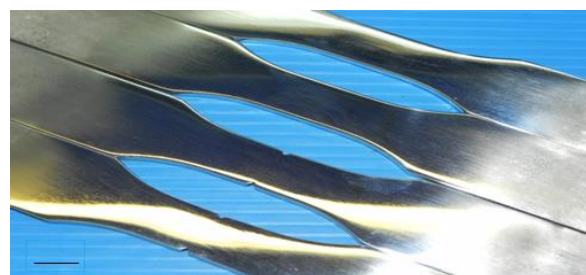
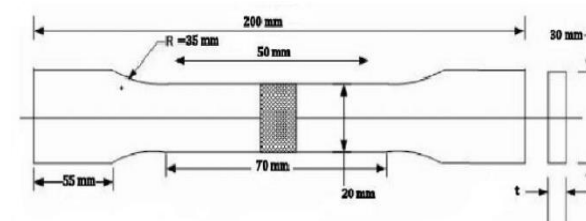
شکل (۳): نواحی مختلف جوش اصطکاکی اغتشاشی و مواضع سنجش سختی

جهت انجام آزمون اندازه‌گیری اعوجاج از دستگاه اندازه برداری سه بعدی دلمک مدل تالبوت ساخت کشور انگلستان استفاده شد. در این اندازه برداری که با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر انجام شد. اختلاف ارتفاع نقاط مختلف نمونه مستطیل شکل ۱۸×۶ سانتیمتری نسبت به صفحه مجازی عبور داده شده از وسط خط جوش اندازه‌گیری شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بازرسی چشمی و رادیوگرافی

در شکل (۴- الف) که از نمونه جوش اصطکاکی اغتشاشی سالم تهیه شده علاوه بر اینکه عیوبی مانند کانال، بیرون زدگی یا عدم نفوذ دیده نمی‌شود، به عبارت دیگر سلامت جوش تایید می‌شود، می‌توان در سمت پیشرو و مرز، منطقه ترمومکانیکال و دکمه جوش



شکل (۲): ابعاد و نمونه‌های تهیه شده جهت آزمون کشش، مطابق استاندارد DIN 15120

برای انجام آزمایش خمش مطابق با استاندارد DIN50121 [۱۶] نمونه‌هایی با عرض ۲۰ mm به شکل مستطیل با دستگاه وایرکات تهیه و آزمون خمش با ماشین سنتام ۱۵ تن مدل STM-150 ساخت ایران (با سرعت ثابت ۱۰ میلی متر بر دقیقه، سرعت فروروی پانچ در نمونه) انجام شد. آزمایش خمش در دو حالت خمش رویه و خمش ریشه برای نمونه‌ها انجام گردید.

امتزاج مواد به دلیل نیروی فورج ناکافی است، دیده نمی‌شود. همچنین عیب بیرون زدگی که به دلیل عدم تناسب سه فاکتور سرعت پیشروی، سرعت چرخش و نیروی فورج وجود ندارد. سه فاکتور سرعت چرخش، سرعت پیشروی و نیروی فورج سه عامل مهم تاثیر گذار بر کیفیت منطقه جوش است. کاهش سرعت پیشروی، افزایش سرعت چرخش و افزایش نیروی فورج موجب افزایش شعاع منطقه دکه جوش می‌شود [۱۷-۱۹].



شکل (۵): نمونه جوش سالم در نواحی مختلف حاصل جوش اصطکاکی اغتشاشی تولید شده با پارامترهای بهینه

شکل (۶) نتیجه‌ی رادیوگرافی نمونه‌ی سالم جوش قوس تنگستن گاز نشان داده شده است. عدم وجود اعوجاج و حفره‌های گازی که اثر مستقیم بر استحکام و انعطاف پذیری دارد به خوبی از این شکل قابل استنباط است.

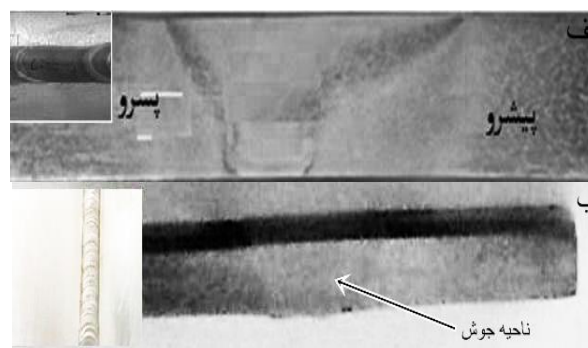


شکل (۶) نمونه جوش سالم تیگ تولید شده با پارامترهای بهینه

۲-۳- بررسی‌های ساختاری

در شکل (۷) ریزساختار حاصل از جوش اصطکاکی اغتشاشی (با پارامتر بهینه) نمایش داده شده است. در این شکل چهار ناحیه‌ی دکه جوش، منطقه ترمومکانیکی، منطقه‌ی متأثر از حرارت و فلز

