



Journal Home Page: www.jmatpro.ir

Effect of Pulse Current on Mechanical, Metallurgical and Corrosion Properties of AA 5083 Aluminum Alloy Pulse TIG Welded Joints

Vahid Nazarpour*, Abdoreza. Soltanipoor, Khosrow Farmanesh

Maleke-Ashtar University of Technology

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 May 2010

Accepted 10 Jun. 2010

Keywords:

Pulsed TIG Welding

Aluminum Alloy

Pulse Current

Tensile Strength

Hardness

Microstructure

ABSTRACT

Aluminum alloys are largely used because of their inherent good properties. Nowadays, 5xxx series alloys are developed and one of their new categories is Al-4.5Mg. High strength in this alloy is due to work hardening. It has ultimate tensile strength of 330 MPa. The most important challenge during fusion welding of this alloy is HAZ softening. The aim of the present investigation is to study the effect of pulse current on mechanical and metallurgical properties of AA5083 aluminum alloy welds through pulsed tungsten inert gas (TIG) welding process. Microstructures of all the welds were studied and correlated with the mechanical properties. It was seemed that pulse current, has an optimum amount to reach the highest strength. All the welded specimens were failed within the weld region. Pulsed welds showed fine grain structure due to thermal disturbances and decrease in heat input. In general, hardness is lower in HAZ region compared to the weld metal and base metal regions, irrespective of welding technique, which is characterized by the coarse dendrite grains and lack of the strengthener phase. Hardness was higher compared to the continuous welds and this could be due to refinement of grain structure. The best peak current should be selected between 220 & 240 A.

*Corresponding author: Vahid Nazarpour, vnazarpoor@gmail.com

Journal Home Page: www.jmatpro.ir

تأثیر تغییر جریان در جوشکاری تیگ پالسی بر خواص مکانیکی و متالورژیکی آلیاژ آلومینیوم ۵۰۸۳

وحید نظربور*، عبدالرضا سلطانی پور، خسرو فرمش

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی مواد

چکیده

امروزه به دلیل خواص ویژه آلومینیوم، آلیاژهای آن دارای کاربرد وسیعی شده‌اند. آلیاژهای سری ۵۰۰۰ نیز از این قاعده مستثنی نبوده و یکی از آلیاژهای جدید این گروه Al-4.5Mg است. این آلیاژ در اثر کارسختی به استحکام بالایی در حد ۳۳۰ MPa می‌رسد. مشکل این آلیاژ در حین جوشکاری ذوبی، کاهش تنش تسلیم و استحکام نهایی کششی در اثر تبلور مجدد و رشد دانه در منطقه متأثر از حرارت (پدیده نرم شدن منطقه متأثر از حرارت) است. در این پژوهش تأثیر تغییر شدت جریان جوشکاری با فرآیند تیگ پالسی بر روی خواص مکانیکی و متالورژیکی این آلیاژ مطالعه شده است. ریز ساختار کلیه جوش‌ها بررسی شد و مشخص شد با کاهش شدت جریان استحکام کششی مواد افزایش می‌یابد. تمام نمونه‌های جوشی از منطقه جوش شکستند. منطقه جوش نمونه‌ها به دلیل کاهش گرمای ورودی در این جوشکاری ساختار ریزی را نشان دادند. سختی در منطقه تحت تأثیر حرارت ناشی از ساختار درشت دانه، پایین‌ترین مقدار را داشت. همچنین با افزایش شدت جریان، سختی مناطق مختلف کاهش یافت. بهترین شدت جریان بین ۲۲۰ و ۲۴۰ آمپر انتخاب شد

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۳/۲۰

واژگان کلیدی:

جوشکاری TIG پالسی

آلیاژ آلومینیوم

جریان پالسی

استحکام کششی

سختی

ریزساختار

۱- مقدمه

مناسب و شکل دانه جوشکاری را کنترل می‌کند. با توجه به اینکه در این تکنیک گرمای ورودی به فلز پایه کاهش می‌یابد منطقه ذوب دانه ریزتر بوده و کیفیت جوش بالاتر است. انرژی گرمایی مورد نیاز برای ذوب کردن فلز پایه در شدت جریان ماکزیمم در طی مدت زمان کوتاه به فلز پایه اعمال می‌شود و بدین ترتیب حرارت در زمان بعدی بداخل فلز پایه هدایت می‌شود که این امر منجر به منطقه تحت تأثیر حرارت باریکتری می‌شود [۶].

پارامترهای اصلی جوشکاری تیگ پالسی عبارتند از: جریان پیک (Ip)، جریان زمینه (I_B)، مدت زمان جریان پیک (tp) و مدت زمان جریان زمینه (t_B) [۷]. سایر متغیرها از روی این پارامترها قابل تعریف و تعمیم هستند.

بسیاری از محققین با استفاده از پارامترهای جوشکاری متفاوت توانسته‌اند به نتایج مشابهی برسند. اولین هدف، استفاده از مزایای جریان پالسی برای بالا بردن کیفیت جوش است. بطور معمول جریان پالسی ۱/۵ تا ۲ برابر جریان حالت پایدار برای کار مشابه تنظیم می‌شود. جریان زمینه چیزی در حدود ۳۰ الی ۵۰٪ بزرگی جریان پالسی است. زمان تناوب برای جریان زمینه و پالس دارای اهمیتی برابر با مقدار این جریانهاست؛ بطوریکه مقدار جریانها اندازه و عمق نفوذ نقطه جوشها را کنترل می‌کند و زمان جریانها سرعت انجماد مهره ذوب شده را معین می‌کند. اگر محل جوش خیلی بزرگ شود، زمان پالس کاهش داده می‌شود و اگر نفوذ خیلی زیاد باشد اندازه جریان پالس کاهش داده می‌شود. فرکانس پالس و سرعت جوشکاری به میزان روی هم قرارگرفتنی مورد نیاز در نقطه جوشها بستگی دارد، ولی معمولاً بین ۰/۲ تا ۲۰ HZ انتخاب می‌شود [۸]. نمونه‌ای از جریان پالسی مستطیلی در شکل ۱ نشان داده شده است [۹]. یکی از مهمترین پارامترها جریان متوسط با رابطه

