

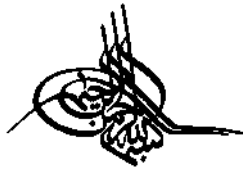
موشکاری

فصلنامه انجمن جوشکاری و آزمایش‌های غیرمخرب ایران
شماره ۱۱۱ - تابستان ۱۴۰۳



neysam.ghabagheri

مقام دوم بخش عکاسی دهمین مسابقه گرافیک و عکاسی صنعت جوش و بازرسی
جناب آقای مهندس میثم آقاباقری



انجمن جوشکاری و آزمایش‌های غیرمخرب ایران
موسسه مرجع ملی در زمینه تکنولوژی جوشکاری و
آزمایش‌های غیرمخرب در جمهوری اسلامی ایران

مدیر مسئول: مهندس عبدالوهاب ادب آوازه

زیر نظر شورای نویسندگان

مسئول اجرایی: کمیته انتشارات

مدیر اجرایی و گرافیک: دکتر نازیلا ادب آوازه

نشانی دبیرخانه انجمن:

اصفهان - خیابان شمس آبادی - ساختمان شمس -
طبقه 4- واحد 413

تلفن: 03132240325 فاکس: 03132231765

پست الکترونیک:

Email: info@iwnt.com

فصلنامه جوشکاری نشریه ای در زمینه موضوعات و
مسائل مرتبط با جوشکاری و آزمایش‌های غیرمخرب
است.

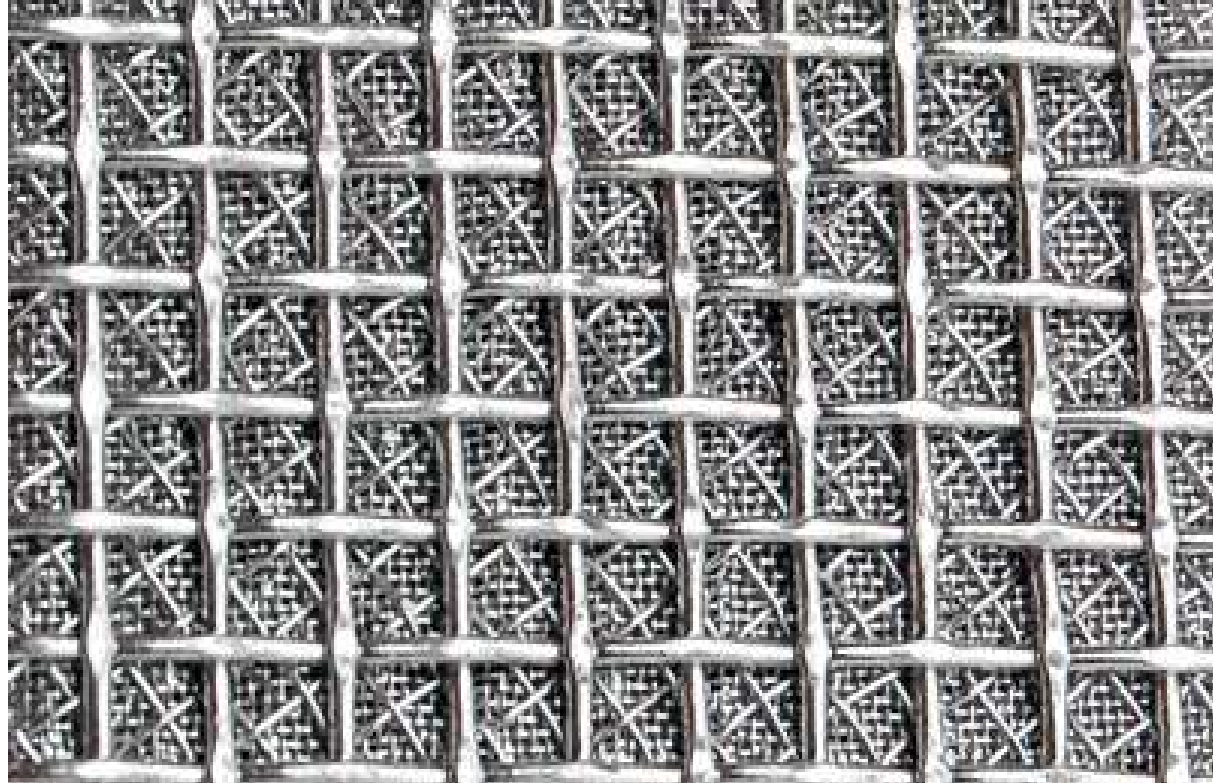
فصلنامه در ویرایش مقالات رسیده آزاد است

نقل نوشته ها با ذکر ماخذ بلامانع است.