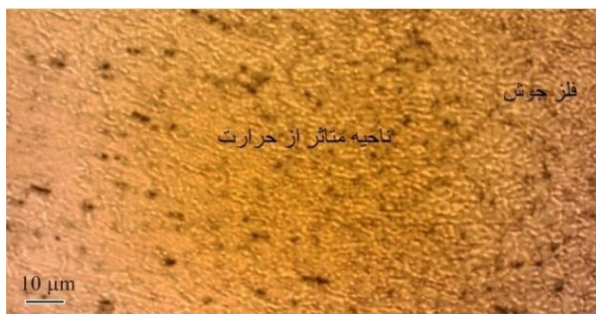
را تشخیص داد، در حالی که در سمت پسر و این مرز بصورت نفوذی و پیچیده است. این مسئله به علت نحوه‌ی سیلان ماده در دو طرف دکه جوش می‌باشد، چون پین در ابتدا مواد اغتشاش یافته را از سمت پیشرو کننده و به سمت پسر و اکستروود می‌کند. در ضمن، عرض ناحیه اغتشاش یافته در سطح جوش که محل تماس شانه با سطح قطعه کار است در مقایسه با ریشه که انتهای پین در آنجا قرار دارد، بیشتر می‌باشد. نمای ماکروسکوپی نمونه‌ی جوشکاری به روش استفاده از قوس تنگستن - گاز در شکل (۴-ب) آورده شده است. همان طوری که از این شکل قابل مشاهده است، عیوبی چون نفوذ ناقص، یکسان نبودن زنجیره و اعوجاج به دلیل کم یا زیاد شدن گرما که تابع شدت جریان جوشکاری است، دیده نمی‌شود. لازم به ذکر است پارامترهای انتخابی حاکم بر جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن گاز نتیجه‌ی انتخاب به ترتیب ۱۰ و ۴ حالت مختلف است.



شکل (۴): تصاویر ماکروسکوپی از مقاطع جوش: (الف): مقطع جوش اصطکاکی اغتشاشی سرعت چرخش ۸۰۰ rpm، سرعت پیشروی ۱۶ mm/min، زاویه انحراف ۱°، (ب): مقطع جوش قوس تنگستن گاز با جریان جوشکاری ۱۴۰-۱۳۰ آمپر

نمونه‌های آماده شده جوش اصطکاکی اغتشاشی و تیگ تحت آزمایش رادیوگرافی قرار گرفته و نمونه‌های معیوب از غیر معیوب مشخص شدند. در شکل (۵) نمونه آزمایش رادیوگرافی جوش اصطکاکی اغتشاشی بدون عیب به نمایش درآمده است که ناشی از استفاده از پارامترهای سرعت چرخش ۸۰۰ rpm، سرعت پیشروی ۱۶ mm/min، زاویه انحراف ۱° می‌باشد. همان طوری که از این شکل قابل استنباط است، عیب کانال که در نتیجه‌ی عدم

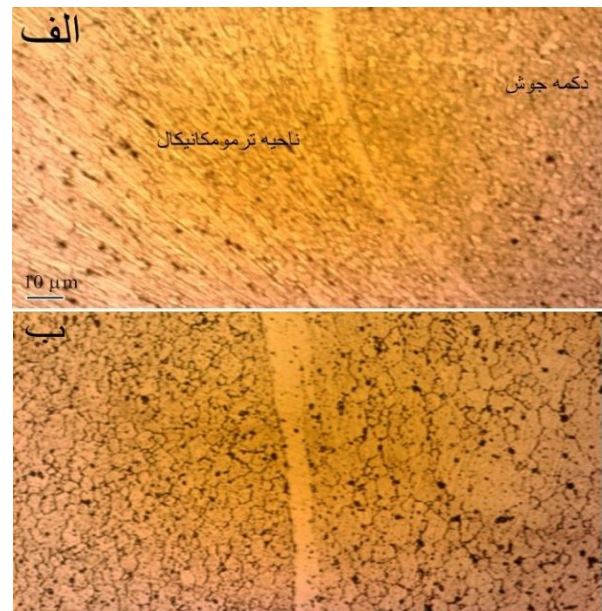
تغییری در اندازه دانه‌ها در مقایسه با فلز پایه بوجود نمی‌آید اما سیکل حرارتی که روی آن اعمال می‌شود می‌تواند تا حدودی باعث انحلال رسوبات شود [۲۱]. در شکل (۷) مرز بین نواحی به وضوح مشخص می‌باشد. در شکل (۸) ریزساختار جوش قوس تنگستن گاز به صورت دو ناحیه مرکزی فلز جوش (که دانه‌ها به شکل هم محور و ریز بوده) و ناحیه متأثر از حرارت (که دانه‌ها در راستای انتقال حرارت رشد کرده‌اند)، نمایش داده شده است.