خواص منحصر بفرد آلومینیوم امروزه این فلز را به یکی از پرکاربردترین فلزات صنعتی در دنیا تبدیل کرده است. آلیاژهای کار شده آلومینیوم به طور کلی به دو دسته قابل عملیات حرارتی و غیر قابل عملیات حرارتی تقسیم می‌شوند. در بین آلیاژهای غیرقابل عملیات حرارتی، آلیاژهای سری ۵۰۰۰ بواسطه وجود منیزیم از استحکام بالایی برخوردار هستند [۱]. همچنین این آلیاژها دارای مجموعه‌ای از خواص مقاوم به خوردگی، شکل پذیری و جوش پذیری هستند [۲]. آلیاژ ۵۰۸۳ دارای ۴.۵Mg و ۰.۷Mn بوده و جزء آلیاژهای با جوش پذیری بالا محسوب می‌شود که در بخش عمده‌ای از تجهیزات و قطعات شناورهای دریایی بکار می‌رود [۳].

با استفاده از جریان متناوب AC بالانس می‌توان به گونه‌ای رفتار جریان را برقرار نمود که علاوه بر داشتن قوس پایدار، سلامت حوضچه جوش از جنبه آخال‌های تنگستنی کنترل شود. با توجه به قابلیت تمرکز حرارتی فرآیند جوشکاری TIG، به منظور کاهش اعوجاج و افزایش خواص مکانیکی و متالورژیکی از این فرآیند استفاده می‌شود. همچنین این فرآیند قابلیت ارائه بازدهی قوس به صورت پالسی را دارا می‌باشد که این امر می‌تواند علاوه بر مزیت‌های فوق‌الذکر نسبت به سایر فرآیندها، موجب ریزدانگی ساختار فلز جوش و کاهش پهنای منطقه HAZ شود [۴].

طبق نظر Needham [۵] در روش قوس پالسی جریان، جوشکاری بسرعت از یک مقدار بالائی (Peak) به مقدار پائینی زمینه (Background) تغییر می‌کند که این کار سبب ایجاد بخیه‌هایی بصورت نقطه جوشهای روی هم قرار گرفته می‌شود. ذوب در طول مدت زمان جریان بالایی و انجماد در طول زمان جریان زمینه رخ می‌دهد. جریان بالایی رسوب

اساس نتایج آزمون‌های غیرمخرب پارامترهای نهایی جوشکاری TIG پالسی تعیین شد. در نهایت تاثیر تغییر شدت جریان بر خواص مکانیکی و متالورژیکی جوشکاری تیگ پالسی روی ورق آلومینیوم ۵۰۸۳ بررسی گردید.

۲- مواد و روش تحقیق

در این پژوهش ورقهای مورد استفاده جهت عملیات جوشکاری از جنس آلومینیوم ۵۰۸۳ از نوع H۱۱۶ می‌باشد که دارای استحکام تسلیم برابر با ۲۶۰ MPa، استحکام کششی برابر با ۳۳۵ MPa و درصد ازدیاد طول برابر با ۱۴٪ می‌باشد. ترکیب شیمیایی آلیاژ در جدول ۱ نشان داده شده است.

ورق ۵۰۸۳ در ابعاد ۵۰×۱۱۰×۵ mm در جهت نورد با استفاده از گیوتین برش داده شد و سپس آماده سازی ورقها جهت انجام عملیات جوشکاری بر اساس استاندارد جوشکاری امریکا به صورت جناقی یک طرفه، با زاویه پخ ۶۰ درجه و پاشنه ریشه برابر با ۱/۶ mm و فاصله ریشه برابر با ۱/۶ mm انجام گردید [۱]. سپس توسط پارچه نظیف و الکل سطح ورقها، دستگاه جوشکاری و فکها تمیز شد. قبل از جوشکاری، ورقها در محلول ۴۰ گرم NaOH + ۱ لیتر آب مقطر به مدت ۵۰ ثانیه اکسید زدائی شد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم ۵۰۸۳ و سیم پرکننده ۵۱۸۳ مورد استفاده [۱]

Table 1. Chemical composition of 5083AA and, wt%

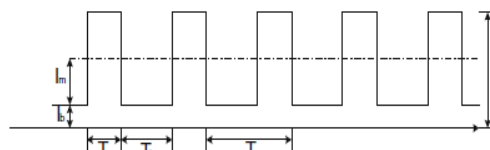
Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
5083AA	0.116	0.452	0.0268	0.722	4.38	0.0935	0.005	0.25	0.0194	93.6
5183 Filler Wire	0.2	0.35	0.15	0.5	4.01	0.1	0.05	0.25	0.1	93.1

Start) است که به آن جریان شروع ($I_m = \frac{I_p \cdot t_p + I_B \cdot t_B}{t_p + t_B}$)

(current) نیز می‌گویند و دارای مقدار کمتری نسبت به I_p

می‌باشد [۱۰]. Tseng [۱۱] از رابطه $F = \frac{1}{t_p + t_B}$ برای

محاسبه فرکانس استفاده نموده است.



شکل ۱- طرح شماتیک موج پالسی مستطیلی [۹]

Fig. 1. Schematic design of pulse current

پژوهش Kumar و همکاران [۱۲] در مورد تأثیر پارامترهای جوشکاری TIG پالسی بر روی خواص کششی آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ AA بود. این محققین به این نتیجه رسیدند که هر کدام از پارامترها دارای محدوده خاصی است که تجاوز از آن منجر به افت خواص می‌شود.

بنابراین انجام این تحقیق بر اساس ادامه روند بررسی پارامترهای جوشکاری TIG پالسی صورت پذیرفت. در این تحقیق ابتدا پارامترهای شدت جریان، فرکانس، سرعت جوشکاری و سرعت تزریق سیم تغییر داده شدند و سپس بر

مایعات نافذ جهت بررسی ترک‌های سطحی و نفوذ جوش و همچنین فلورسکوپی جهت بررسی عیوب درونی جوش بویژه آخال‌های تنگستنی انجام گردید.

