

Research Paper

Effect of Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum 5456 Thin Sheets Welding in TIG and MIG Methods

Hossein Maddahi¹, *Iman Ebrahimzadeh², Ahamad Tahvilian³

- 1- MSc. Student, Advanced Materials Research Center, Department of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
- 2- Assistant professor, Advanced Materials Research Center, Department of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
- 3- Iran Aircraft Manufacturing Industrial Company (HESA), Isfahan, Iran.

Citation: Maddahi H, Ebrahimzadeh I, Tahvilian A. Effect of Input Heat on Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum 5456 Thin Sheets Welding in TIG and MIG Methods. Metallurgical Engineering 2018; 20(4): 283-291 <http://dx.doi.org/10.22076/me.2018.68754.1146>

doi : <http://dx.doi.org/10.22076/me.2018.68754.1146>

ABSTRACT

In this study, the effect of the heat input on the microstructure and mechanical behavior of the 5456 series aluminum thin sheets in two processes of gas tungsten arc welding (GTAW) and gas metal arc welding (GMAW) was investigated. For this purpose, the aluminum base metal with a thickness of 0.9 mm, ER5356 as metal filler with a diameter of 1.2 mm and argon gas were used. Microstructure and fracture surface were studied by optical microscopy and scanning electron microscopy respectively. Also, to study the mechanical properties of the joint, the tensile and microhardness tests were used. The results show that the microstructure of TIG and MIG welding process is coaxially dendrite and dendritic columnar respectively. The microstructure of TIG welded sample was finer than MIG welded sample as a result of lower heat input and lower temperature gradient. This event cause increase in strength and elongation in TIG welded sample compared to MIG welded sample. Also, the fracture surface of TIG sample is consists of the fine dumplings and funnel-shaped cavities, and so the ductile fracture has occurred, but the semi brittle failure was done in the MIG sample.

Keywords: Aluminum thin sheet, Gas Tungsten arc welding, Gas Metal arc welding, Mechanical Properties, Microstructure.

■ ■
* **Corresponding Author:**

Iman Ebrahimzadeh, PhD

Address: Advanced Materials Research Center, Department of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Tel: +98 (31) 42292673

E-mail: i.ebrahimzadeh@pmt.iaun.ac.ir

تأثیر حرارت ورودی بر ریزساختار و خواص مکانیکی جوشکاری ورق‌های نازک آلومینیوم ۵۴۵۶ در روش‌های TIG و MIG

حسین مداحی^۱، ایمان ابراهیم‌زاده^۲، احمد تحویلین^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.
 ۲- استادیار، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.
 ۳- شرکت صنایع هواپیماسازی ایران (هسا)، اصفهان، ایران.

چکیده

در این پژوهش تأثیر حرارت ورودی بر ریزساختار و رفتار مکانیکی در اتصال ورق‌های نازک آلومینیوم سری ۵۴۵۶ در دو فرآیند جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (GTAW) و جوشکاری قوسی فلز-گاز (GMAW) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور فلز پایه‌ی آلومینیوم با ضخامت ۰/۹ میلی‌متر، فلز پرکننده‌ی ER5356 به قطر ۱/۲ میلی‌متر و گاز محافظ آرگون مورد استفاده قرار گرفت. ریزساختار و سطح مقطع شکست به ترتیب توسط میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. همچنین برای بررسی خواص مکانیکی اتصال، از آزمون‌های کشش و ریزسختی استفاده شد. نتایج نشان داد که ریزساختار در فرآیند جوشکاری TIG به صورت دندردیتی هم محور و در حالت جوشکاری MIG به صورت دندردیتی ستونی می‌باشد. ریز ساختار در روش جوشکاری TIG به دلیل حرارت ورودی کمتر و در نتیجه گرادیان دمایی پایین‌تر نسبت به نمونه‌ی MIG ریزتر و پراکنده‌تر است که خود عامل افزایش استحکام و درصد ازدیاد طول نمونه‌ی TIG نسبت به نمونه‌ی MIG شده است. همچنین سطح شکست در نمونه‌ی TIG شامل دیپل‌های ریز و حفرات قیفی شکل بوده و شکست از نوع نرم اتفاق افتاده است در صورتی که شکست در نمونه‌ی MIG از نوع نیمه ترد مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: ورق‌های نازک آلومینیوم، جوشکاری قوسی تنگستن-گاز، جوشکاری قوسی فلز-گاز، خواص مکانیکی، ریزساختار.

۱. مقدمه

ورق‌های نازک، احتمال تشکیل بسیاری از عیوب جوشکاری مرتبط با حرارت ورودی وجود دارد [۶]. امروزه جهت انجام اتصال ورق‌های نازک آلومینیوم از روش‌های نوین از جمله جوشکاری لیزر استفاده می‌شود. این روش‌ها دارای مزایای مناسبی از جمله استحکام بالا هستند اما به دلیل هزینه‌ی بالای این فرآیند و فراهم بودن تجهیزات، میل به استفاده از روش‌های قوسی از جمله جوشکاری قوسی تنگستن-گاز^۱ (TIG) و جوشکاری قوسی فلز-گاز^۲ (MIG) به دلیل کاربرد نسبتاً ساده و هزینه‌های پایین آن‌ها افزایش یافته است [۷]. امروزه کاربرد اجتناب ناپذیر روش‌های جوشکاری ذوبی به دلیل ملاحظات اقتصادی، در دسترس بودن تجهیزات و بالا بودن سرعت فرآیند جوشکاری برای بسیاری از آلیاژها گسترش یافته است. از جمله این روش‌های جوشکاری می‌توان به جوشکاری قوسی تنگستن-گاز و جوشکاری

