

# بررسی تأثیر دمای پیشگرم بر ریزساختار آلیاژ Al-5083 در جوشکاری به روش GMAW

رامین صابری<sup>۱\*</sup>، ابراهیم حشمت دهکردی<sup>۲</sup> و علیرضا خدابنده<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر (مجتمع علوم و فناوری زیر دریا)، شاهین شهر، ایران

۲- دکتری، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

۳- دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

\* [saberiramin9@yahoo.com](mailto:saberiramin9@yahoo.com)

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۸/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۱۵)

## چکیده

در میان آلیاژهای آلومینیم-منیزیم، آلیاژ ۵۰۸۳ به دلیل خواص مکانیکی بالا، جوش‌پذیری خوب و مقاومت به خوردگی بالا در آب دریا به طور وسیعی در ساخت تجهیزات و شناورهای دریایی به کار رفته است. یکی از روش‌های متداول جوشکاری این آلیاژ که برای ضخامت‌های بالا کاربرد بیشتری دارد روش جوشکاری GMAW می‌باشد. در هنگام جوشکاری این آلیاژ به منظور حذف رطوبت‌های سطحی و جلوگیری از تخلخل، ذوب ناقص و همچنین کاهش احتمال پیچیدگی به پیشگرم‌نیاز است. در این بررسی آلیاژ Al-5083 H<sub>321</sub> توسط روش جوشکاری GMAW و با فلز پرکننده ER 5183 در شش دمای پیشگرم مختلف جوشکاری گردیدند. سپس به منظور بررسی ریزساختار این آلیاژ از آزمون‌های متالوگرافی ماکرو و میکرو و همچنین میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به EDS استفاده گردید و تأثیر تغییرات دمای پیشگرم بر اندازه دانه، رسوبات و منطقه متأثر از حرارت، در این آلیاژ مورد بررسی قرار گرفت. نهایتاً سه نوع رسوب Al-Mg، Al-Mg-Si و Al-Fe-Mn در این آلیاژ مشاهده شد که با افزایش دمای پیشگرم مقدار رسوبات و اندازه دانه و پهنای منطقه HAZ افزایش یافت.

## واژه‌های کلیدی:

آلومینیم ۵۰۸۳، ریزساختار، تغییرات دمای پیشگرم، GMAW، رسوبات Al-Mg و Al-Mg-Si و Al-Fe-Mn

## ۱- مقدمه

آلیاژ دوتایی آلومینیم - منیزیم پایه آلیاژهای عملیات حرارتی ناپذیر سری 5xxx را تشکیل می‌دهند. اگر چه منیزیم حلالیت چشمگیری در آلومینیم دارد (۱۴/۹٪ در ۴۵۱ °C) و حلالیت با کاهش دما به شدت کاهش می‌یابد، ولی آلیاژهای آلومینیم-منیزیم در درصد‌های کمتر از ۷٪ Mg رسوب سختی قابل

به دلیل اینکه آلیاژهای آلومینیم-منیزیم دارای ویژگی‌هایی چون خواص مکانیکی بالا، مقاومت به خوردگی مناسب، قابلیت شکل‌پذیری و انعطاف‌پذیری بالا و قابلیت جوشکاری خوب می‌باشند در صنایع مختلف کاربرد وسیعی پیدا کرده است که از آن جمله می‌توان به صنایع کشتی‌سازی، خودروسازی و

شکستن لایه های اکسیدی در جوشکاری آلومینیم در این روش از جریان مستقیم با الکتروود مثبت (DCEP) استفاده می گردد [۱]. در هنگام جوشکاری آلیاژ Al-5083 به منظور حذف رطوبت های سطحی و جلوگیری از تخلخل، ذوب ناقص و همچنین کاهش احتمال پیچیدگی انجام عملیات پیشگرم قبل از جوشکاری ضروری است. البته پیشگرم اضافی مزایای آن را از بین می برد. در این بررسی تغییرات دمای پیشگرم بر ریزساختار این آلیاژ Al-5083 در جوشکاری به روش GMAW بررسی می شود.

## ۲- مواد و روش انجام آزمایشات

### ۲-۱- مواد و آماده سازی نمونه ها

در این تحقیق از ورق های Al-5083 H321، به ابعاد 300mm×150mm×12mm و فلز پر کننده ER 5183 استفاده شد. به منظور تعیین ترکیب شیمیایی فلز پایه، آزمایش کوانتومتری مطابق با استاندارد ASTM E406-81 انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۱) نمایش داده شده است. همچنین در این جدول نتایج ترکیب شیمیایی فلز پایه و فلزپرکننده با توجه با استاندارد AWS آمده است [۴-۶].

سطح پلیت های جوشکاری توسط پارچه ای آغشته به استون از چربی و آلودگی ها تمیز شدند سپس مطابق با شکل (۱) توسط عملیات سنگ زنی و سوهان کاری آماده سازی گردیدند. برای جفت شدن و جلوگیری از پیچیدگی و همچنین سریع سرد شدن نمونه ها از فیکسچر و پشت بند مسی استفاده شد. طبق الزامات، محل جوش باید عاری از لایه های اکسیدی و آلودگی هایی چون روغن، گریس و... باشد به این منظور محل جوشکاری توسط برس سیمی از جنس فولاد زنگ نزن برس زده شد و برای جلوگیری از پیچیدگی و حذف رطوبت نمونه ها، محل جوشکاری توسط مشعل پیشگرم گردید. بعد از انجام

توجهی از خود نشان نمی دهند. با وجود این، منیزیم از طریق محلول جامد استحکام آلومینیم را به طور چشمگیری افزایش می دهد و موجب کار سختی قابل توجهی می شود [۱-۲]. از عناصر اصلی دیگر این آلیاژ می توان منگنز، سیلیسیم، کروم و تیتانیوم را نام برد. منگنز نیز مانند منیزیم با تشکیل محلول جامد باعث افزایش استحکام و انعطاف پذیری می شود و ترکیب شدن با منیزیم باعث رسوب سختی خواهد شد. کروم باعث افزایش مقاومت به خوردگی تنشی شده و نهایتاً تیتانیوم به عنوان ریزدانه کننده استفاده می گردد [۱].