به منظور بررسی و مطالعه اثر جریان بر ماکروساختار و رقت، قطعات جوشکاری شده از مقطع عرضی بصورتی که دارای کلیه مناطق جوش از جمله فلز جوش (WM)، منطقه تحت تأثیر حرارت و فلز پایه (BM) باشد، برش داده شدند و پس از انجام عملیات ماشین کاری کلیه قطعات با کاغذ سمباده‌های ۲۰۰ الی ۱۰۰۰ پولیش شدند. سپس سطوح پولیش شده با نم‌پولیش همراه با محلول Al_2O_3 پولیش شدند. نمونه‌های پولیش شده در دو مرحله با استفاده از محلولهای ذیل اچ شده و ریزساختار مناطق مختلف اتصالات جوشی توسط میکروسکوپ نوری مورد ارزیابی قرار گرفت:

۱- 45 ml HCl - 15 ml HNO_3 - 15 ml HF - $15\text{ ml H}_2\text{O}$ به منظور مشخص نمودن گرده جوش، پاس ریشه جوش و نوارهای منطقه جوش.

۲- 45 ml HCl - 15 ml HNO_3 - 15 ml HF - $25\text{ ml H}_2\text{O}$ جهت نمایان شدن خط ذوب، منطقه تحت تأثیر حرارت و فلز پایه به منظور بدست آوردن میزان درصد رقت در جریان‌های متفاوت.

سپس پارامترهای بهینه انتخاب گردید و فقط شدت جریان تغییر کرد و بعد از تکرار آزمایشات بالا روی جوش‌های نهایی، آزمون ماکرو سختی (VHN) انجام گرفت به طوری که بار 5 Kg در خط وسط سطح مقطع و در فاصله $2/5$ میلیمتری از سطح جوش اعمال شد تا پروفیل سختی بدست آید. در واقع روی کلیه نقاط فلز پایه و جوش اندازه گیری سختی صورت پذیرفت.

از دو الکتروود غیر مصرفی تنگستنی خالص و تنگستنی حاوی اکسید زیرکونیوم با قطرهای $2/4$ و $3/2$ میلی‌متر و همچنین ماده مصرفی مورد استفاده از جنس 5183 با قطر $1/2$ میلی‌متر با ترکیب شیمیایی مندرج در جدول ۱ استفاده گردید. آماده سازی نوک الکتروود طبق استاندارد جوشکاری امریکا [۱] بصورت باریک شدن انتهایی انجام شد. قطعات قبل از جوشکاری تا 100°C پیشگرم شدند. برای جلوگیری از اعوجاج، زیر ورقها فیکسچر قرار گرفت و به منظور عدم انتقال حرارت در زیر و روی ورقها از پتوهای نسوز و پشت‌بند سرامیکی استفاده گردید. مشعل در مسیر جوشکاری در زاویه 95 درجه قرار گرفت [۱۳].

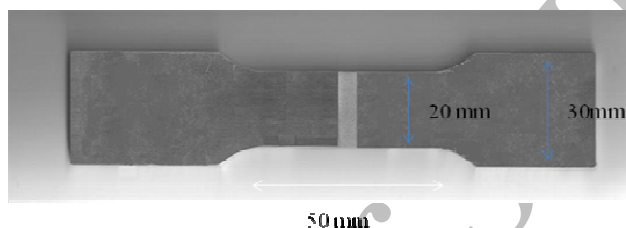
عملیات جوشکاری توسط دستگاه جوشکاری TIG اتوماتیک FPA2003 ساخت شرکت فرانوس کشور اتریش با استفاده از موج متناوب متعادل AC در شرکت هواپیما سازی هسا انجام گردید. جوشکاری در دو پاس بدون سیم جوش و با سیم جوش انجام شد. جریان شروع برابر با 190 A ، ولتاژ جوشکاری برابر با 14 V ، سرعت تزریق سیم جوش در پاس دوم برابر با 140 cm/min و سرعت جوشکاری برابر با 9 cm/min در نظر گرفته شد. همچنین فرکانس برابر با $1/5\text{ HZ}$ در نظر گرفته شد. شدت جریان پیک از 80 تا 300 آمپر تغییر کرد.

در این تحقیق ابتدا پارامترهای شدت جریان، سرعت جوشکاری، فرکانس و سرعت تزریق سیم پرکننده تغییر داده شدند و با توجه به اطلاعات مقالات مروری بقیه پارامترها از جمله زمان شدت جریان بالایی، زمان شدت جریان پایینی و شدت جریان شروع در شرایط یکسان انجام شد.

سپس به منظور مشخص نمودن سلامت جوش از دو جنبه آخال‌های تنگستنی و نفوذ پاس جوش، بازرسی‌های غیر مخرب چشمی جهت بررسی بعد گرده و ریشه جوش،

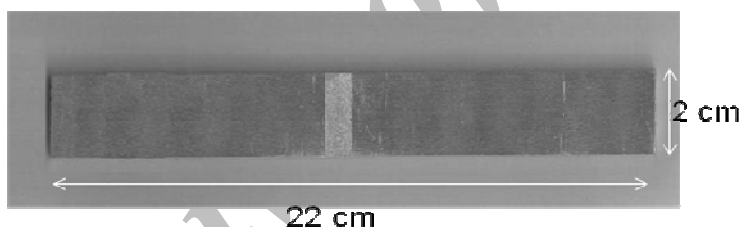
شکل ۳ شمایی از نمونه آزمون خمش و نحوه برش آن از جوش و ابعاد می‌باشد که بر اساس استاندارد 50121 Part 1 DIN آماده شدند (ابعاد بر حسب میلی‌متر می‌باشد). این آزمون خمش ساده می‌باشد که به کمک آن زاویه‌ای که نمونه‌ها شکسته شده و همچنین میزان نیروی اعمالی و جابجایی پانچ تا جایی که نمونه‌ها منجر به شکست شوند، ثبت می‌شود.