صنایع دریایی آمریکا در دهه ۱۹۶۰ برای جلوگیری از مشکلات خوردگی کشتی‌ها از ورق‌های آلومینیومی به‌ویژه آلیاژ ۵۴۵۶ برای ساخت اتاقک و بدنه کشتی‌های نظامی و قایق‌های تندرو استفاده نمود. آلیاژ ۵۴۵۶ دارای استحکام بالاتری نسبت به سایر آلیاژها سری ۵۰۰۰ می‌باشد [۱]. این آلیاژ دارای ویژگی‌هایی از جمله استحکام نسبتاً بالا، مقاومت به خستگی مناسب، مقاومت به خوردگی عالی در برابر آب شور، شکل‌پذیری خوب، جوش‌پذیری بسیار خوب و مقاومت عالی در برابر اتمسفر صنعتی، کشاورزی و دریایی می‌باشد [۲ و ۳]. این آلیاژ در صنایع دریایی، اتومبیل‌سازی، هوافضا، مخازن تحت فشار، تجهیزات حمل و نقل، ساختارهای آلومینیومی دارای اتصال جوشکاری و ... کاربرد دارد [۴ و ۵]. جوشکاری ورق‌های نازک آلومینیوم در مقایسه با ورق‌های با ضخامت بالا تقریباً متفاوت است. زیرا در طول جوشکاری

1. Gas Tungsten Arc Welding
2. Gas Metal Arc Welding

* نویسنده مسئول:

دکتر ایمان ابراهیم‌زاده

نشانی: نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، دانشکده مهندسی مواد، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته.

تلفن: ۴۲۲۹۲۶۷۳ (۳۱) ۹۸+

پست الکترونیکی: i.ebrahimzadeh@pmt.iaun.ac.ir

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فلز پایه و فلز پرکننده در این پژوهش بر اساس درصد وزنی (%Wt)

عناصر	آلومینیوم	آهن	منگنز	سیلیسیم	کروم	منیزیم	روی	مس	تیتانیوم
فلز پایه‌ی Al5456	پایه	۰/۴	۰/۸	۰/۲۵	۰/۱۵	۵/۱	۰/۲۵	۰/۱	۰/۲
فلز پرکننده‌ی ER5356	پایه	۰/۴	۱/۵	۰/۲۵	۰/۱۴	۵	۰/۱	۰/۱	۰/۱۷

جدول ۲. پارامترهای جوشکاری در دو حالت جوشکاری TIG و MIG.

روش جوشکاری	جریان معادل (A)	ولتاژ (V)	سرعت جوشکاری (mm.s ⁻¹)	سرعت فلز پرکننده (cm/min)	حرارت ورودی (kJ/mm)
جوشکاری TIG	۵۰	۱۰	۱۶	۷۵	۱/۱۲۵
جوشکاری MIG	۴۰	۱۵	۱۳/۳۳	۱۹۰	۲/۱۶

و دریایی و هواپیمایی از اهمیتی بالا برخوردار است، لذا در این پژوهش به مقایسه‌ی خواص مکانیکی و ریزساختاری اتصال ورق‌های نازک آلومینیوم سری Al5456 با فلز پرکننده ER5356 با دو روش جوشکاری TIG و MIG پرداخته شده است.

۲. مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از ورق آلومینیوم Al5456 و فلز پرکننده ER5356 با ترکیب شیمیایی ارائه شده در جدول (۱) استفاده شد. دو عدد ورق از فلز پایه به ابعاد $300 \times 250 \times 0.9$ mm توسط گیوتین آماده شد. سپس به منظور تمیزکاری فلز پایه پیش از جوشکاری و حذف مشکل تخلخل در فلز جوش، قطعات پیش از جوشکاری توسط محلول تمیز کننده شامل ۵۰٪ اسید نیتریک و ۵۰٪ آب چربی زدایی شدند. پیش از جوشکاری، سطح نمونه‌ها برس‌زنی نمونه‌ها به منظور برداشتن لایه اکسیدی، با پرس سیمی از جنس فولاد زنگ‌نزن انجام شد تا لبه‌ها کاملاً براق و عاری از اکسید باشند. در ادامه نمونه‌ها بر اساس استاندارد AWS D1.1 به صورت لب به لب، لبه‌سازی شدند.

پس از آماده‌سازی نمونه‌ها ورق‌های نازک آلومینیوم، نمونه‌ها به دو روش جوشکاری TIG و MIG جوشکاری شدند. پارامترهای جوشکاری در هر دو روش TIG و MIG طبق استاندارد AWS انتخاب و اتصال با استفاده از فلز پرکننده‌ی ER5356 به قطر ۲/۱ میلی‌متر انجام شد. فرآیند جوشکاری در هر دو حالت، به منظور حذف مشکلات مربوط به تخلخل در حضور گاز محافظ آرگون آزمایشگاهی با خلوص ۹۹۹/۹۹ درصد و جریان ۸ لیتر بر دقیقه انجام شد. پارامترهای جوشکاری در هر دو روش TIG و MIG در جدول (۲) ارائه شده است. فرآیند جوشکاری در دو حالت TIG و MIG به ترتیب با استفاده از دستگاه جوش اتوماتیک خطی Fronus، مدل 2600 Magic wave و دستگاه جوش گام الکتریک تحت لیسانس مرکله آلمان، مدل PU520PW انجام شد. حرارت