شکل (۸): ریز ساختار جوش قوس تنگستن گاز

در جدول (۵) اندازه دانه فلز پایه، جوش اصطکاکی اغتشاشی و جوش قوس تنگستن گاز که از عکس‌های ریز ساختار آنها توسط نرم افزار تحلیل گر تصویر بدست آمده بر اساس استاندارد ASTM E112-28 آورده شده است [۱۵]. با مقایسه اندازه دانه‌های مشخص شده در جدول (۵)، کاهش اندازه به ترتیب از ۳۰ در فلز پایه به ۱۴ در فلز جوش قوس تنگستن گاز و در نهایت به ۶ میکرومتر در فلز جوش اصطکاکی اغتشاشی دیده می‌شود. کاهش اندازه دانه در جوش قوس تنگستن می‌تواند ناشی از ساختار ریختگی باشد [۲۲]. کاهش اندازه دانه در جوش اصطکاکی اغتشاشی نیز منتج از عملیات ترمومکانیکال بوده که ساختار ریزدانه و هم محور را در پی داشته است. ساختار جوش‌های اصطکاکی اغتشاشی دارای دانه‌های هم محور و ریز می‌باشند اما در مقابل در فرآیند جوشکاری قوس تنگستن ساختار ریختگی با دانه‌های نسبتاً کشیده دیده می‌شود.

پایه دیده می‌شود. در قسمت فلز پایه کشیدگی دانه‌ها در راستای نورد قابل تشخیص است، آلیاژ (AMΓ6M) از سری آلیاژهای کار شده می‌باشد. در این آلیاژ با توجه به درصد عنصر منیزیم، رسوبات اصلی که بصورت ذرات ریز در زمینه پراکنده می‌باشند، در اصل همان رسوبات فاز β (ذرات سیاه رنگ پراکنده با ترکیب شیمیایی Al_3Mg_2) در زمینه می‌باشند [۲۰].



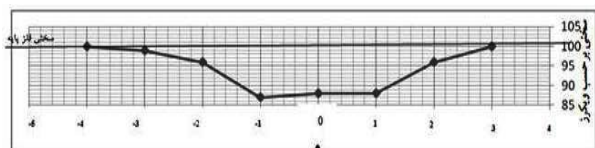
شکل (۷): (الف و ب): نواحی مختلف جوش اصطکاکی اغتشاشی

منطقه ترمومکانیکی بین دکمه جوش و فلز پایه می‌باشد. این ناحیه در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی دما و تغییر شکل را باهم تجربه می‌کند. در ناحیه ترمومکانیکی تغییر شکل صورت می‌گیرد اما به دلیل اینکه کرنش‌ها کافی نیستند، تبلور مجدد رخ نمی‌دهد و شکل دانه‌ها بصورت کشیده باقی می‌ماند [۲۱]. بسته به اینکه این منطقه چه سیکل حرارتی را تجربه کند رسوبات به میزان مشخصی انحلال می‌یابند. در رابطه با ناحیه متأثر از حرارت نیز باید گفت که این منطقه تنها سیکل حرارتی را تجربه کرده و برای آلیاژهای آلومینیوم به این ناحیه که دمای آن بالای ۲۵۰ درجه سانتیگراد باشد، اطلاق می‌گردد. ریزساختار منطقه متأثر از حرارت شبیه فلز پایه می‌باشد ولی دمای بالای ۲۵۰ درجه سانتیگراد روی رسوبات تاثیر می‌گذارد. مطالعات نشان می‌دهد که اگر چه در این منطقه

نوعی کار سختی در این آلیاژها اعمال می‌کند. از سوی دیگر رابطه سختی و اندازه دانه هم از رابطه (۱) پیروی می‌نماید [۲۳].

$$HV = H_0 + KH d^{-1/2} \quad (1)$$

به طوری که H_0 و KH ثابت‌های مناسب مرتبط با اندازه‌های سختی می‌باشند. سختی در ناحیه دکمه جوش اصطکاکی اغتشاشی تقریباً با $d^{-1/2}$ متناسب بوده و با کاهش اندازه دانه مقدار آن افزایش می‌یابد. از طرفی در ناحیه ذوب شده در جوش قوس تنگستن گاز که اندازه دانه افزایش می‌یابد، سختی با کاهش همراه می‌گردد. در شکل (۹) تغییرات محسوسی در پروفیل سختی مقطع عرضی اندازه گیری شده از فلز پایه به سمت ناحیه پیشرو و پسرو مشاهده نگردید که با نتایج تحقیقات مراجع [۲، ۲۴] مطابقت دارد. همچنین در شکل (۱۰) کاهش سختی در ناحیه ذوب شده جوش قوس تنگستن گاز دیده می‌شود که به علت افزایش اندازه دانه و تغییر ساختار کار شده فلز پایه به ساختار ریختگی در فلز جوش می‌باشد.