آزمون کشش به کمک دستگاه کشش Universal انجام شد. شکل ۲ یک نمونه آزمون کشش و نحوه برش نمونه‌های کشش از جوش را نشان می‌دهد (ابعاد نمونه‌ها بر حسب mm بر روی آن مشخص شده است). کلیه نمونه‌های آزمون کشش بر حسب استاندارد 50120 Part 2 DIN آماده شدند. نمونه‌ها بوسیله سنگ مغناطیسی سنگ زنی شده و در حدود ۰/۲ میلی‌متر از رو و زیر جوش‌ها برداشته شد.



شکل ۲- نمونه آزمون کشش

Fig. 2. Tension test specimen



شکل ۳- نمونه آزمون خمش

Fig. 2. Bending test specimen

ناقص مشاهده شد و در جریان‌های بیشتر از A ۲۶۰ آخال تنگستنی ناشی از داغ شدن الکتروود و یا undercut دیده شد. شدت جریان بالایی برابر با مقادیر ۲۶۰-۲۴۰-۲۲۰-۲۰۰ آمپر و شدت جریان زمینه برابر با مقادیر ۱۳۰-۱۲۰-۱۱۰-۱۰۰ آمپر تغییر کرد. نتایج بازرسی چشمی و فلورسکوپی نشان داد نمونه‌های با این محدوده جریان دارای نفوذ یکنواختی بودند و عدم نقاط تمرکز تنش وجود

۳- نتایج و بحث

با بررسی پایداری قوس و پروفیل مقطع طولی جوش، محدوده پارامترهای فرکانس، سرعت جوشکاری، سرعت تزریق سیم، طبق جدول ۲ تعیین گردید. همچنین محدوده جریان مناسب بین A ۲۶۰-۲۰۰ انتخاب گردید و الکتروود مناسب با قطر ۳/۲ میلی‌متر انتخاب شد. چون در جریان‌های کمتر از A ۲۰۰ عدم پایداری قوس، عدم نفوذ یا ذوب

جدول ۲- پارامترهای نهایی

Table 2. Final parameters

Weld Code	Current, A	Ferequency, Hz	Welding speed, cm/min	Filler feed speed, cm/min
V1	260	2	9	120
V2	240	2	9	120
V3	220	2	9	120
V4	200	2	9	120

جدول ۳- نتایج حاصل از تغییر شدت جریان بر پروفیل جوش

Table 3. Effect of peak current on weld profile

Weld Code	Weld reinforcement (h/w)	Weld root (h/w)	Number of bands	Dilution %*	Weld quality
V1	0.16	0.13	4	45	A
V2	0.13	0.10	4	42	A
V3	0.11	0.07	4	39	A
V4	0.08	-	4	26	C

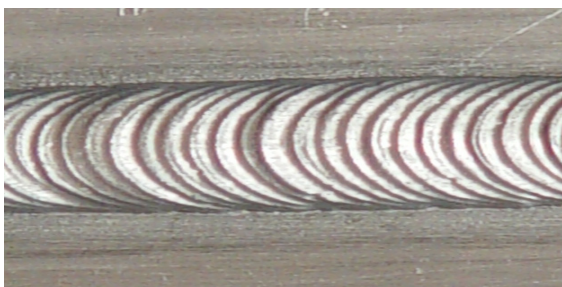
(A) Good (B) Acceptable (C) Low (D) Lack of penetration

*روش محاسبه درصد رقت برابر $100 \times \frac{B}{B+FM}$ است که B = ذوب دو فلز پایه و FM = گرده و ریشه جوش می‌باشند.

بعد گرده و ریشه جوش با استفاده از کمبریج گیج و کولیس اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. نفوذ جوش با استفاده از آزمایش مایعات نافذ بررسی گردید که نتایج آن به صورت کیفی در جدول ۳ نشان داده شده است. شکل ۴ تصویری از شکل جوش نهایی را نشان می‌دهد.

شکل ۵ سطح مقطع جوش‌ها را بعد از ماکروچ نشان می‌دهد که نتایج حاصل از این آزمون تایید کننده نتایج سایر آزمون‌های غیر مخرب می‌باشد. با توجه شکل ۵a پهنای منطقه HAZ نمونه‌ها با افزایش شدت جریان زیاد شده است. پهنای منطقه HAZ این جوشکاری در حد ۱ تا ۲ میلیمتر می‌باشد. این منطقه با افزایش شدت جریان تحت تاثیر حرارت بیشتری قرار گرفته و پهنای آن افزایش می‌یابد. در شکل ۵b نوارهای جوش نمونه‌ها مشخص می‌باشد و مشاهده می‌شود که در شدت جریان‌های متفاوت تعداد

داشت که شکل سطح مقطع آنها در شکل ۴ نشان داده شده است. اما در نمونه‌های با جریان A ۲۰۰ نفوذ ناقص داشت که این به دلیل کاهش جریان می‌باشد. همچنین پهنای منطقه HAZ نمونه‌ها با کاهش شدت جریان کم شده است. نتایج حاصل از آزمایشات فلورسکوپی وجود آخال‌های تنگستن در اتصالات جوشی که با الکتروود غیر مصرفی تنگستی خالص انجام شده است را نشان می‌دهد و در اتصالات جوشی با الکتروود غیر مصرفی تنگستی حاوی ۲٪ اکسید زیرکونیوم عدم آخال‌های تنگستی در کلیه محدوده‌های شدت جریان استفاده شده مشاهده می‌گردد که این مسئله می‌تواند به واسطه قابلیت بالای انتشار الکترون‌ها، مقاومت کمتر و نهایتاً داغ نشدن این گونه الکتروودهای تنگستی باشد. همچنین عدم وجود مک، آخال و ناخالصی مشاهده شد.