قوسی فلز-گاز اشاره نمود. در این راستا تحقیقات متعددی روی جوشکاری ورق‌های نازک آلومینیوم به روش‌های ذوبی صورت گرفته است [۸-۱۲]. رایانان و همکارانش [۱۳] به بررسی اثر فرآیند جوشکاری (سه فرآیند GTAW، GMAW و FSW) بر خواص مکانیکی اتصال آلیاژهای آلومینیوم AA6061 پرداختند. آن‌ها دریافتند که خواص مکانیکی در اتصال ایجاد شده به روش جوشکاری TIG نسبتاً مناسب‌تر از روش جوشکاری MIG است. خوتیان و کومار [۱۴] به بررسی ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیوم به روش‌های تیگ و میگ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقاومت کششی، ریزسختی، مقاومت ضربه و ریزساختار در جوش TIG نسبت به جوش MIG برای آلومینیوم مورد استفاده بهتر است. در پژوهشی ینی و همکارانش [۱۵] به مقایسه‌ی رفتار مکانیکی و ریزساختاری اتصال آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ در سه فرآیند GTAW، GMAW و FSW پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که خواص مکانیکی اتصال در روش FSW نسبت به دو روش دیگر بهتر است و همچنین فرآیند GMAW ضعیف‌ترین خواص مکانیکی را در بین دو روش ذوبی داشته است. سینگ و همکارش [۱۶] به مطالعه خواص مکانیکی و ریزساختاری آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲ جوشکاری شده توسط فرآیند TIG و MIG پرداختند. آن‌ها خواص مکانیکی جوش را با استفاده از آزمون‌های سختی و کشش مورد بررسی قرار دادند و مشخص شد که جوشکاری آلیاژ Al با استفاده از TIG مکانیکی قابل اعتمادتر از MIG است. آرون کومار و همکارانش [۱۷] به مقایسه‌ی خواص مکانیکی و متالورژیکی اتصال آلومینیوم AA2219 به روش‌های جوشکاری TIG و جوشکاری MIG پرداختند. آن‌ها دریافتند که فرآیند TIG برای بهبود خواص مکانیکی و متالورژیکی در فلز جوش در مقایسه با فرآیند MIG مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به مطالعات انجام شده، پژوهشی روی جوشکاری ورق‌های نازک آلومینیوم سری Al5456 با فلز پرکننده ER5356 در متون علمی چاپ شده مشاهده نشد و با توجه به اینکه این اتصال در صنایع نظامی

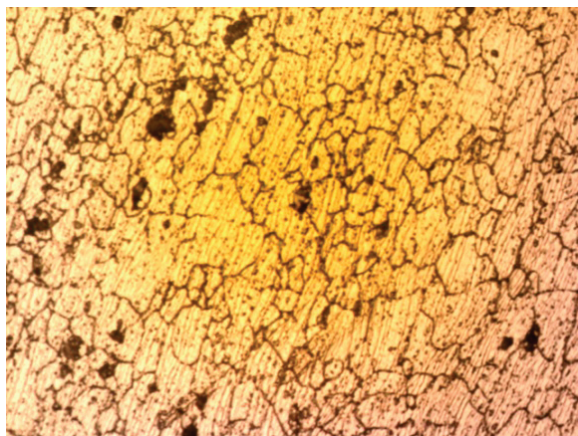
میلی متر بر دقیقه) و توسط دستگاه INSTRON انجام شد. شکل (۱) نمایی از نمونه‌های تهیه شده جهت آزمون کشش و خمش را نشان می‌دهد. آزمون ریز سختی سنجی بر اساس استاندارد ASTM E384 از فلز جوش به سمت فلز پایه از دو طرف در فواصل ۰/۵ میلی‌متر انجام شد نتایج آن بصورت پروفیل سختی ارائه شد. این آزمون در مقیاس ویکرز و با استفاده از دستگاه مدل WILSON ساخت کشور امریکا انجام شد [۱۹]. همچنین سطح مقطع شکست و نوع شکست در نمونه‌های آزمون کشش توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد.

۳. نتایج و بحث

نتایج متالوگرافی

شکل (۲) تصویر میکروسکوپ نوری نمونه‌ی متالوگرافی شده فلز پایه Al5456 را در دو بزرگنمایی متفاوت ارائه می‌دهد. همانطور که در شکل (۲) نشان می‌دهد، فلز پایه دارای یک ساختار ریزدانه شامل یک زمینه از محلول جامد آلفا (محلول جامد منیزیم در آلومینیم) می‌باشد که ذرات ریز Mg_2Al_3 و ذرات درشت شامل ترکیبات بین فلزی Al-Fe-Si-Mn درون آن توزیع شده است.

تصاویر ریزساختار منطقه متأثر از حرارت در هر دو نمونه‌ی MIG و TIG در شکل (۳) آورده شده است. به دلیل بالا بودن میزان حرارت ورودی در فرآیندهای جوشکاری ذوبی، دو پدیده‌ی رشد دانه و همچنین تشکیل برخی از رسوبات در منطقه‌ی متأثر از حرارت اتفاق می‌افتد. بدین صورت که با دور شدن از فلز پایه و نزدیک شدن به فلز جوش در منطقه‌ی متأثر از حرارت به دلیل افزایش حرارت در این ناحیه، میزان رسوبات افزایش می‌یابد. با توجه به شکل (۳)، و مقایسه‌ی ریز ساختار در منطقه‌ی متأثر از حرارت برای هر دو حالت جوشکاری MIG و TIG مشاهده می‌شود که به دلیل حرارت



شکل ۲. ریزساختار فلزات پایه آلومینیوم IA6545 در دو بزرگنمایی متفاوت.

ورودی جوشکاری با استفاده از رابطه (۱) و بر حسب kJ/mm محاسبه شد. در این رابطه V ولتاژ بر حسب ولت، I جریان بر حسب آمپر، S سرعت حرکت نازل دستگاه بر حسب میلی‌متر بر ثانیه و η راندمان حرارتی است که در روش جوشکاری TIG و MIG به ترتیب برابر ۰/۶ و ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