شکل (۱۰): نمودار سختی جوش قوس تنگستن گاز

۳-۴- آزمایش کشش

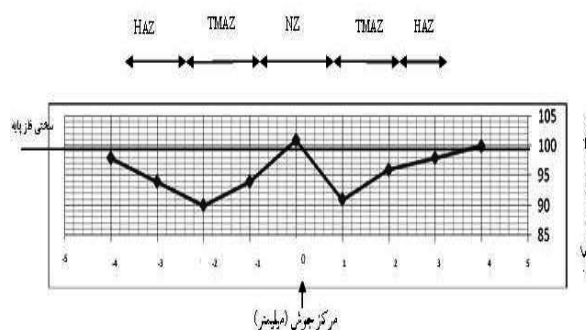
نتایج حاصل از آزمایش کشش نمونه‌های بدون شیار و شیاردار فلز پایه، اتصالات جوش اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن گاز در جهات عرضی (عمود بر جهت نورد) و طولی (موازی جهت نورد) در جدول (۶) ارائه شده‌اند. افزایش بازده اتصال در جهات عرضی و طولی اتصالات جوش اصطکاکی اغتشاشی نسبت به اتصالات جوش قوس تنگستن گاز به ترتیب به میزان ۱۱٪ و ۳۲٪

جدول (۵) اندازه دانه در نمونه‌های فلز پایه، جوش اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن گاز

نمونه	فلز پایه	فلز جوش اصطکاکی اغتشاشی	فلز جوش تیگ
اندازه دانه (میکرومتر)	۳۰	۶	۱۴

۳-۳- آزمایش سختی سنجی

در شکل (۹) نمودار سختی نمونه جوش اصطکاکی اغتشاشی به همراه نواحی مختلف جوش و در شکل (۱۰) نمودار سختی نمونه جوش قوس تنگستن گاز به همراه نواحی مختلف نمایش داده شده است. با توجه به اینکه آلیاژ آلومینیوم مورد استفاده AMF6M جزء گروه آلیاژهای عملیات حرارتی ناپذیر بوده و از طریق کار مکانیکی یا کار سختی استحکام می‌یابد، مطابق با نتایج حاصله در تحقیق مایلز و همکارانش [۱۲] بر روی آلیاژ آلومینیوم 5182-O دیده می‌شود که سختی در ناحیه دکمه جوش اصطکاکی اغتشاشی کمی از سختی فلز پایه هم بیشتر شده است که به دلیل همان پدیده کار سختی است.



شکل (۹): نمودار سختی جوش اصطکاکی اغتشاشی

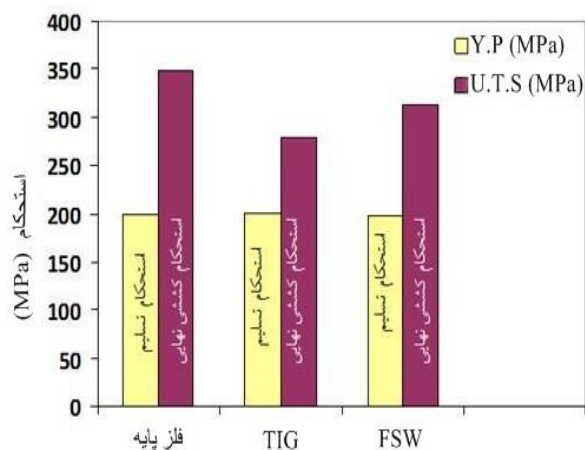
در مورد گروه آلیاژهای آلومینیوم عملیات حرارتی ناپذیر که استحکام بخشی آنها به صورت مکانیکی صورت می‌گیرد، تحت فرایند جوش اصطکاکی اغتشاشی نه تنها سختی آنها کاهش نمی‌یابد بلکه امکان افزایش سختی نیز وجود دارد چون این فرایند

است. نسبت حساسیت به شیار اتصالات اصطکاکی اغتشاشی در مقایسه با اتصالات جوش قوس تنگستن گاز به میزان ۲۶٪ بالاتر است. نتایج درصد ازدیاد طول نسبی اتصالات این دو فرایند جوشکاری نیز رفتار مشابه را نشان می‌دهد.

بالاتر هستند، می‌تواند به واسطه ایجاد دانه‌های ریز هم محور در اتصالات جوش اصطکاکی اغتشاشی باشد. همچنین مقدار بیش از یک نسبت حساسیت به شیار (N.S.R) فلز پایه، اتصالات جوش اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن گاز، حاکی از رفتار نرم آنها