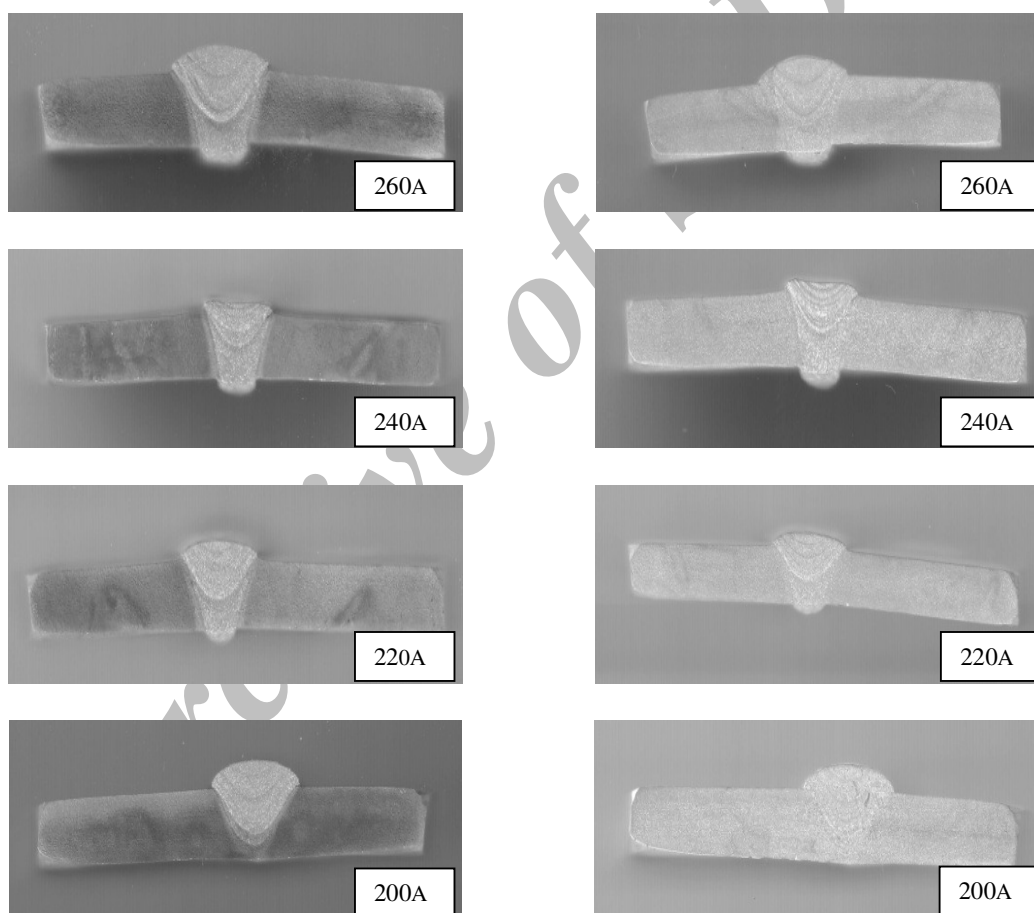


شکل ۴- تصویری از جوش نهایی

Fig. 4. Final weld photo

نوارهای جوش یکسان است. بنابراین شدت جریان تاثیری بر تعداد نوارهای جوش ندارد.

با توجه به نمونه‌های A ۲۰۰ در شکل ۵، عدم نفوذ در این نمونه‌ها مشخص است. بنابراین وقتی جریان کمتر از A ۲۰۰ باشد، ذوب کامل منطقه مورد نظر اتفاق نمی‌افتد. همینطور وقتی پیک جریان بالاتر از A ۲۶۰ شود پاشش دانه‌های جوش و نیز Under Cut خواهیم داشت.



a) Cross section showing HAZ

b) Cross section showing bands

شکل ۵- سطح مقطع نمونه‌ها (a) نمایش HAZ، (b) نمایش نوارها

Fig. 5. Specimens cross section

افزایش حرارت ورودی بر واحد طول جوش، وسعت HAZ افزایش می‌یابد. به این ترتیب افت استحکام را داریم. گرمای ناشی از پاسهای اولیه باعث بهبود شیب حرارتی در حین انجماد پاسهای ثانویه شده و از این طریق ضمن جلوگیری از ساختار ستونی نامطلوب (دندریته‌های کشیده و دراز) به جای آن ساختار هم محور ریز ایجاد می‌کند. بنابراین کاهش شدت جریان و کاهش گرمای ورودی باعث می‌شود که دانه‌ها در حین انجماد کمتر اجازه رشد پیدا کنند و ساختار نهایی جوش ناشی از انجماد در منطقه جوش به سمت ریز شدن دندریته‌ها رود. اما در منطقه تحت تاثیر حرارت بدلیل افزایش درجه حرارت و افزایش گرادیان حرارتی دندریته‌ها زمان بیشتری را برای رشد داشته و در نهایت منجر به رشد دانه‌ها در این منطقه در حین انجماد می‌شوند.

۳-۴- نتایج آزمون کشش

در حین آزمون کشش، همه نمونه‌های جوشی از منطقه جوش شکستند. در کلیه نمونه‌ها شکست به صورت مورب و با زاویه‌ای در حدود ۴۵ درجه رخ داد. بنابراین استحکام کششی نهایی نشان داده شده در جدول ۴، استحکام کشش نهایی فلز جوش به نظر می‌رسد. در این جوشکاری هرگاه سایر پارامترهای جوشکاری از جمله سرعت جوشکاری و ولتاژ برای همه نمونه‌ها ثابت باشد، با کاهش شدت جریان، گرمای ورودی به قطعه کاهش می‌یابد. پس با افزایش شدت جریان و در نتیجه افزایش گرمای ورودی، افزایش منطقه تحت تاثیر حرارت را خواهیم داشت. جوش‌های پالسی به دلیل کاهش گرمای ورودی دارای ریزساختار ریزتری نسبت به غیرپالسی می‌باشند. بنابراین ازدیاد شدت جریان باعث کاهش استحکام کششی و استحکام تسلیم نمونه‌ها می‌شود.