در اغلب آلیاژهای این گروه، منیزیم به صورت محلول جامد است. با این وجود وقتی که مقدار منیزیم در آلیاژهای Al-Mg از ۳/۵٪ تجاوز کند رسوب  $Al_3Mg_2$  می تواند با عملیات حرارتی در دمای پائین و یا آرام سرد کردن آلیاژ از دمای بالا تشکیل شود. به عنوان مثال، آلیاژ ۵۰۸۶، که دارای ۴٪ منیزیم است، اگر پس از کار سرد در محدوده  $180^{\circ}C - 120^{\circ}C$  گرم شود شبکه پیوسته  $Al_3Mg_2$  بوجود می آید که این ساختمان نامطلوب آلیاژ را مستعد به خوردگی توام با تنش می کند. بنابراین در این گونه آلیاژها جهت آزاد کردن تنشهای داخلی، آلیاژ مورد نظر را در دمای بالای  $245^{\circ}C$  حرارت می دهند. توسط این فرایند، ذرات  $Al_3Mg_2$  رسوب کرده در مرز دانه ها بصورت ریز در زمینه فلزی ظاهر می شوند [۲].

از دیگر ذراتی که در این گروه آلیاژها تشکیل می شود، ذرات سیلیسیم-منیزیم ( $Mg_2Si$ ) می باشد. این ذرات در حضور منیزیم حلالیت کمتری دارند (دمای حلالیت این ذرات  $595^{\circ}C$  است). همچنین در این آلیاژ ترکیبات آهن دار نیز مشاهده می شود که دمای حلالیت آنها  $637^{\circ}C$  می باشد. همچنین قابل ذکر است دامنه انجماد این آلیاژ  $574^{\circ}C$  تا  $638^{\circ}C$  می باشد [۳-۷].

از روش های متداول جوشکاری اجزای آلومینیومی، روش GMAW می باشد. در این روش قوس بین الکتروود مصرف شدنی و قطعه کار ایجاد می شود که به منظور تمیزکاری قوس و

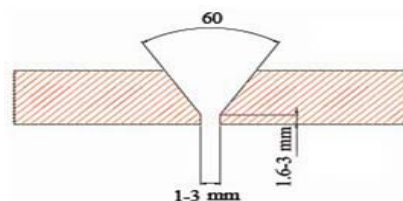
جدول (۱): ترکیب شیمیایی فلز پایه ۵۰۸۳ و فلز پرکننده ER۵۱۸۳ (درصد وزنی).

مرجع	alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others		Al
										Each	Totals	
AWS D3.7	۵۰۸۳	۰/۴	۰/۴	۰/۱۰	۰/۴-۱	۴-۴/۹	۰/۰۵-۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱۵	Remainder
AWS D5.10	ER۵۱۸۳	۰/۴	۰/۴	۰/۱۰	۰/۵-۱	۴/۳-۵/۲	۰/۰۵-۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱۵	Remainder
کواتومتری	۵۰۸۳	۰/۲۹	۰/۴	۰/۰۷	۰/۴۵	۴/۴۴	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴۵	۰/۰۰۵	Remainder

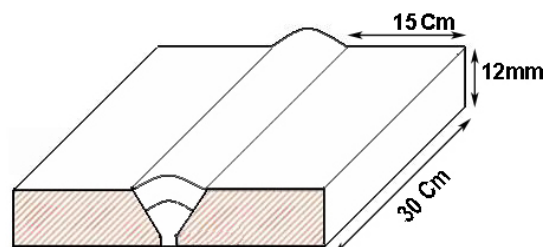
جدول (۲): پارامترهای جوشکاری Al-5083 به روش GMAW

جریان (A)	قطبیت	قطر فلز پرکننده (mm)
۱۸۰-۱۲۰	DCEP	۱/۲
تعداد پاس	ولتاژ (V)	نوع فلز پرکننده
۳	۲۲-۱۸	ER 5183
نوع گاز محافظ	وضعیت جوشکاری	مدت زمان پیشگرم (Min)
آرگون (۹۹/۸٪)	۳G	۵

پیشگرم نیز دوباره محل جوشکاری، به منظور تمیز کردن سطح از هیدروکربن ها و لایه های اکسیدی ناشی از شعله، برس زنی گردید. سپس جوشکاری مطابق با WPS با روش جوشکاری GMAW و توسط دستگاه KAMPPI 500 و عمود بر جهت نورد انجام گرفت.



الف) مشخصات محل اتصال



ب) ابعاد پلتهای جوشکاری  
شکل (۱): تصویر محل اتصال

### ۲-۳- بررسی های ریزساختاری

نمونه ها به منظور بررسی ساختار آماده سازی شدند. برای مطالعه میکروساختاری از محلول اچ (۴۸٪) HF استفاده گردید و برای مطالعه ریزساختاری از دو محلول استفاده شد. محلول اول 1ml H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 9ml H<sub>2</sub>O و دیگری محلول Keller's reagent (2ml (HF(48%), 3ml HCl, 5ml HNO<sub>3</sub>, 190ml H<sub>2</sub>O) که محلول اول بیشتر برای مشاهده رسوبات و اندازه دانه منطقه متاثر از حرارت و فلز پایه کاربرد دارد و محلول دوم برای مشاهده رسوبات و اندازه دانه در فلز جوش استفاده می شود [۷-۸].