جدول (۶) نتایج آزمایش کشش

ردیف	شرایط نمونه	استحکام کششی U.T.S (MPa)	استحکام تسلیم Y.P (MPa)	درصد تغییر طول نسبی %	محل شکست نمونه	بازده اتصال نمونه σ_{UTS} فلز پایه σ_{UTS}	نسبت حساسیت به فاق N.S.R $\frac{\sigma_{UTS} \text{ شیاردار}}{\sigma_{UTS} \text{ بدون شیار}}$
۱	فلز پایه، جهت عرضی (عمود بر جهت نورد) بدون شیار	۳۴۹	۱۹۹	۱۳/۳۵	از وسط	-	-
۲	فلز پایه، جهت طولی (موازی جهت نورد) بدون شیار	۳۵۸	۲۰۷	۱۵/۴۰	از وسط	-	-
۳	فلز پایه، جهت عرضی (عمود بر جهت نورد) شیاردار	۲۷۹	۲۲۰	-	از وسط	-	۱/۴
۴	جوش اصطکاکی اغتشاشی جهت عرضی (عمود بر جهت نورد)، بدون شیار	۳۱۳	۱۹۷/۸	۱۱/۴	از وسط	۰/۸۹	-
۵	جوش اصطکاکی اغتشاشی جهت طولی (موازی جهت نورد)، بدون شیار	۳۶۴	۲۲۰/۸	۱۹/۹	از وسط	۱/۰۱۶	-
۶	جوش اصطکاکی اغتشاشی جهت عرضی (عمود بر جهت نورد)، شیاردار	۳۰۸	۲۰۹/۵	۸/۵	از شیار	-	۱/۵۵
۷	جوش تیگ، جهت عرضی (عمود بر جهت نورد) بدون شیار	۲۸۰	۲۰۱	۸/۹	از محل جوش	۰/۸	-
۸	جوش تیگ، جهت طولی (موازی جهت نورد) بدون شیار	۲۷۸/۱	۱۲۳/۲	۱۵/۷	از وسط	۰/۷۷	-
۹	جوش تیگ، جهت عرضی (عمود بر جهت نورد) با شیار	۲۴۵/۵	۲۱۶/۷	۵/۵	از شیار	-	۱/۲۳



شکل (۱۱): نتایج بدست آمده در آزمون کشش از نمونه‌های عرضی بدون شیار آلیاژ AM60M

۵-۳- آزمایش خمش

در جدول (۷) نتایج حاصل از آزمایش خمش نشان داده شده است. دیده می‌شود که بجز نمونه فلز پایه که از رو و نمونه‌های جوش اصطکاکی اغتشاشی که از سمت سطح تحت اعمال نیرو واقع شده‌اند، سایر نمونه‌ها دارای ترک می‌باشند. از آنجایی که آزمون خمش اساساً برای سنجش میزان چقرمگی و انعطاف پذیری مقطع مورد نظر (از طریق زاویه خمش و عدم ایجاد ترک در طول انجام آزمون) بکاربرده می‌شود [۲۷]، لذا می‌توان نتیجه گرفت که علی‌رغم استحکام بالای جوش در فرآیند اصطکاکی اغتشاشی، این روش جوشکاری بدلیل ایجاد تغییر در میزان توزیع رسوبات در منطقه جوش، سبب افت قابل توجه چقرمگی در این آلیاژ می‌گردد.

مطابق جدول (۷) مقادیر نیرو-جابجایی برای نمونه‌های خم شده در سطح جوش، بالاتر از مقادیر مشابه در سمت ریشه جوش می‌باشند. علت این امر را می‌توان به ریز ساختار سالم‌تر جوش در سطح نسبت به ریشه (ریشه جوش محلی است که احتمال وجود عدم نفوذ کامل در آن وجود دارد چراکه در این ناحیه ابزار بطور کامل با ورق تماس ندارد، درحالی‌که در سطح جوش، شانه ابزار عمل اختلاط مواد را بطور کامل در دو ورق انجام می‌دهد) و نیز تحت تاثیر قرار گرفتن حجم بالاتری از ماده مستحکم در این ناحیه نسبت به ریشه جوش، نسبت داد. N.S.R. تایید کننده

نتایج N.S.R. محاسبه شده از آزمایش‌های کشش نمونه‌های شیاردار و بدون شیار اتصالات جوش اصطکاکی اغتشاشی و جوش قوس تنگستن گاز، تاییدی بر درصد ازدیاد طول نمونه‌ها است. به عبارتی بطور متوسط درصد ازدیاد طول نمونه‌های جوش اصطکاکی اغتشاشی از قوس تنگستن گاز بیشتر است. در اتصالات جوش اصطکاکی اغتشاشی افزایش استحکام نمونه‌های شیاردار، به واسطه حضور دانه‌های هم محور در منطقه اغتشاش می‌باشد. کاهش استحکام کششی فرآیند جوش قوس تنگستن گاز به فرآیند جوش اصطکاکی اغتشاشی می‌تواند به واسطه ساختار ریختگی منطقه جوش باشد که عمود بر محور کشش است. حضور شیار علاوه بر ایجاد تنش در نوک آن، موجب عکس العمل رفتار ماده از جنبه‌های صفحه‌تنشی- کرنشی و یا سه بعدی می‌گردد [۲۵].