۳-۱- اثر تغییر شدت جریان بر میزان درصد رقت

جدول ۳ نشان می‌دهد که با کاهش جریان درصد رقت کاهش می‌یابد. چون با کاهش جریان با نفوذ کمتری روبرو هستیم، بنابراین میزان درصد رقت کاهش می‌یابد. درجه رقت عبارت است از نسبت فلز ذوب شده از قطعه کار به کل فلز جوش (فلز ذوب شده قطعه کار + فلز رسوب داده شده از الکتروود).

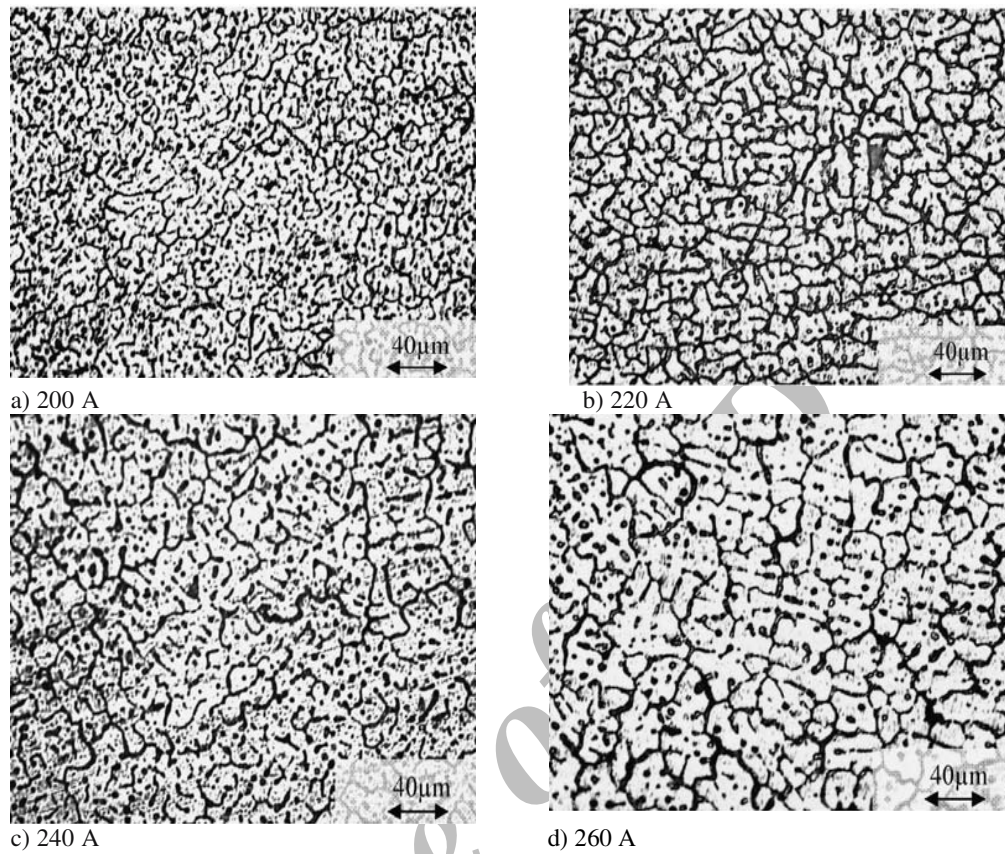
۳-۲- اثر تغییر شدت جریان بر پروفیل جوش

با توجه به جدول ۳ با کاهش جریان بعد گرده و ریشه جوش کاهش می‌یابد. چون با کاهش جریان با نفوذ کمتری روبرو هستیم. بنابراین با توجه نتایج جدول ۳، کلیه نمونه‌ها غیر از نمونه‌های ۲۰۰ آمپر از لحاظ کیفیت جوش بر اساس آزمونهای غیر مخرب مورد قبول واقع شد.

۳-۳- شدت جریان و ریز ساختار

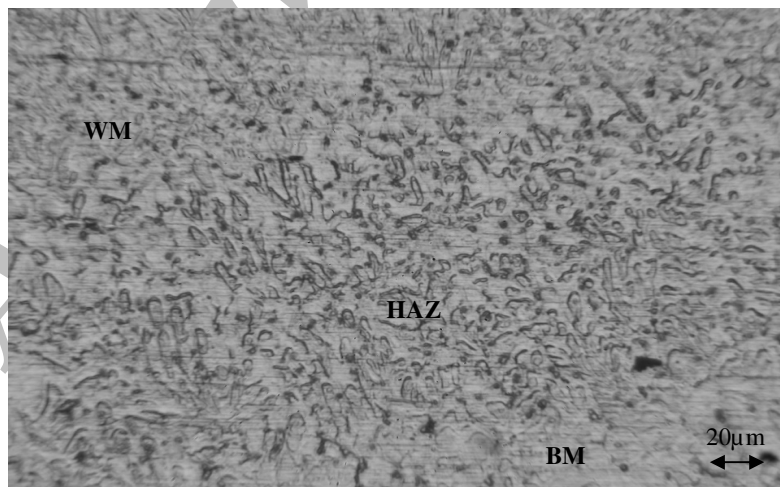
نتایج نشان می‌دهد که شدت جریان در اندازه دانه فلز جوش مؤثر است و تاثیر آن بر ریزساختار در شکل ۶ نشان داده شده است. با افزایش جریان پیک، اندازه دانه‌های مناطق جوش و HAZ افزایش می‌یابد. همچنین اندازه دانه‌های AI در فلز جوش (WM) نسبت به فلز پایه (BM) و منطقه تحت تاثیر حرارت و مرز ذوب (FL) ریزتر هستند. شکل ۷ رشد دندریته‌ها و درشت‌دانگی منطقه HAZ را بین فلز پایه و فلز جوش نشان می‌دهد.