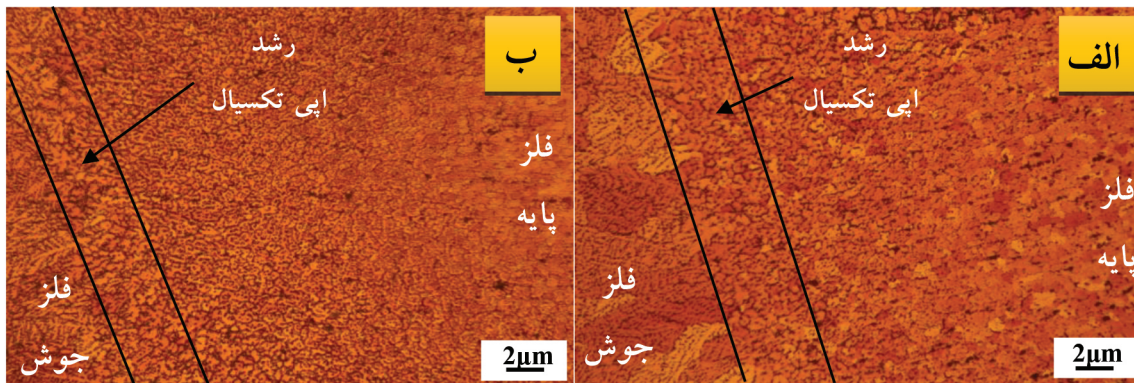
معادله ۱.

$$Q = \left(\frac{V \times I \times 60}{1000 \times S} \right) \eta$$

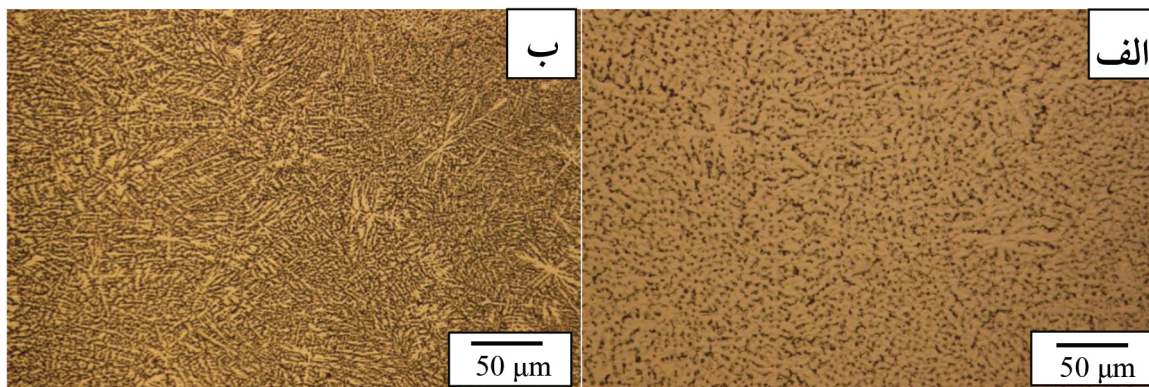
پس از انجام فرآیند جوشکاری نمونه‌هایی با ابعاد 10×25 میلی‌متر با استفاده از گیوتین از نمونه‌های اصلی، جهت بررسی ریزساختار مناطق مختلف اتصال آماده‌سازی شد. سپس نمونه‌ها در دستگاه مانت گرم توسط پودر اپوکسی و دمای $150-140$ سانتی‌گراد، فشار 4200 psi و مدت زمان 20 دقیقه مانت شدند و در نهایت به مدت 20 دقیقه خنک کاری با قالب آبگرد انجام شد. پس از آن نمونه‌ها با استفاده از سنباده‌های 60 الی 3000 آماده‌سازی شدند و پولیش نهایی با نم‌پولیش و محلول آلومینا (Al_2O_3) با قطر ذرات 1 میکرون انجام شد. سپس نمونه‌ها توسط محلول اسید فسفریک 10 درصد حجمی در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 6 دقیقه اچ شدند. بررسی ریزساختار و سطح مقطع شکست در این پژوهش به ترتیب توسط میکروسکوپ نوری مدل یونیون 2 با بزرگنمایی 50 تا 1000 برابر و مجهز به دوربین $1/3$ مگاپیکسل و نرم افزار آنالیز تصویری و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل لئو ۴۴۰i ساخت کشور انگلستان، مجهز به سیستم EDAX انجام شد. جهت بررسی خواص مکانیکی از آزمون‌های کشش، خمش و ریزسختی سنجی استفاده شد. آزمون کشش مطابق با استاندارد ASTM E8-04 و با سرعت جابجایی فک (2 میلی‌متر بر دقیقه) با استفاده از دستگاه کشش INSTRON انجام گرفت [۱۸]. آزمون خمش مطابق با استاندارد ASTM E190-14 با سرعت جابجایی فک (2



شکل ۱. نمایی از نمونه تهیه شده جهت آزمون: (الف) کشش، (ب) خمش.



شکل ۳. ریزساختار منطقه متأثر از حرارت در روش جوشکاری: (الف) TIG، (ب) MIG.

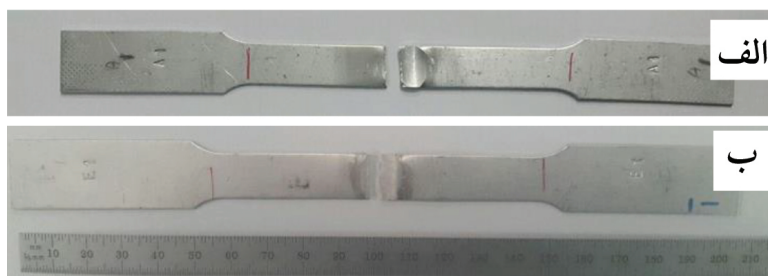


شکل ۴. ریزساختار منطقه فلز جوش در روش جوشکاری: (الف) TIG، (ب) MIG.