- 1 بررسی ساختار میکروسکوپی ناحیه اتصال مش های سیمی سینتر شده تولید شده توسط فرایند جوشکاری فشاری سرد، بهنام دهقانزاده - حجت اله منصوری
- 5 نوسان در جوشکاری، مهندس عبدالوهاب ادب آوازه
- 9 بررسی تست قطعات فولادی ریخته گری شده به روش آلتراسونیک، احمد گمار، برزوهدایتی فر، امید رحمانی
- 14 بررسی تجربی اثر پارامترهای جوشکاری آلتراسونیک بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال فلزات غیر هم جنس آلومینیوم 1050 و 3105، حمیدرضا معصومی - امیرحسین میثمی - سید حامد رضوی - محمد خدائی
- 20 آشنایی با الزامات استاندارد 3834 الزامات کیفیتی در جوشکاری ذوبی مواد فلزی - الزامات کیفیتی جامع - قسمت دوم، مهندس افشین خیام
- 22 قابلیت جوشکاری فولاد زنگ نزن آستنیتی بوسیله جوش قوس فلزی با گازهای محافظ مختلف (قسمت پایانی)، کاظم بابایی - فرزاد سلیمانی - مجید پورعبداله
- 24 مواد مصرفی جوشکاری میلگردهای فولاد مسلح کننده، کامران تاروردی
- 29 بررسی خواص ریزساختاری و مکانیکی کامپوزیت سطحی زمینه آلومینیوم 1050 تقویت شده با پودر گرافیت و ساخته شده با فرایند اصطکاکی اغتشاشی چند پاسه، حسین کشاورز - امیرحسین کوبکی
- 37 بررسی ساختار میکروسکوپی و مقاومت خوردگی روکش جوشی از جنس استالایت 6 اعمالی بر روی فولاد کم آلیاژ فوق مستحکم 35NiCrMoV123، بهنام دهقانزاده - حجت اله منصوری
- 41 اثر ترکیب شیمیایی فلز پرکننده بر خواص ریزساختاری و خوردگی ناحیه اتصال فولاد زنگ نزن AISI 316L، صادق ورمزیار - مسعود عطاپور
- 46 بررسی ریزساختار و استحکام دمای پایین در اتصال آلیاژهای AA2024-T4 به AA6061-T6 با استفاده از لایه واسط Sn-2.4Bi، امین عنبرزاده - حامد ثابت - عبدالرضا گرانمایه ارومیه



مکانیسم جوشکاری در حالت سیم‌کش و عکس‌سنگ جوش و بازرسی جوش



بررسی ساختار میکروسکوپی ناحیه اتصال مش‌های سیمی سینتر شده تولید شده توسط فرایند جوشکاری فشاری سرد

بهنام دهقانزاده^۱، حجت منصور^۲

چکیده

مش‌های سیمی سینتر شده از جنس فولاد زنگ نزن آستنیتی **AISI 316**، کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی و دارویی، پتروشیمی، تصفیه آب، انرژی اتمی و غیره دارند. این فیلترها نیازمند مقاومت خوردگی در محیط‌های آبی و در دماهای بالا هستند. فرایند اتصال سیم‌ها به همدیگر جوشکاری فشاری سرد می‌باشد. در این تحقیق بعد از ایجاد اتصال، ساختار میکروسکوپی نواحی اتصال سیم‌ها به همدیگر با استفاده از میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی بررسی شد. به علت دمای پایین فرایند اتصال دهی، ساختار میکروسکوپی ناحیه اتصال مشابه ساختار میکروسکوپی فلز پایه بود، ولی در اثر فشار اعمالی در هنگام عملیات جوشکاری، مقداری تغییر شکل در ناحیه اتصال مشاهده می‌شود و عیوبی مانند ترک‌های ریز و ذرات اکسیدی در فصل مشترک اتصال مشاهده نشد و اتصال جوشکاری با کیفیت بالا حاصل شد.

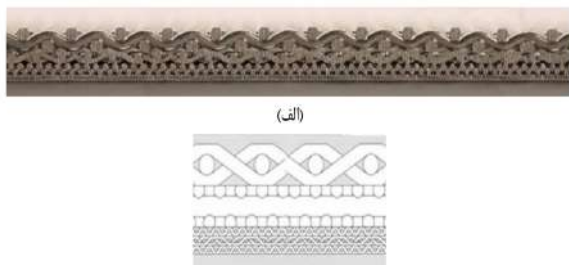
کلمات کلیدی: مش‌های سیمی سینتر شده، فیلتر، جوشکاری فشاری سرد، ساختار میکروسکوپی.