در زمان شدت جریان بالایی (جریان پیک) حرارت ورودی بیشتری به قطعه اعمال می‌شود. زمانیکه سطح جریان به حد پایینی خود (جریان زمینه) می‌رسد، زمان سرد شدن قطعه طولانی‌تر شده و دانه‌ها اجازه رشد می‌یابند. از طرفی با



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ نوری نشان دهنده تأثیر جریان روی ریزساختار فلز جوش

Fig. 6. Optical micrographs showing the effect of peak current on microstructure



شکل ۷- تصویر میکروسکوپ نوری نشان دهنده درشت‌دانگی منطقه HAZ

Fig. 7. optical micrograph showing coarse dendrite in HAZ Region

جدول ۴- تغییر خواص کششی با تغییر درصد شدت جریان

Table 4. Effect of peak current on Tension properties

Fracture path		Fracture position	Reduction area%	Elongation %	Yield stress (0.2%) Mpa	Ultimate stress Mpa	Current A
End	Start						
2 mm from weld center	Weld center	HAZ	6.4	6.53	191	224.12	V1=260
2 mm from weld center	Weld center	HAZ	8.8	7.9	208	250.04	V2=240
2 mm from weld center	Weld center	HAZ	15.8	8.88	232	271.63	V3=220
2 mm from weld center	Weld center	HAZ	24.17	13	251	286.37	V4 =200
-	-	-	-	14.7	285	330.14	BM

۳-۵- نتایج آزمون خمش

درجه برابر فلز پایه می‌باشند. بنابراین تغییر محسوسی در زاویه خمش نمونه‌ها دیده نشد. همچنین با توجه به جدول ۵ که میزان جابجایی در آزمون خمش فلز پایه و جوش‌ها تا حداکثر جابجایی ۴۰ میلیمتری مقایسه شده است، میزان جابجایی در کلیه نمونه‌ها تقریباً برابر بوده و برابر با فلز پایه می‌باشد.

با توجه به این روند نتایج حاصل از آزمون خمش و کشش مشابه بوده، به طوری که ازدیاد طول در آزمون کشش و نتایج حاصل از آزمون خمش می‌تواند به عنوان معیاری برای شکل پذیری این نوع جوشکاری مورد استفاده قرار گیرد. همچنین هیچ گونه ترکی در نمونه‌ها بعد از آزمون خمش مشاهده نشد.

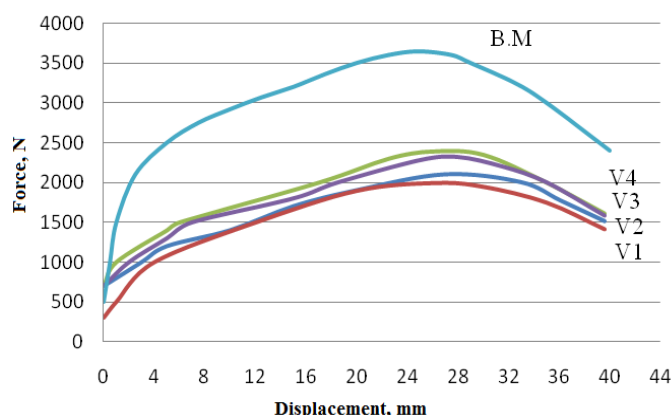
۳-۶- نتایج آزمون سختی سنجی

در شکل ۹ نتایج حاصل از سختی جوش‌های نهایی با یکدیگر مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، سختی مناطق HAZ از همه مناطق کمتر است. همچنین با افزایش شدت جریان سختی کلیه مناطق کاهش یافته است.

در این آزمون نیرو از طرف سطح جوش اعمال شده است. در شکل ۸ منحنی‌های نیرو - جابجایی فلز پایه و اتصالات جوشی در شرایط اعمال نیرو از طرف سطح جوش مقایسه شده است.

با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که همه منحنی‌ها از نظر جابجایی مشابه به فلز پایه می‌باشند. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که قابلیت بارگیری تمام اتصالات جوشی در جابجایی‌های مختلف نسبت به فلز پایه کمتر است و اتصالات جوشی به ترتیب ریزدانگی بیشتر، قابلیت تحمل بار بیشتری را دارند. بنابراین نمونه V4 دارای تحمل بار بیشتری به دلیل ریزدانگی و استحکام بیشتر بوده و نمونه V1 کمترین تحمل را دارد. این افزایش قابلیت بارگیری در جابجایی تقریباً ۲۷ میلیمتری در نمونه‌ها به وجود می‌آید.

با توجه به جدول ۵ که زاویه خمش فلز پایه و اتصالات جوشی در حداکثر زاویه خمش مقایسه شده است، زاویه خمش در فلز پایه ۱۳۳ درجه بوده است و در کلیه جوش‌ها، بین ۱۳۱ تا ۱۳۵ درجه بوده که میانگین آن تقریباً همان ۱۳۳



شکل ۸- منحنی‌های نیرو-جابجایی آزمون خمش

Fig. 8. Bending tests curves

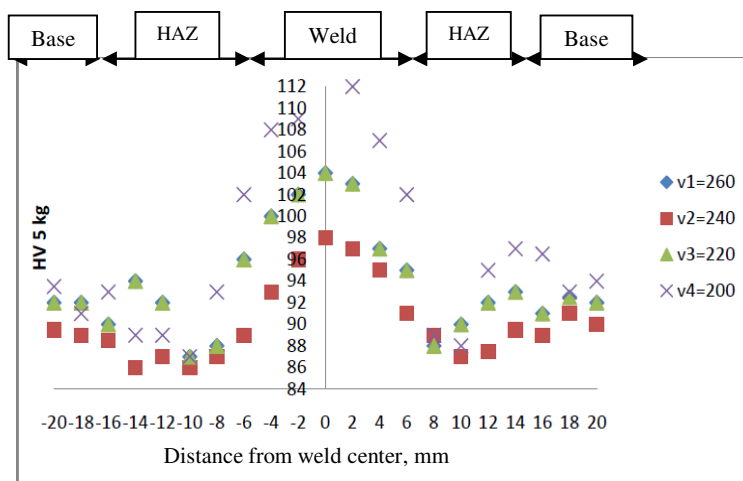
جدول ۵- نتایج آزمون خمش بر روی نمونه‌های جوشکاری شده با شدت جریانهای مختلف