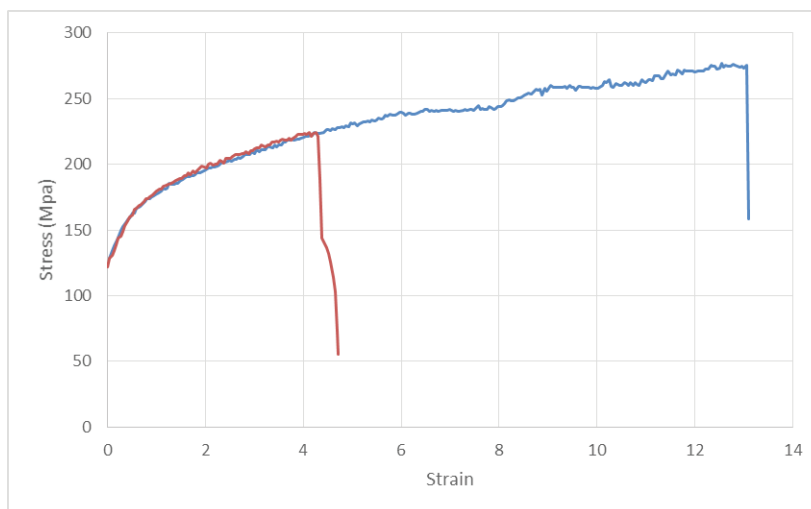
در نمونه‌ی جوشکاری شده توسط فرآیند جوشکاری TIG نسبت به نمونه‌ی جوشکاری شده توسط فرآیند جوشکاری MIG ریزتر است و به طبع آن فاصله‌ی بین دندریته‌های ثانویه کمتر است که این موضوع به حرارت ورودی کمتر در فرآیند جوشکاری TIG نسبت به فرآیند جوشکاری MIG است. در نمونه‌ی MIG به دلیل بالاتر بودن میزان حرارت ورودی شاخه‌های دندریتی بیشتر رشد کرده‌اند و نسبت به نمونه TIG رسوبات بزرگتری تشکیل شده است. دو پارامتر گرادیان دمایی (G) و نرخ رشد (R) از پارامترهای مهم انجماد هستند که به ترتیب نسبت آن‌ها (G/R) و حاصل‌ضربشان (G.R) برای پیش‌بینی مورفولوژی انجماد و اندازه ریزساختار انجماد استفاده می‌شوند [۲۲]. میزان حرارت ورودی و سرعت جوشکاری نیز تأثیر بسزایی بر انجماد و ریزساختار نهایی دارد. حرارت ورودی کم در روش جوشکاری TIG نسبت به MIG باعث کاهش گرادیان دمایی و در نتیجه کاهش نسبت G/R شده است که باعث ایجاد ریزساختار دندریتی هم محور در فلز جوش شده است. با توجه به افزایش حرارت ورودی در روش جوشکاری میگ گرادیان دمایی افزایش یافته و به طبع آن نسبت G/R افزایش می‌یابد که این موضوع باعث ایجاد ساختار

ورودی بیشتر در فرآیند جوشکاری MIG نسبت به فرآیند جوشکاری TIG، عرض منطقه‌ی متأثر از حرارت در نمونه‌ی TIG کمتر از نمونه‌ی MIG می‌باشد اما رسوبات تشکیل شده در نمونه‌ی TIG رشد بیشتری را نسبت به نمونه‌ی MIG را داشته است. همچنین با توجه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که در فصل مشترک منطقه متأثر از حرارت و فلز جوش، رسوبات در فلز جوش در ادامه‌ی رسوبات تشکیل شده در منطقه‌ی متأثر از حرارت تشکیل شده‌اند و رشد به صورت اپی تکسیال اتفاق افتاده است که این امر باعث افزایش استحکام در این ناحیه خواهد شد. رشد اپی تکسیال به دلیل پیوند دادن دانه‌های منطقه‌ی فلز جوش به فلز پایه مفید است زیرا این امر باعث کاهش تمرکز تنش در منطقه جوش و منطقه متأثر از حرارت می‌شود [۲۰ و ۲۱].

تصاویر ریزساختار منطقه متأثر از حرارت در هر دو نمونه‌ی TIG و MIG در شکل (۴) آورده شده است. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، ساختار فلز جوش در نمونه‌های جوشکاری شده به صورت دندریتی می‌باشد. در یک بزرگنمایی یکسان برای هر دو حالت جوشکاری TIG و جوشکاری MIG مشخص است که ساختار



شکل ۵. نمونه‌های آزمون کشش بعد از انجام آزمون در نمونه‌ی: (الف) TIG، (ب) MIG.



شکل ۶. نمودار تنش کرنش در دو شرایط جوشکاری TIG و MIG.

است. همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، استحکام در نمونه‌ی TIG بسیار بیشتر از نمونه‌ی MIG می‌باشد. درصد ازدیاد طول در نمونه‌ی TIG نسبت به نمونه‌ی MIG تقریباً دو برابر است که این نشان دهنده‌ی انعطاف‌پذیری بیشتر در نمونه‌ی TIG می‌باشد. با توجه به حرارت ورودی بیشتر در روش جوشکاری MIG نسبت به TIG و در نتیجه رشد دانه‌ها و افزایش اندازه دانه‌ها (با توجه به رابطه‌ی هال پیچ)، استحکام در نمونه‌ی MIG نسبت به TIG کاهش یافته است. در پژوهشی مشابه که آرون و همکارش [۲۴] روی تأثیر فرآیند جوشکاری بر روی خواص مکانیکی آلومینیوم ۶۰۶۱ داشتند مشاهده کردند که خواص مکانیکی اتصال ایجاد شده به روش MIG نسبتاً کمتر از نمونه‌های جوشکاری شده به روش TIG هستند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع شکست ارائه شده در شکل (۷) و همچنین نوع شکست مقاطع نیز تأییدی بر این موضوع می‌باشد.