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی نوع رسوبات

در این آلیاژ سه نوع رسوب می توان مشاهده کرد، رسوبات غنی از آهن (Al-Fe-Mn) که نمایانگر Al<sub>6</sub>(Fe-Mn) هستند گاهی علاوه بر Al، Mn، Fe مقداری Cr هم دیده می شود (Al(Fe-Mn-Cr))، رسوبات شامل سیلیسیم و منیزیم (Al-Si-Mg) که نشان دهنده رسوبات Mg<sub>2</sub>Si هستند و رسوبات غنی از منیزیم (Al-Mg) که نمایانگر Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> می باشند. در جدول به طور خلاصه نوع رسوبات و نحوه شناسایی آنها آورده شده است [۸-۱۰].

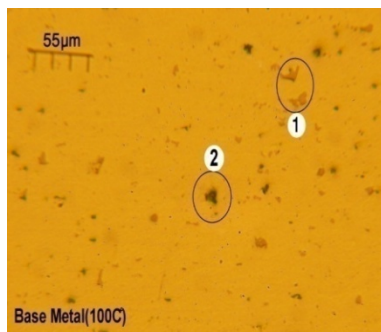
#### ۲-۲- عملیات جوشکاری

عملیات جوشکاری مطابق با پارامترهای جدول (۲) انجام گرفت و به منظور بررسی دمای پیشگرم در شش دما بررسی ها صورت پذیرفت. یک نمونه بدون پیشگرم با دمای محیط حدود ۲۰°C و سپس بقیه نمونه ها با دماهای پیشگرم ۵۰°C و ۱۰۰°C و ۱۵۰°C و ۲۰۰°C و ۲۵۰°C جوشکاری شدند. قابل ذکر است که تمامی شرایط برای جوشکاری به جز دمای پیشگرم ثابت بوده است.

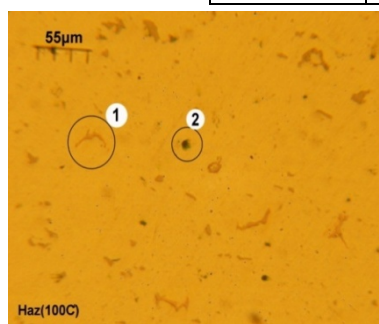
در شکل (۲) تصاویر ریزساختاری نمونه های پولیش شده بدون اچ برای دمای پیشگرم  $100^{\circ}\text{C}$  در میکروسکوپ نوری مشاهده می گردد. در این تصاویر رسوبات Al-Fe-Mn با رنگ روشن و با عدد ۱ و رسوبات Al-Mg-Si با رنگ تیره و با عدد ۲ و به صورت محدود مشخص هستند، اما رسوبات Al-Mg مشخص نیستند.

جدول (۳): نوع رسوبات و نحوه شناسایی آنها

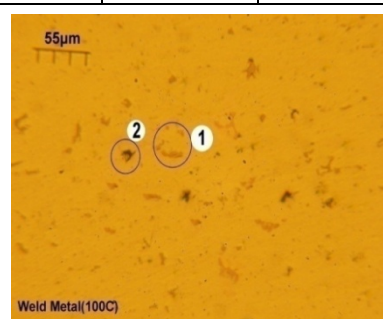
Al-Mg	Al-Si-Mg	Al-Fe-Mn Al-Fe-Mn-Cr	عناصر تشکیل دهنده رسوب
$\text{Al}_3\text{Mg}_2$	$\text{Mg}_2\text{Si}$	$\text{Al}_6(\text{Fe},\text{Mn})$ $\text{Al}(\text{Fe}-\text{Mn}-\text{Cr})$	نوع رسوب
۴۵۰	۶۳۵	۶۳۷	دمای حلالیت ( $^{\circ}\text{C}$ )
اچ شده	اچ شده	بدون اچ و با اچ	شرایط متالوگرافی
10% $\text{H}_3\text{PO}_4$ & keller	10% $\text{H}_3\text{PO}_4$ & keller	10% $\text{H}_3\text{PO}_4$	نوع محلول اچ
با اندازه های کوچک کروی و ریز و به رنگ خاکستری متمایل به مشکی اما روشن تر از $\text{Mg}_2\text{Si}$	به صورت میله ای یا کروی نسبتا بزرگ و رنگ آبی کیود متمایل به سیاه	به رنگ قهوه ای روشن متمایل به زرد تیره	مشخصه رسوب



الف: فلز پایه

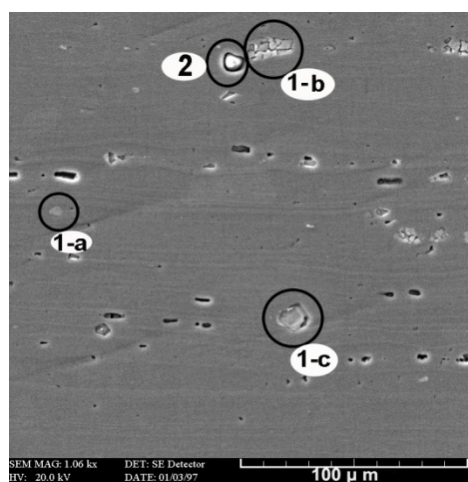


ب: منطقه متأثر از حرارت

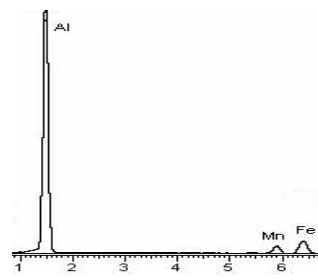


ج: فلز جوش

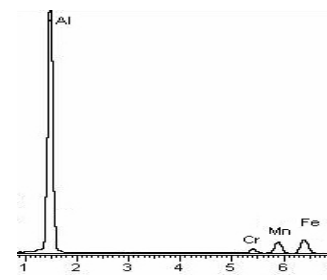
شکل (۲): تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه های بدون اچ از: الف- فلز پایه، ب HAZ و ج- فلز جوش (رسوب ۱: Al-Fe-Mn و رسوب ۲: Al-Mg-Si).