Table 4. Effect of peak current on Bending properties

Current A	Bending face	Angle (°)	Maximum displacement (mm)	Maximum force (N)	Minimum displacement (mm)
V1=260	Face	131	26.10	1772	39.59
	Root	133	24.56	1846	39.58
V2=240	Face	131	26.14	1997	39.58
	Root	135	27.30	2334	39.59
V3=220	Face	132	25.90	2319	39.58
	Root	134	27.17	2354	39.29
V4=200	Face	133	27.98	2392	39.58
	Root	132	28.43	2718	39.58
Base	-	133	24.59	3602	35.99

بی‌مربوط به استحکام نیست، ریزساختار ریز مربوط به ناحیه جوش دلیلی بر بیشتر بودن سختی این منطقه است. همچنین با توجه به نتایج حاصل از آزمون سختی مشخص می‌شود که شکست متمایل به سمت منطقه HAZ که دارای پایین‌ترین سختی است، می‌باشد.

سختی پایین مناطق HAZ بواسطه وجود دندریتهای درشت و کمبود استحکام در این منطقه می‌باشد. منطقه HAZ در نزدیکی منطقه جوش دارای سختی نسبی بیشتری است اما همچنان از فلز پایه کمتر است که بدلیل تبلور مجدد در این منطقه می‌باشد. از آنجایی که سختی



شکل ۹- پروفیل سختی سنجی در فلز جوش - HAZ - فلز پایه

Fig. 9. Hardness profile of WM, BM and HAZ regions

به طوری که شکست در منطقه‌ای رخ داده که دارای

پایین‌ترین منطقه سختی است.

(۴) خواص خمشی نمونه‌ها نشان‌دهنده خواص شکل پذیری بالایی بودند و هیچ گونه ترکی در نمونه‌ها بعد از خمش مشاهده نشد. اتصالات جوشی به ترتیب ریزدانه‌گی بیشتر، قابلیت تحمل بار بیشتری را داشتند.

(۵) در نتیجه مطابقت بین خواص مکانیکی و پروفیل جوش، بین ۲۴۰ و ۲۲۰ آمپر بهترین شدت جریان برای جوشکاری تیگ پالسی ورق آلومینیوم ۵۰۸۳ با ضخامت ۵ میلیمتر می‌باشد.

پی‌نوشت:

1- Fusion Line

مراجع

[1] Richard D. Campbell, "Welding, Brazing and Soldering", ASM Handbook, Vol.6, Gas Tungsten Arc Welding, The ASM Handbook Committee, ASM International, 10th edition, 1997, 190-195.

۴- نتیجه گیری

(۱) با افزایش جریان پیک، اندازه دانه‌های مناطق جوش و منطقه تحت تاثیر حرارت افزایش می‌یابد. همچنین اندازه دانه‌های آلومینیوم در فلز جوش نسبت به مناطق دیگر ریزتر هستند. ازدیاد شدت جریان باعث کاهش استحکام کششی و تسلیم نمونه‌ها شد. پهنای منطقه تحت تاثیر حرارت نمونه‌ها با افزایش شدت جریان زیاد شده است. همچنین افزایش شدت جریان باعث افزایش نفوذ می‌شود.

(۲) با افزایش شدت جریان، سختی مناطق مختلف نمونه‌ها کاهش یافته اما سختی منطقه تحت تاثیر حرارت همه نمونه‌ها از بقیه مناطق بدلیل تبلور مجدد و رشد دانه در آن، کمتر است. بیشترین میزان سختی در مرکز جوش رخ داد.

(۳) در آزمون کشش، شکست در کلیه نمونه‌ها در منطقه جوش و متمایل به منطقه تحت تاثیر حرارت اتفاق افتاد

Engineering and Performance, Vol. 43, 2008, 345-356.

[9] Cary H.B., "Modern Arc Welding Technology", Oxford & IBH Publishing Co, London, 1998.

[10] Manti R., Dwivedi D.K., Agarwal A., "Microstructure and hardness of Al-Mg-Si weldments produced by pulse GTA welding". *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 36, 2008, 263-269.

[11] Tseng K.H., "The Effect of pulsed GTA Welding on The Residual Stress of Stainless Steel Weldment", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 123, 2002, 346.

[12] Zhou C., Yang X., Luan G., "Investigation of microstructures and fatigue properties of pulse TIG welded Al-Mg alloy", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 98, 2006, 285-290.

[13] Gourd, L..M, "Principles of Welding Technology", Prentice-Hall, New York, 1995.

[14] Praveen P., Yarlagadda P.K.D.V., "Meeting Challenges in Welding of Aluminum Alloys through Pulse Gas Metal Arc Welding", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 164, 2005, 1106.

[2] Kumar A., Sundarrajan S., "Optimization of Pulsed TIG Welding Process Parameters on Mechanical Properties of AA 5456 Aluminum Alloy Weldments", *Journal of Materials and Science*, Vol. 43, 2008, 8-16.

[3] Skatesas.j.nikoaou. "Microstructural changes accompanying repair welding in 5xxx aluminium alloys and their effect on the mechanical properties", *Materials and Design*, Vol. 27, 2006, 968-975.

[4] Rager D.D., "Welding Handbook", American Welding Society Inc, USA, 1997.

[5] Needham J. C., "Pulsed Current Tungsten Arc Welding – an introduction to the process", *Pulsed TIG-Welding Seminar*, UK, 1998, 1-6.

[6] Kumar T.S., Balasubramanian V., Sanavullah M. Y., "Influences of Pulsed Current Tungsten Inert Gas Welding Parameters on the Tensile Properties of AA6061 Aluminum Alloy", *Materials and Design*, Vol. 44, 2006, 8.

[7] Palani P.K., Murugan N., "Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 172, 2006, 1-10.

[8] Manti R., Wivedi D.KD, "Pulse TIG Welding of Two Al-Mg-Si Alloys", *Journal of Materials*