فلز پایه و اتصالات جوش اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن گاز دارای نسبت حساسیت به شیار، بیشتر از یک می‌باشند که این موضوع می‌تواند به واسطه استحکام‌دهی شیار باشد. از سوی دیگر هرگونه استحکام‌دهی توسط شیار می‌تواند ناشی از رفتار سه بعدی ماده در جلوی فاق باشد که به انعطاف‌پذیری و چقرمگی مناسب مواد منتج می‌گردد [۲۵-۲۶]. در فرآیند جوش قوس تنگستن گاز در نزدیکی خط ذوب و در حین انجماد فلز جوش، دانه‌ها به رشد در جهت عمود بر مرز حوضچه جوش تمایل دارند. علت این امر، وجود بیشترین گرادیان دمایی در این جهت و در نتیجه بیشترین میزان خروج حرارت در این جهت می‌باشد [۲۲]. در فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به واسطه درهم آمیختگی مواد و اعمال فرآیند ترمومکانیکال شدید، دانه‌ها و رسوبات خرد شده و در ناحیه اتصال، دانه‌های ریز هم محور شکل می‌گیرد. حضور دانه‌های هم محور موجب افزایش انعطاف-پذیری، چقرمگی، استحکام و بازدهی اتصال جوش اصطکاکی اغتشاشی نسبت به جوش قوس تنگستن گاز شده است. در شکل (۱۱) مقایسه‌ای میان نتایج حاصل از استحکام کششی نهایی و استحکام تسلیم فرایندهای جوش اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن گاز، با فلز پایه نمایش داده شده است.

رفتار نرم ماده از دیدگاه ماکرو است و ریز دانه شدن تایید کننده رفتار نرم از دیدگاه میکرو است و این موارد نشان دهنده انتخاب صحیح پارامترها است.

جدول (۷) نتایج آزمایش خمش.

نمونه	وضعیت اعمال نیرو بر نمونه (مگاپاسکال)	زاویه α (درجه)	بیشترین نیرو مصرفی (نیوتن)	جابجایی بیشترین مصرفی (میلیمتر)	در جابجایی بیشترین مصرفی (نیوتن)	نیروی شکست (نیوتن)	جابجایی در نیروی شکست (میلیمتر)	تصویر نمونه خم شده
تیگ	خمش رویه	۱۱۰	۴۴۵	۲۳/۶	۲۸۹	۴۹/۴۸		
تیگ	خمش ریشه	۱۰۱	۴۳۶	۲۲/۵	۲۸۰	۴۹/۴۸		
اصطکاکی اغتشاشی	خمش رویه	۱۰۷	۱۹۸	۲۱/۵۱	۱۰۸	۴۹/۴۸		
اصطکاکی اغتشاشی	خمش ریشه	۸۰	۱۹۳	۱۶/۷	۱۰۵	۳۰/۴		
فلز پایه	-	۹۹	۵۷۷	۲۲/۰۷	۳۶۷	۴۹/۴۸		

۳-۶- اندازه گیری اعوجاج

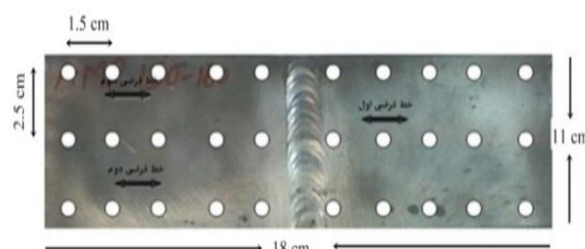
جوش اصطکاکی اغتشاشی کمتر از اعوجاج مربوط به نمونه جوش قوس تنگستن گاز است. لازم به ذکر است در مقایسه پارامترهای بهینه نیز باز هم دیده می شود که اعوجاج نمونه جوش اصطکاکی اغتشاشی بسیار پایین تر است و یکی از مهمترین علت های آن عدم ورود به محدوده ذوب فلز در جوش اصطکاکی اغتشاشی است.

در این آزمایش برای اندازه گیری اعوجاج عرضی نمونه ها از سه خط فرضی استفاده گردید. بر روی هر خط فرضی، داده میانگین ۱۰ اندازه خوانده شد و به عنوان شاخص تعیین گردید. یک خط فرضی در ناحیه وسط و عمود بر خط جوش و دو خط دیگر در سمت بالا و سمت پایین خط وسط در نظر گرفته شدند. در شکل (۱۲) خطوط فرضی روی نمونه مشخص شده اند. نتایج حاصل از اندازه گیری برای دو نمونه جوش تیگ و جوش اصطکاکی اغتشاشی با پارامتر بهینه در شکل (۱۳- الف و ب) به نمایش درآمده اند. در این شکل دیده می شود که اعوجاج مربوط به نمونه