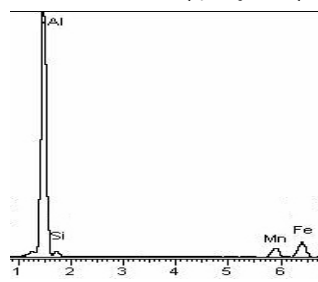
الف: تصویر میکروسکوپ الکترونی از فلز پایه با اچ

 $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ 

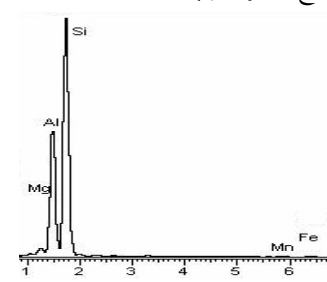
ب: آنالیز رسوب 1-a (Al-Fe-Mn)



ج: آنالیز رسوب 1-b (Al-Fe-Mn)



د: آنالیز رسوب 1-c (Al-Fe-Mn)

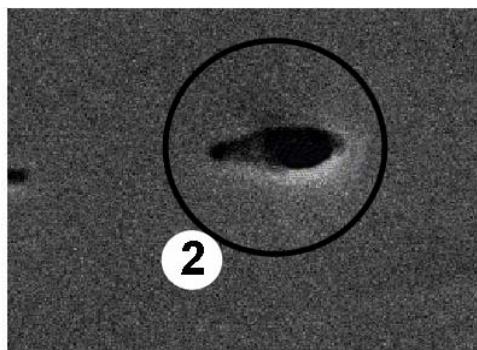


ه: آنالیز رسوب 2 (Al-Mg-Si)

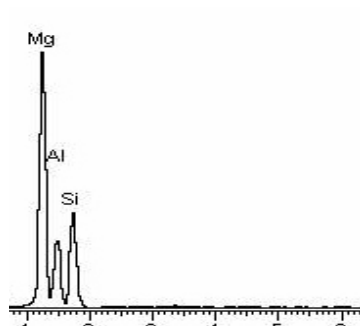
شکل (۳): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز رسوبات توسط EDS از نمونه های با اچ رقیق. الف: تصویر میکروسکوپی الکترونی از فلز پایه با اچ  $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ؛ ب: آنالیز رسوب 1-a (Al-Fe-Mn)، ج: آنالیز رسوب 1-b (Al-Fe-Mn)، د: آنالیز رسوب 1-c (Al-Fe-Mn) و ه: آنالیز رسوب 2 (Al-Mg-Si) (رسوب شماره ۱: (Al-Fe-Mn) و رسوب شماره ۲: (Al-Mg-Si))

تصاویر ملاحظه می شود رسوبات ۱ نشان دهنده رسوبات Al-Fe-Mn می باشند. رسوبات ۲ نشان دهنده رسوبات Al-Mg-Si می باشند و رسوبات Al-Mg با شماره ۳ مشخص شده اند. فلز پایه دارای زمینه محلول جامدی از منیزیم در آلومینیم خواهد بود. فلز پایه دارای رسوبات Al-Fe-Mn نسبتاً بزرگ و مکعبی شکل با رنگ روشن و همچنین رسوبات Al-Mg-Si با اندازه های کوچکتر و به صورت کروی مانند با رنگ تیره و رسوبات ریز Al-Mg با رنگ تیره اما روشن تر از Al-Mg-Si می باشد.

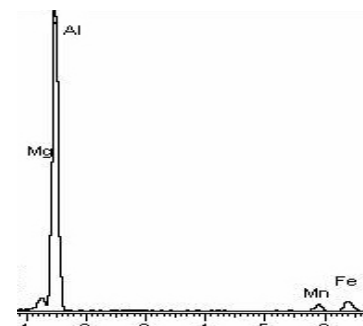
در شکل (۳) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه های با اچ رقیق، همراه با آنالیز رسوبات و در شکل (۴) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه های بدون اچ، همراه با آنالیز کیفی رسوبات توسط EDS آورده شده که نقطه ۱ رسوبات Al-Fe-Mn و نقطه ۲ رسوبات Al-Mg-Si را نشان می دهد. این بررسی ها برای دمای پیشگرم  $100^{\circ}\text{C}$  انجام گرفته است. شکل (۵) تصاویر میکروسکوپ نوری از نمونه های اچ شده را برای دمای پیشگرم  $100^{\circ}\text{C}$  نشان می دهد همان طور که در این



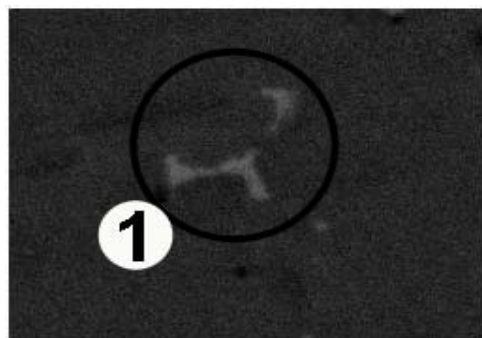
الف: تصویر میکروسکوپ الکترونی رسوب شماره ۲ از نمونه بدون اچ



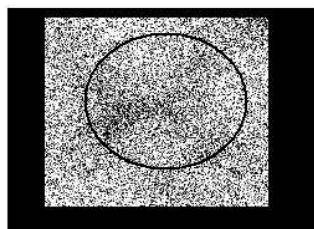
ج: آنالیز رسوب شماره ۲ (Al-Mg-Si)