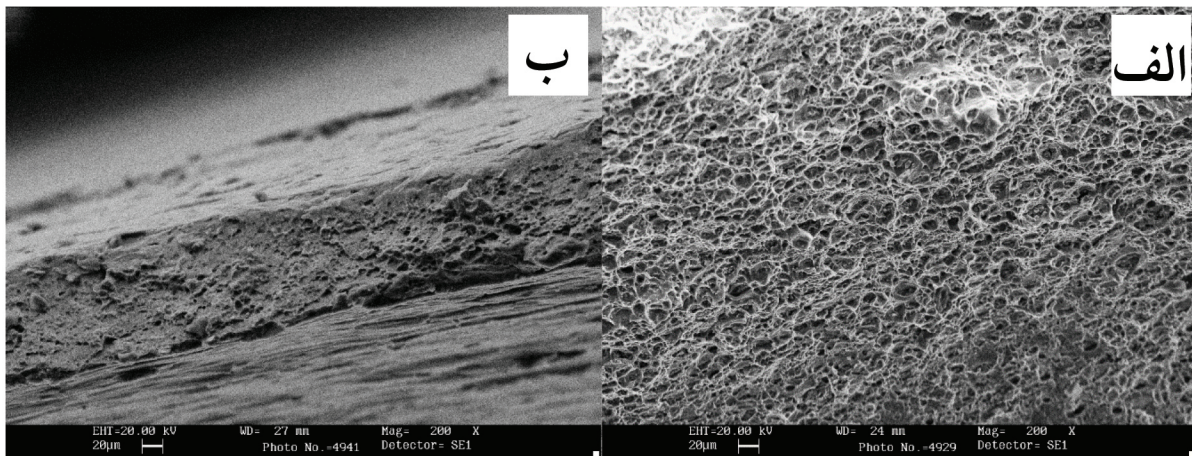
بررسی سطح مقطع شکست در آزمون کشش

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به سطح شکست در آزمون کشش در شکل (۷) الف و ب ارائه شده است. همان‌طور که در شکل (۷) الف مشاهده می‌شود حفرات و

دندریستیونیدر فلز جوش در این فرآیند شده است. از طرفی سرعت جوشکاری و در نتیجه نرخ سرد کردن نیز بر اندازه دندریت‌ها و فاصله‌ی بین باوهای دندریتی مؤثر است. با توجه به این موضوع، با افزایش سرعت جوشکاری افزایش نرخ سرد شدن در روش TIG دندریت‌های انجمادی هم محور تشکیل شده، ریزتر می‌شوند. در پژوهشی رفیعی و همکارانش [۲۳] تأثیر حرارت ورودی بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ منیزیم AZ91 با استفاده از فرآیند GTAW پرداختند و مشاهده کردند که در فلز جوش با افزایش حرارت ورودی اندازه دانه افزایش یافته و دانه‌ها درشت‌تر می‌شوند که نتایج آن‌ها می‌تواند تصدیقی بر نتایج به دست آمده در این تحقیق باشد.

نتایج آزمون کشش

تصاویر نمونه‌های کشش برای هر دو نمونه‌ی جوشکاری شده توسط دو فرآیند جوشکاری TIG و جوشکاری MIG در شکل (۵) آورده شده است. همان‌طور که در این تصویر مشاهده می‌شود شکست در نمونه‌ی جوشکاری شده توسط فرآیند جوشکاری TIG از منطقه‌ی متأثر از حرارت و در نمونه‌ی جوشکاری شده توسط فرآیند جوشکاری MIG از منطقه فلز جوش اتفاق افتاده



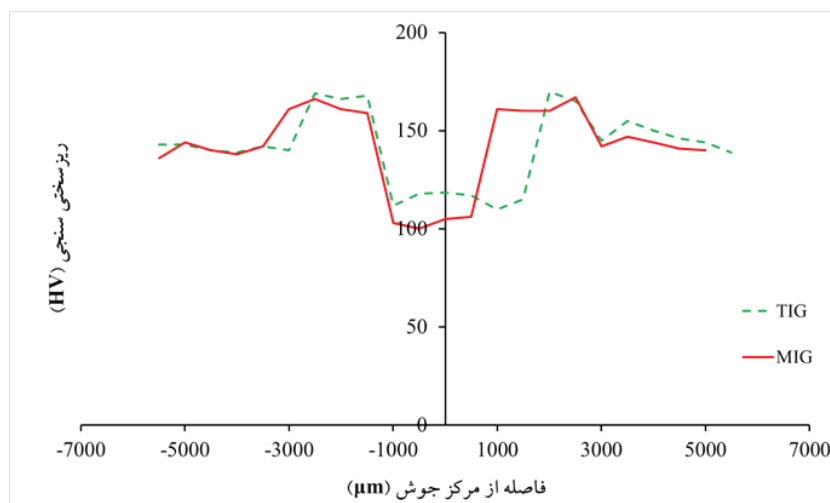
شکل ۷. شکست نگاری از سطح شکست نمونه در آزمون کشش: (الف) TIG، (ب) MIG.

هر دو حالت جوشکاری مواجه می‌شود. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود سختی در فلز پایه آلومینیوم Al5456 حدود ۱۴۰ ویکرز است. با عبور از فلز پایه و در منطقه متأثر از حرارت با افزایش سختی روبرو می‌شویم که سختی تا حدود ۱۶۰ ویکرز در این ناحیه برای هر دو حالت جوشکاری TIG و MIG افزایش یافته است. همچنین سختی در فلز جوش برای هر دو روش جوشکاری TIG و جوشکاری MIG به ترتیب حدود ۱۲۰ ویکرز و ۱۰۰ ویکرز می‌باشد. که در هر دو حالت جوشکاری سختی نسبت به فلز پایه کاهش یافته است. از آنجایی که پس فرآیند جوشکاری ریزساختار به حالت ریختگی در می‌آید و نسبت به فلز پایه که به صورت نوردی تولید شده است ریزسختی کاهش می‌یابد که این امر منطقی به نظر می‌رسد. اما با این وجود تفاوت چندانی در مناطق مختلف جوش در عدد سختی مشاهده نمی‌شود و بیشترین اختلاف در محدوده‌ی فلز جوش می‌باشد که در آن سختی در نمونه‌ی جوشکاری شده به روش جوشکاری TIG بیشتر