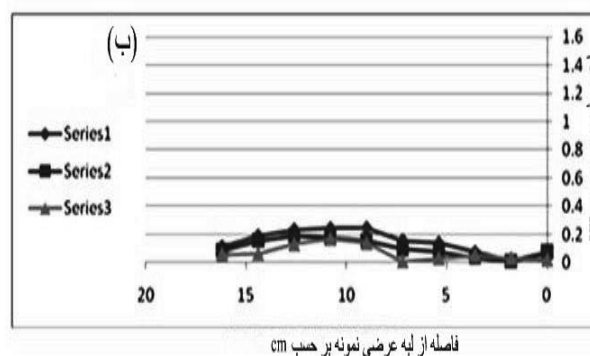
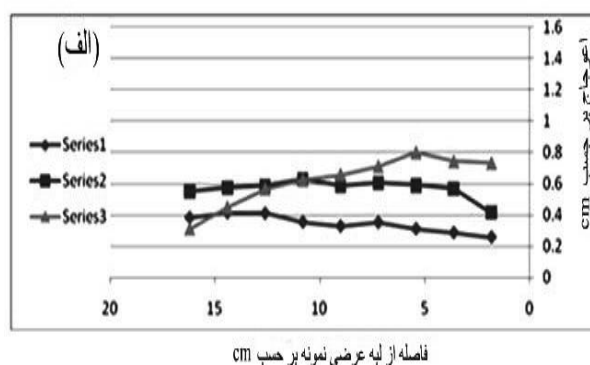
- فلز جوش اصطکاکی اغتشاشی استحکام کششی و تسلیمی در حد فلز پایه دارد.
- نتایج درصد ازدیاد طول نسبی اتصالات این دو فرایند جوشکاری نیز رفتار مشابه را نشان می‌دهد.
- نتیجه آزمایش خمش نمونه جوش اصطکاکی اغتشاشی از رویه مانند نتیجه آزمایش فلز پایه عاری از ترک می‌باشد.
- بازدهی اتصال در جهات عمود بر نورد و همراستی نورد اتصالات جوش اصطکاکی اغتشاشی نسبت به اتصالات جوش تیگ به ترتیب به میزان ۱۱٪ و ۳۲٪ بالاتر هستند.
- نسبت حساسیت به شیار اتصالات جوش اصطکاکی اغتشاشی در مقایسه با اتصالات جوش تیگ به میزان ۲۶٪ بالاتر است.
- اعوجاج فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی حدود یک چهارم فرایند جوشکاری تیگ است.

۵- مراجع

- [1] G. Mathers, "The welding of aluminum and its alloys", First Edition, Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC, England, 2002.
- [2] R. S. Mishra & Z. Y. Ma, "Friction stir welding and processing", Materials Science and Engineering, Vol. 50, 2005.
- [3] M. W. Mahoney, C. G. Rhodes, J. G. Flntoff, R. A. Spurling & Bingel, "Properties of friction-stir-welded 7075 T651 aluminum", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 29, 1997.
- [4] W. J. Arbogast & P. J. Hartley, "Friction stir weld technology development lockheed martin space system—an overview", Proceeding of the 5th International Conference on Trends in Welding Research, Pine Mountain, GA, 2002.
- [5] W. M. Thomas & R. E. Dolby, "Friction stir welding development", Proceedings of the 6th International Conference on Trends in Welding Research, Pine Mountain, GA, 2002.
- [6] W. M. Thomas et al, "Friction based welding technology for aluminum", Proceeding of the 8th International conference of Aluminum Alloys, Cambridge, UK, 2002.



شکل (۱۲) الگوی نقاط فرضی روی برای اندازه گیری اعوجاج



شکل (۱۳): (الف): نمودار اعوجاج نمونه جوش قوس تنگستن گاز و (ب): نمونه جوشکاری شده اصطکاکی اغتشاشی

۴- نتیجه گیری

- نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان به طور خلاصه به صورت زیر برشمرد:
- اندازه دانه بدست آمده برای فلز جوش اصطکاکی اغتشاشی و قوس تنگستن گاز به ترتیب ۶ و ۱۴ میکرون است که در مقایسه با اندازه دانه در فلز پایه دانه‌ها ریز شده‌اند.
- افت سختی در ناحیه فلز جوش تقریباً در هر دو فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی و تیگ در یک محدوده می‌باشد.