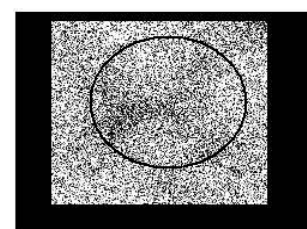
د: آنالیز رسوب شماره ۱ (Al-Fe-Mn)



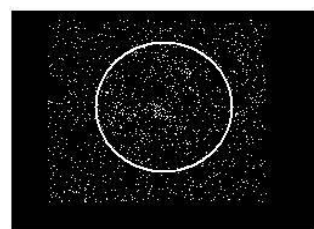
ب: تصویر میکروسکوپ الکترونی رسوب شماره ۱ از نمونه بدون اچ



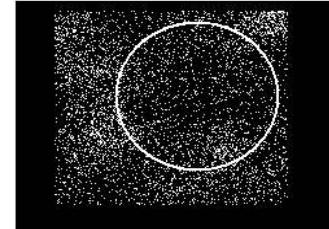
و: نقشه آنالیز عنصر Al مربوط به رسوب ۱



ه: نقشه آنالیز عنصر Fe مربوط به رسوب ۱

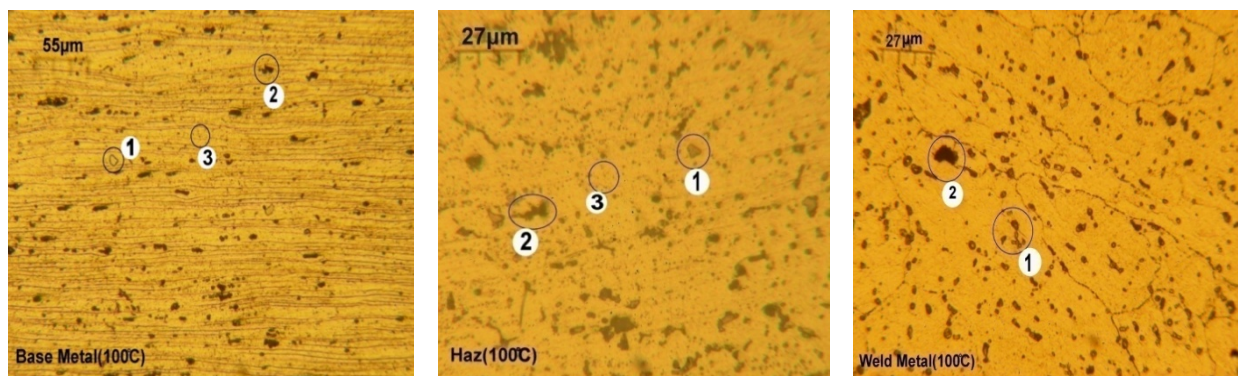


ز: نقشه آنالیز عنصر Mn مربوط به رسوب ۱



ح: نقشه آنالیز عنصر Mg مربوط به رسوب ۱

شکل (۴): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز ترکیبی رسوبات توسط EDS از نمونه های بدون اچ: (شماره ۱ رسوب (Al-Fe-Mn) و ۲ رسوب (Al-Mg-Si) می باشد). الف: تصویر میکروسکپی الکترونی رسوب شماره ۲ از نمونه بدون اچ، ب: تصویر میکروسکپی الکترونی رسوب شماره ۱ از نمونه بدون اچ، ج: آنالیز رسوب شماره ۲ (Al-Mg-Si)، د: آنالیز رسوب شماره ۱ (Al-Fe-Mn)، و: نقشه آنالیز عنصر Al مربوط به رسوب ۱ و ه: نقشه آنالیز عنصر Fe مربوط به رسوب ۱، ز: نقشه آنالیز عنصر Mn مربوط به رسوب ۱، ح: نقشه آنالیز عنصر Mg مربوط به رسوب ۱



الف: نمونه اچ شده با  $10\%H_3PO_4-90\%H_2O$  از فلز پایه  
 ب: نمونه اچ شده با  $10\%H_3PO_4-90\%H_2O$  از منطقه متأثر از حرارت  
 ج: نمونه اچ شده با Keller's reagent از فلز جوش