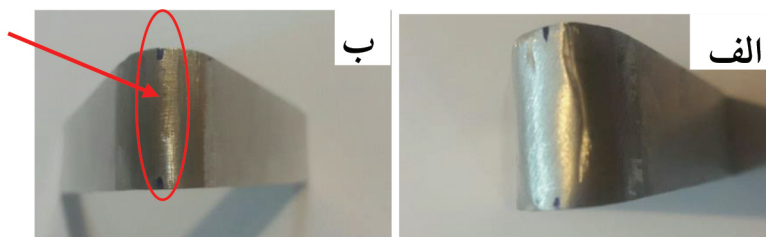
دیپل‌هایریز در ساختار به چشم می‌خورند که حاکی از آن است که شکست در نمونه‌ی TIG از نوع نرم می‌باشد. اما در شکل (۷) ب به صورت صفحات تورقی و فرورفتگی‌هایی در اطراف این صفحات صاف وجود دارند. در نتیجه شکست در این ناحیه به صورت نرم و ترد (نیمه ترد) رخ داده است. که این نتایج با نتایج به دست آمده از آزمون کشش به دلیل انعطاف پذیری بالاتر نمونه‌ی TIG نسبت به MIG صادق است (شکل (۶)).

ریزسختی سنجی

شکل (۸) پروفیل سختی افقی در اتصال آلومینیوم Al5456 با استفاده از دو فرآیند جوشکاری TIG و جوشکاری MIG را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی یک روند صعودی از سمت فلز پایه به سمت منطقه‌ی متأثر از حرارت وجود دارد و سپس با افت شدیدی در منطقه فلز جوش برای

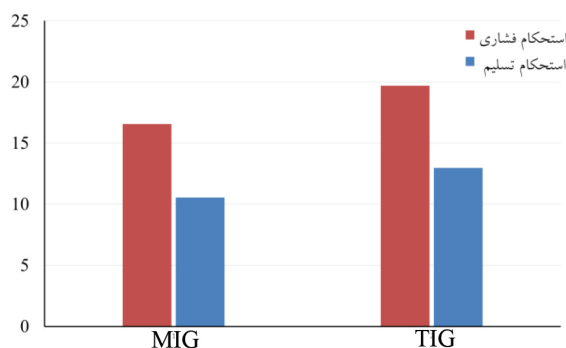


شکل ۸. پروفیل ریزسختی در اتصال آلومینیوم Al5456.



شکل ۹. نتایج آزمون خمش در نمونه‌های: (الف) TIG، (ب) MIG.

- مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر به دست آمد:
- ۱- ساختار فلز جوش در هر دو فرآیند جوشکاری به صورت دندریتی می‌باشد که در روش جوشکاری TIG بازوهای دندریتی ریزتر و پراکنده‌تر از روش جوشکاری MIG مشاهده شدند که این موضوع به دلیل حرارت ورودی کمتر در فرآیند جوشکاری TIG نسبت به فرآیند جوشکاری MIG است.
 - ۲- گرادیان دمایی کمتر در جوشکاری تیگ نسبت به میگ باعث کاهش نسبت G/R شده است که سبب ایجاد ریزساختار دندریتی هم محور در فلز جوش می‌شود.
 - ۳- در آزمون کشش نمونه‌های حاصل از فرآیند جوشکاری TIG از فصل مشترک فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت و در فرآیند جوشکاری MIG از فلز جوش دچار شکست شدند و استحکام تسلیم و کششی در نمونه‌ی TIG بسیار بیشتر از نمونه‌ی MIG بود.
 - ۴- شکست در آزمون کشش در نمونه‌ی TIG از نوع نرم و در نمونه‌ی MIG از نوع نیمه ترد اتفاق افتاده است.
 - ۵- نتایج نشان داد که خواص مکانیکی در روش جوشکاری TIG مناسب‌تر از روش جوشکاری MIG در اتصال ورق‌های نازک آلومینیوم است.



نمودار ۳. نتایج آزمون خمش.

از نمونه‌ی جوشکاری شده به روش جوشکاری MIG است. خوتیان و کومار [۱۴] نیز در پژوهشی میزان سختی منطقه فلز جوش در اتصال ورق‌های آلومینیوم Al 6061 با استفاده از دو روش TIG و MIG را به ترتیب HRB43 و HRB39 مشاهده کردند. میزان سختی با توجه به مطالعات گذشته [۱۳ و ۱۴] و ریزدانه‌تر بودن ساختار در روش جوشکاری TIG نسبت به روش MIG قابل توجه می‌باشد.

خمش

شکل (۹) نمونه‌های آزمون خمش را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود هیچ‌گونه شکاف و ترک در رو و پهلوی نمونه‌ی TIG وجود ندارد اما در نمونه‌ی MIG روی سطح جوش ترکی طولی ایجاد شده است. در نمودار (۳) نتایج آزمون خمش ارائه شده است. نتایج این آزمون نشان می‌دهد که استحکام تسلیم و فشاری در نمونه‌ی TIG نسبت به نمونه‌ی MIG بیشتر است که علت آن را می‌توان به ریزساختار دندریتی در نمونه‌ی MIG نسبت داد. مطالعات گذشته نشان می‌دهد که ساختار دندریتی در فلز جوش باعث افزایش استحکام و کاهش ترک در جوش می‌شود [۲۷-۲۵].