- welded 5456 aluminum alloy sheets”, *Materials & Design* Vol. 58, 2014.
- [18] H. Shirazi, S. Kheirandish & M. A. Safarkhanian, “Effect of process parameters on the macrostructure and defect formation in friction stir lap welding of AA5456 aluminum alloy”, *Science Article*, 2015.
- [19] S. Gholami Shiri & M. Mohammadi, “The optimum combination of tool rotation rate and traveling speed for obtaining the preferable corrosion behavior and mechanical properties of Friction Stir Welded in AA5052”, *Materialia and Design*, Vol. 50, 2013.
- [20] L. Charit & R. S. Mishra, “Evaluation of microstructure and superplasticity in friction stir processed 5083 Al alloy”, *Journal of Materials Research*, Vol. 19, 2004.
- [۲۱] ح. مهر علی، ک. ملک زاده و م. باباخان زاده، “طراحی و شبیه‌سازی و بهینه‌سازی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی”، چاپ اول، نشر اخوان، ۱۳۹۰.
- [۲۲] م. شمعیان و ع. اشرفی، سیندوکو، متالورژی جوشکاری، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحه ۷۴، تابستان ۱۳۸۵.
- [23] C. Fuller, M. Mahoney & W. Bingel, “Friction stir processing of aluminum fusion welds”, Thesis on master of Science, Wichita State University, USA, 2004.
- [24] E. Taban & E. Kaluc, “Comparison between microstructure characteristics and joint performance of 5086-H32 aluminium alloy welded by MIG, TIG and friction stir welding processes”, *Kovove Mater*, Vol. 4, 2007.
- [25] T. L. Anderson, “Fracture mechanics fundamentals and applications”, Third Edition, 2009.
- [26] G. E. Dieter, “Mechanical metallurgy”, Second Edition, 1976.
- [27] Scialpi, “Influence of shoulder geometry on microstructure and mechanical properties of friction stir welded 6082 AA”, *Materials and Design*, Vol. 28, 2007.
- [۷] ف. غروی، “اثر زاویه سطح شانه ابزار روی خواص اتصال در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲”، فرایندهای نوین در مهندسی مواد، سال یازدهم، شماره ۳، صفحات ۷۱-۶۱، پاییز ۱۳۹۶.
- [۸] ف. غروی، ا. ابراهیم زاده و ع. سهیلی، “ارزیابی ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال لبه روپهم جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ در سرعت‌های پیشروی متفاوت”، فرایندهای نوین در مهندسی مواد، سال دهم، شماره ۲، صفحات ۱۲۹-۱۱۵، تابستان ۱۳۹۵.
- [9] Y. G. Kim, H. Fuji, T. Tsumura, T. Komazaki & K. Nakata, “Three defect types in friction stir welding of aluminum die casting alloy”, *Material Science and Engineering*, Vol. 415A, 2006.
- [10] V. Balasubramanian, “Relationship between base metal properties and friction stir welding process parameters”, *Materials Science and Engineering*, Vol. 480A, 2003.
- [11] M. Ericsson & R. Sandstrom, “Influence of welding speed on the fatigue of friction stir welds and comparison with MIG and TIG”, *International Journal of Fatigue*, Vol. 25, 2003.
- [12] M. P. Miles, B. J. Decker & T. W. Nelson, “Formability and strength of friction stir-welded aluminum sheets”, *Metallurgical and Materials Transaction*, Vol. 35A, 2004.
- [۱۳] ا. ح. کویکی، “تکنولوژی جوشکاری”، چاپ اول، انتشارات جامعه ریخته‌گران، اسفند ۱۳۷۴.
- [14] Specification for fusion welding for aerospace applications, AWS D17.1, An American National Standard, 2010.
- [15] ASTM Standard E112-28, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, ASTM International, USA, 2001.
- [16] DIN Handbook, welding 1, Standards Dealing with Filler Metals, Manufacture, Quality and Testing, 1986.
- [17] E. Salari, M. Jahazi & A. Khodabandeh, “Influence of tool geometry and rotational speed on mechanical properties and defect formation in friction stir lap

Aluminum alloy (AMΓ6M) joining by two processes of friction-stir and non-consumable Tungsten electrode welding and comparison of their mechanical and microstructure properties

Aliasghar Torabi¹, Tahmineh Ahmadi^{*2}, Afshin Shirali³, Mohammadreza Khanzadeh Ghareshirin⁴, Majid Taghian Dehaghani⁵

1- MSc, Department of Materials, Shahreza branch, Islaic Azad University, Shahreza, Isfahan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Materials, Shahreza branch, Islaic Azad University, Shahreza, Isfahan, Iran

3- MSc, Materials Engineering, Aircraft Making Industry, Iran

4- Assistant Professor, Department of Materials, Majlesi branch, Islaic Azad University, Majlesi, Isfahan, Iran.

5- PhD, Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*Corresponding Author: tahmadi56@yahoo.com

Abstract

The purpose of this research is to investigate the possibility of replacement of arc welding under shielding gas with non-consumable Tungsten electrode (TIG) of Al AMΓ6M alloy by friction stir welding (FSW). In this regard, after applying primary parameters for both welding processes to obtain optimum parameters, the prepared samples were characterized with Tension, bending, radiography, hardness and distortion tests and also microstructure evaluation. The results of this study showed that the grain size of welding zone of TIG and FSW processes are 14 and 6 μm respectively, which are smaller than the base metal with 30 μm in size. The ultimate tensile strength of the FSW joints in the parallel to rolling direction and in the vertical direction with welding line is much higher than TIG joints; 364 MPa versus 278 MPa. The reduction of microhardness in the welding zone for both process FSW and TIG have been in a range. The amount of distortion measured in the FSW was one-fourth of these values in TIG. The result of bending test of the FSW sample from the plane like to the results of the base metal is crack free. Therefore, in order to improve the mechanical and metallurgical properties, as well as to reduce weld joints distortion in aluminum structures, FSW was considered an appropriate alternative to the replacement of the arc welding under shielding gas with non-consumable tungsten electrode.

Key words: Friction-Stir welding, Non-Consumable Tungsten Electrode Welding, AMΓ6M Aluminum Alloy.

Journal homepage: ma.iaumajlesi.ac.ir

Please cite this article using:

Aliasghar Torabi, Tahmineh Ahmadi, Afshin Shirali, Mohammadreza Khanzadeh Ghareshirin, Majid Taghian Dehaghani, Aluminum alloy (AMΓ6M) joining by two processes of friction-stir and non-consumable Tungsten electrode welding and comparison of their mechanical and microstructure properties, in Persian, New Process in Material Engineering, 2019, 13(1), 115-128.