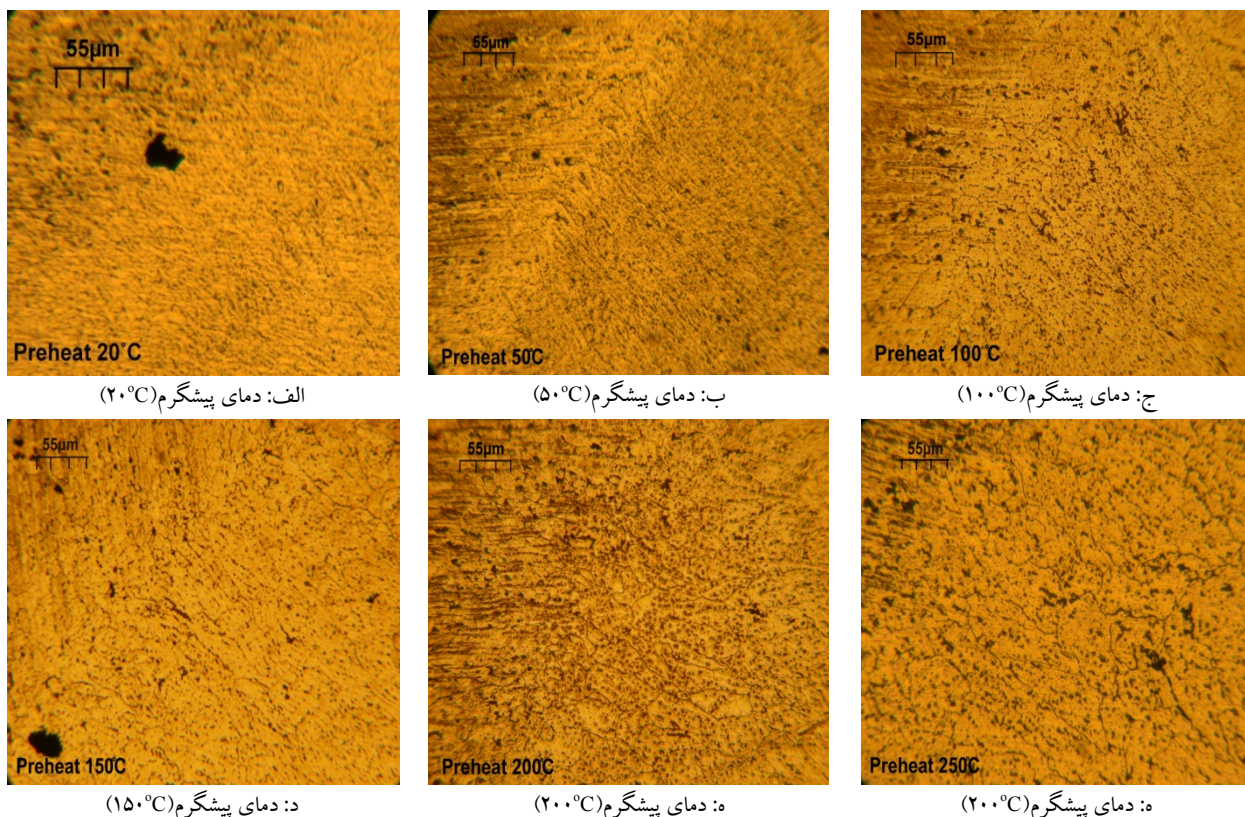
شکل (۵): تصاویر میکروسکوپ نوری از نمونه های اچ شده را نشان می دهد. (این بررسی از دمای پیشگرم  $100^\circ C$  بوده است.) الف: نمونه اچ شده با  $10\%H_3PO_4-90\%H_2O$  از فلز پایه، ب: نمونه اچ شده با  $10\%H_3PO_4-90\%H_2O$  از منطقه متأثر از حرارت و ج: نمونه اچ شده با Keller's reagent از فلز جوش (رسوب: Al-Fe-Mn و Al-Mg-Si و Al-Mg)؛

فاصله بین دندریتها یا سلول ها شده یا به عبارت دیگر درشت شدن دندریتهای هم محور و مرکزی را به دنبال دارد. همان طوری که در شکل (۶) دیده می شود، افزایش دمای پیشگرم موجب کاهش نرخ سرد شدن شده که باعث افزایش بازوهای دندریتی می گردد. این افزایش چه در جهت طول و چه در جهت عرض دندریت ها می باشد به طوری که از دمای پیشگرم  $150^\circ C$  به بالا کم کم دانه ها از حالت دندریتی ستونی خارج شده و به سمت دندریتی هم محور پیش می روند. با افزایش دمای پیشگرم تجمع رسوبات در مرز دندریتها نیز، افزایش می یابد به طوری که از دمای پیشگرم  $150^\circ C$  این رسوبات در مرز دندریتها شبکه ای پیوسته را ایجاد می کنند. نکته دیگر اینکه با افزایش دمای پیشگرم از  $150^\circ C$ ، تشکیل رسوبات Al-Mg در منطقه جوش افزایش می یابد.

در منطقه متأثر از حرارت (HAZ) نیز رسوبات Al-Fe-Mn و Al-Mg-Si و Al-Mg دیده می شود. زمانی که دما از  $250^\circ C$  افزایش می یابد مقداری از رسوبات Al-Mg حل می شوند. سرعت سرد شدن اگر در فلز جوش به حد کافی سریع باشد اجازه تشکیل به رسوبات Al-Mg داده نمی شود بنابراین در فلز جوش رسوبات Al-Mg-Si و Al-Fe-Mn دیده می شوند [۱]. مقدار و اندازه رسوبات Al-Mg-Si در فلز جوش بیشتر از HAZ و در HAZ بیشتر از فلز پایه است این رسوبات در فلز پایه به صورت کروی شکل هستند و هر چه به سمت جوش رفته، تمایل به تشکیل در مرزدانه ها افزایش می یابد. مقدار و اندازه رسوبات Al-Fe-Mn در HAZ بیشتر از فلز پایه و در فلز پایه بیشتر از فلز جوش است. مقدار رسوبات Al-Mg نیز در فلز پایه بیشتر از فلز جوش است اما از لحاظ اندازه در HAZ بزرگتر از فلز پایه می باشد.

### ۳-۲- تأثیر دمای پیشگرم بر دندریت های ستونی

با پیشگرم کردن نرخ سرد شدن کاهش می یابد و باعث افزایش

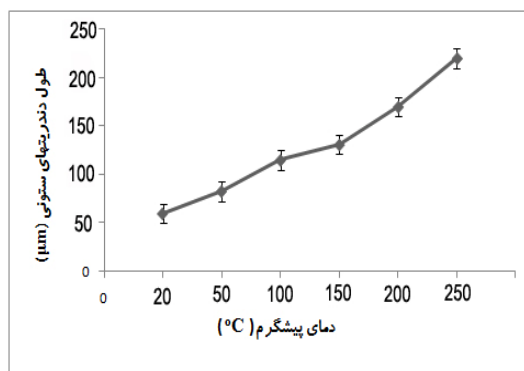


شکل (۶): تأثیر دمای پیشگرم بر دندریتهای ستونی، الف: دمای پیشگرم (۲۰°C)، ب: دمای پیشگرم (۵۰°C)، ج: دمای پیشگرم (۱۰۰°C)، د: دمای پیشگرم (۱۵۰°C)، ه: دمای پیشگرم (۲۰۰°C) و ه: دمای پیشگرم (۲۰۰°C)