۴. نتیجه گیری

در این پژوهش ریزساختار و خواص مکانیکی جوشکاری ورق‌های نازک آلومینیوم ۵۴۵۶ به روش‌های TIG و MIG

References

- [1] Davis JR. Aluminium structure design and fabrication guide. 1th ed, shio structure committee, October 2008.
- [۲] م. الیاسی، ع. ابوکاظمپور، "انتخاب آلومینیم‌های مناسب در سازه‌های دریایی"، پنجمین همایش ملی صنایع فراساحل، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۲.
- [۳] ج. علیمردان، ص. منافی، ج. صیدی، "اتصال نفوذی آلیاژهای AZ31 منیزیم و آلومینیوم ۷۰۷۵ تحت تأثیر پارامتر دما"، فصلنامه فرایندهای نوین در ساخت و تولید، سال دوم، شماره سوم، ۱۳۹۲.
- [4] Nazarpour V, Soltanipoor A, Farmanesh K. Effect of Pulse Current on Mechanical, Metallurgical and Corrosion Properties of AA 5083 Aluminum Alloy Pulse TIG Welded Joints. *Journal of Materials Science*. 2010; 2(1): 54-67.
- [۵] اردشیر طهماسبی، آلومینیوم، چاپ اول، نشر جامعه ریخته گران ایران، صفحات ۱-۲۷، ۱۳۶۴.
- [6] Kumar R, Dilthey U, Dwivedi DK, Ghosh PK. Thin sheet welding of Al 6082 alloy by AC pulse-GMA and AC wave pulse-GMA welding. *Materials and Design*. 2009; 30: 306-313.
- [7] Madhusudhan RG, Gokhale AA, Prasad R K. Optimization of pulse frequency in pulsed current gas tungsten arc welding of aluminium - lithium. *J Mater Sci Technol*. 1998; 14: 61-6.
- [8] Kah P, Jibril A, Martikainen J and Suoranta R. Process Possibility of Welding Thin Aluminium Alloys. *Mechanical and Materials Engineering (IJMME)*. 2012; 7: 232-42.
- [9] Chen W & Molian P. Dual-beam laser welding of ultra-thin AA 5052-H19 aluminum. *Adv Manuf Technol*. 2008; 39: 889-97.
- [10] Bakavos D, Chen Y, Babout L and Prangnell P. Material Interactions in a Novel Pinless Tool Approach to Friction Stir Spot Welding Thin Aluminum Sheet. *Metallurgical and Materials Transactions*. 2011; 42: 1266-82.
- [11] Kou S, Kanevsky T and Fyfitch S. Welding Thin Plates of Aluminum Alloys A Quantitative Heat-Flow Analysis. *Welding Research Supplement*. 62nd AWS Annual Meeting held in Cleveland, Ohi. 1982:175-81.
- [12] Prakash J, Tewari SP, Srivastava BK. Shielding Gas for Welding of Aluminium Alloys by TIG/MIG Welding-A Review. *Modern Engineering Research*. 2011; 1(2): 690-9.
- [13] Lakshminarayanan AK & Balasubramanian V & Elangovan K. Effect of welding processes on tensile properties of AA6061 aluminium alloy joints. *Adv Manuf Technol*. 2009; 40: 286-96.
- [14] Khotiyan SK, Kumar S. Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of TIG and MIG Welding Using Aluminium Alloy Education and Science Research. 2014; 1: 90-6.
- [15] Yeni C, Sayer S, Pakdil M. Comparison of mechanical and microstructural behaviour of TIG, MIG and friction stir welded 7075 aluminium alloy. *Kovove Mater*. 2009; 47: 341-7.
- [16] Singh V, Paroothi V. Study of Microstructure and Mechanical properties of aluminum alloy welded by MIG and TIG welding processes.
- [17] S. Arunkumar, P. Rangarajan, K. Devakumar, P. Sathiyar, "Comparative study on transverse shrinkage, mechanical and metallurgical properties of AA2219 aluminium weld joints prepared by gas tungsten arc and gas metal arc welding processes", *Defence Technology*, Vol. 11, pp. 262-268, 2015.
- [18] ASTM E8-00 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.
- [19] ASTM E92-82 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.
- [۲۰] شمعیان، م. و اشرفی، ع. "متالورژی جوشکاری"، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ویرایش سوم، ۱۳۹۱.
- [۲۱] بهنام صادقی، حسن شریفی، مهدی رفیعی، "ارزیابی خواص اتصال غیرهمجنس فولاد زنگ نزن آستنیتی A321 به فولاد کربنی A537CL1 به روش GTAW"، علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال سوم، شماره ۱، صفحه ۱۰-۲۰، ۱۳۹۶.
- [۲۲] ع. محمودیان، ی. یعقوبی‌نژاد، "شبیه‌سازی ریزساختار منطقه متأثر از حرارت و پروفیل دمایی در جوشکاری GTAW فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، سال دوم، شماره هفتم، زمستان ۱۳۸۷.
- [۲۳] ف. رفیعی، ع. خدابنده، ب. نامی، ن. بنی مصطفی عرب، "مجله مهندسی متالورژی"، شماره ۵۵، ص ۳۶-۴۴، پاییز ۹۳.
- [24] Arun M. Ramachandran k. Effect of welding process on mechanical and metallurgical properties of AA6061 aluminium alloy lap joint. 2015; 5(1): 163-78.
- [25] Arivazhagan N. SurendraSingh S. Prakash S. Reddy GM. Investigation on AISI 304 Austenitic stainless steel to AISI 4140 low alloy steel dissimilar joints by gas tungsten arc. electron beam and friction welding. *Mater Des*, 2011; 50: 30-6.
- [26] Chen G. Song Y. Wang J. Liu J. Yu X. Hua J. et al. High-temperature short-term tensile test and creep rupture strength prediction of the T92/TP347H dissimilar steel weld joints. *Eng Fail Anal*. 2012; 9: 206-20.
- [27] Ogawa T. Itatani M. Saito T. Hayashi T. Narazaki C. Tsuchihashi K. Fracture assessment for a dissimilar metal weld of low alloy steel and Ni-base alloy. *Int J Pres Ves Pip*. 2012; 8: 90-6.