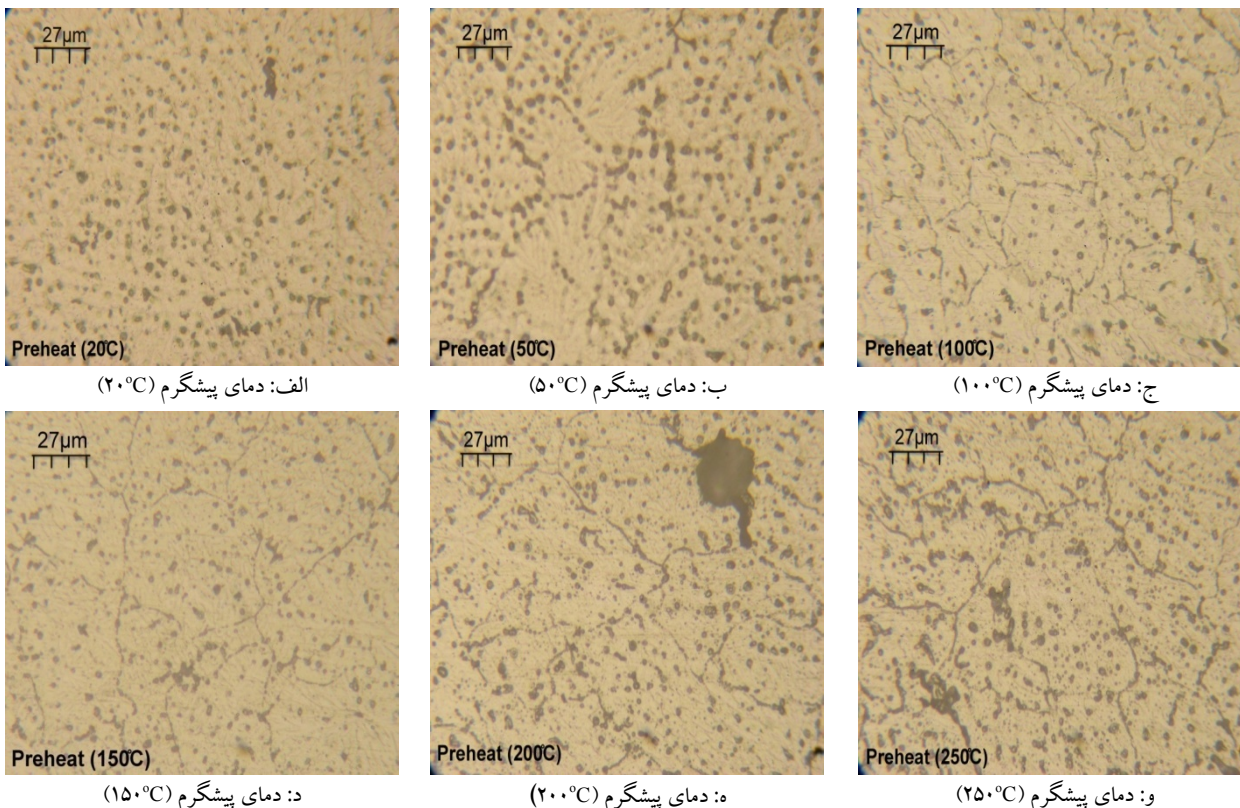
### ۳-۳- تأثیر دمای پیشگرم بر میزان رسوبات و اندازه دانه در فلز جوش

با افزایش دمای پیشگرم نرخ سرد شدن کاهش می یابد که باعث افزایش اندازه دانه و تبلور مجدد بیشتر در ناحیه HAZ می شود، با افزایش دمای پیشگرم رسوبات بیشتری در مرزدانه ها و نوارهای لغزش تجمع می کنند. تجمع رسوبات در مرز دانه ها موجب شده رسوباتی که پراکنده بودند، به صورت شبکه ای پیوسته در مرز دانه ها جمع شوند و زمینه از این فاز سخت تهی شود. خالی شدن زمینه از این فاز سخت و افزایش اندازه دانه در اثر کاهش نرخ سرد شدن می تواند تا حدی روی استحکام تأثیر گذار باشد [۱۱].

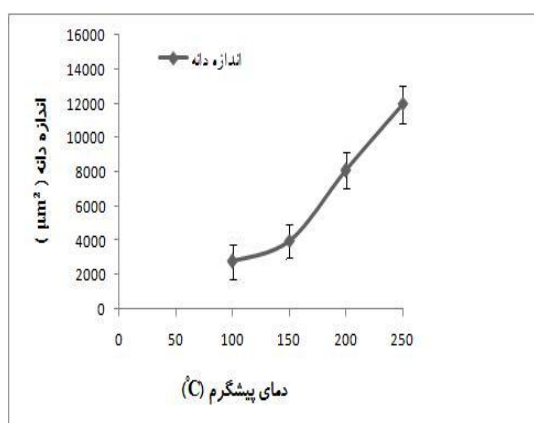
در شکل (۷) نمودار افزایش بازوهای دندریتی با توجه به افزایش دمای پیشگرم رسم شده است. اندازه دندریتها به طور تقریبی و فقط از جهت طولی محاسبه گردیده است.



شکل (۷): تأثیر دمای پیشگرم بر افزایش طول بازو دندریت های ستونی



شکل (۸): تأثیر دمای پیشگرم بر میزان رسوبات و اندازه دانه، الف: دمای پیشگرم (۲۰°C)، ب: دمای پیشگرم (۵۰°C)، ج: دمای پیشگرم (۱۰۰°C)، د: دمای پیشگرم (۱۵۰°C)، ه: دمای پیشگرم (۲۰۰°C)، و: دمای پیشگرم (۲۵۰°C)



شکل (۹): رابطه دمای پیشگرم بر اندازه دانه

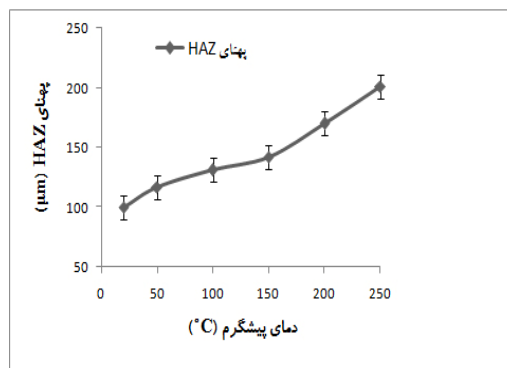
در شکل (۸) دیده می‌شود با افزایش دمای پیشگرم اندازه دانه‌ها و رسوبات و مقدار آنها افزایش یافته و موجب تجمع رسوبات در مرز دانه‌ها گردیده است. به طور کلی از دمای پیشگرم ۱۰۰°C مرز دانه‌ها به علت تجمع رسوبات در آنها شروع به ظاهر شدن می‌کنند و این مسئله برای دماهای پیشگرم بالاتر از ۱۰۰°C پررنگ‌تر است. نکته دیگری که مورد توجه است، رسوبات Al-Mg در دماهای پیشگرم پائین ظاهر نمی‌شوند اما از دمای پیشگرم ۱۵۰°C شروع به تشکیل می‌کنند به طوری که در دماهای پیشگرم ۲۰۰°C و ۲۵۰°C مقدار زیادی از این رسوبات در قسمت جوش به وجود می‌آید که این رسوبات مقاومت به خوردگی را به شدت کاهش می‌دهند [۱۲-۱۳].

با توجه به اندازه دانه‌ها در شکل (۸) و استاندارد ASTM E112، مقدار تقریبی اندازه دانه در شکل (۹) به صورت نمودار رسم شده است [۱۴].

در بررسی‌های میکروساختاری مشاهده می‌شود که با افزایش دمای پیشگرم، پهنای منطقه HAZ بزرگتر می‌گردد. در شکل (۱۰) نمودار پهنای منطقه HAZ برای دماهای پیشگرم مختلف رسم شده است.



- [4] American national Standards Institute ANSI AWS D3.7-90, "Guid for aluminum hull welding", pp. 5-8, October 27 1992
- [5] American national Standards Institute ANSI AWS A5.10-92, "Specification for bare aluminum and aluminum alloy welding electrodes and rods", pp. 2-5, February 28 1992
- [6] ASTM E406-81, "Standard practice for using controlled atmospheres in spectrochemical analysis, pp. 101-107, 2003
- [7] E. Gerri, E. Evangelista, "Metallography of aluminum alloy", John wiley ans sons inc, pp. 187-190, 1999
- [8] ASM Handbook, "Metallography and microstructures", vol. 9, pp. 354-356-359, 2003
- [9] A. Aballe, M. Bethencourt, F. J. Botana, M. Jcano, M. Marcos, "Localized alkaline corrosion of alloy AA 5083 in neutral 3.5% NaCl solution/ corrosion science", pp. 1659-1661, 2000
- [10] W. Mahonyey, "The effect of friction stir processing on 5083-H321-5356 Al arc weld: Microstructural weld: Microstructural and mechanical analysis, "Metallurgical and materials transation, pp. 3607-3609, 2006
- [11] S. katsas, J. Nikolaou, G. papadimiriou, "Mierstructural changes accompanying repair welding in 5xxx aluminium alloys and the effct on theMechanical properties", Material & Design, pp. 2341-2346, 2005
- [12] K. shanker, W. wu, "Effect of weding and weld repair on crack propagation behaviour in aluminium alloy 5083 plats", Material & Design, pp. 1513-1515, 2001
- [13] S. katsas, J. Nikolaow, G. papadimitriou, "Corrosion resistance of repair welded naval aluminium alloys", Material & Design, pp. 976-980, 2005
- [14] ASTM E 112-96/Standard test methods for determining average grain size/Editorially in May 2004



شکل (۱۰): بررسی میکروساختاری و پهنای منطقه HAZ

#### ۴- نتایج

- با افزایش دمای پیشگرم، اندازه دندریتهای ستونی و دندریتهای هم محور افزایش می یابند.
- در فلز جوش، رسوبات *Al-Mg-Si* و *Al-Fe-Mn* به وجود آمده و تمایل به تجمع در مرز دانه ها دارند. در فلز جوش رسوبات *Al-Mg* به دلیل سریع سرد شدن فرصت تشکیل نداشته و در فلز جوش مشاهده نمی شود. اما در دماهای پیشگرم بالا (۲۰۰ و ۲۵۰ درجه سانتیگراد) تشکیل می شوند.
- در منطقه متأثر از حرارت و فلز پایه، رسوبات *Al-Mg-Si* و *Al-Fe-Mn* تشکیل شده اند.
- با افزایش دمای پیشگرم و در پی آن افزایش حرارت ورودی، اندازه دانه و میزان رسوبات در منطقه جوش و منطقه متأثر از حرارت افزایش می یابند و رسوبات تمایل به تجمع در مرز دانه ها پیدا می کنند.

#### ۵- مراجع

- [1] G. Mather, "The welding of aluminium and its alloy", Published by CRC, 2000
- [۲] علی اکبر اکرامی، مرتضی سید رحمانی، "ساختار، خواص و کاربرد آلیاژهای مهندسی"، دانشگاه صنعتی شریف، ص ۱۸۷-۱۸۸، ۱۳۸۳
- [3] ASM Handbook, "Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials", Vol 2, pp. 363-368, 2003