مقدمه

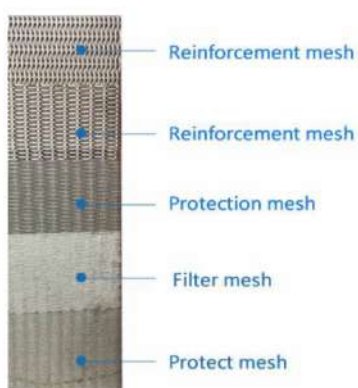
مش‌های سیمی سینتر شده متشکل از چندین لایه صفحات مش‌های سیمی موجدار می‌باشد که با فرایند سینترینگ به همدیگر متصل می‌گردند. در این فرایند اتصال دهی که در واقع همان فرایند جوشکاری سرد می‌باشد، با ترکیب گرما و فشار این صفحات سیمی موجدار به همدیگر اتصال دائمی پیدا می‌کنند. شایان ذکر است که فرایند تولید هر کدام از صفحات مش‌های سیمی موجدار نیز با فرایند جوشکاری فشاری سرد تولید شده و سپس با استفاده از همین فرایند تعدادی از این صفحات به همدیگر متصل می‌شوند. مش‌های سیمی سینتر شده برای خالص سازی و فیلتر کردن بسیار مناسب می‌باشد، تعداد صفحاتی که در این فرایند به همدیگر اتصال داده می‌شوند، ۵ الی ۷ لایه می‌باشد. در شکل (۱) مقطع یک پنل مش سیم فولادی زنگ‌نزن است که تشکیل شده از ۵ لایه مختلف با شبکه مش‌های متفاوت و با اندازه سیم‌های متفاوت با استفاده از فرایند

فشرده سازی و غلتک دادن، با هم متلاشی شده و یک شبکه متخلخل ساخته شده است. در شکل (۲) ۵ لایه یک فیلتر مش سیمی سینتر شده از جنس فولاد زنگ نزن نشان داده شده است، ملاحظه می‌شود که این فیلتر متشکل از دو مش تقویت کننده و یک مش حفاظت و یک مش فیلتر و یک مش حفاظت کننده می‌باشد، ترکیب این مش‌ها با همدیگر سبب انجام فیلترینگ دقیق و استحکام خوب بدنه فیلتر می‌گردد و محدودیت کمی در برابر عبور سیال ایجاد می‌کند [۱].

مش پنج لایه متخلخل استاندارد شامل لایه محافظ، لایه فیلتر، لایه پراکندگی و دو لایه تقویت کننده می‌باشد. این عملکرد باعث دقت یکنواختی و پایداری و مقاومت بالا را فراهم می‌کند، بنابراین برای فیلترهایی که به مقاومت فشاری بالا و ذرات فیلتر یکنواخت نیاز باشد این نوع فیلترها ایده آل می‌باشد. ساخت این فیلتراسیون سطح و مجرای صاف، در شستشو و بازسازی این فیلترها خوب بوده است و



شکل ۱- الف- توپر مقطع مش سیمی سنتر شده
ب- تصویر شماتیک مش سیمی سنتر شده

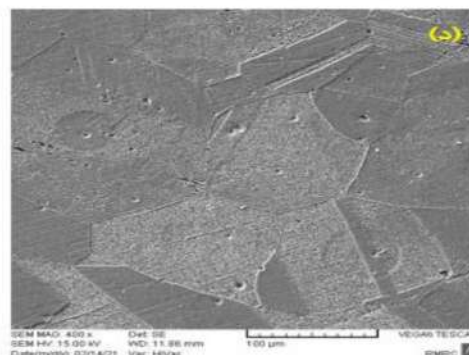
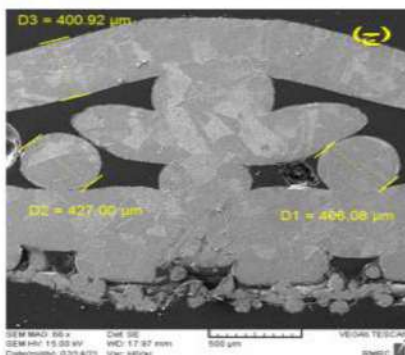
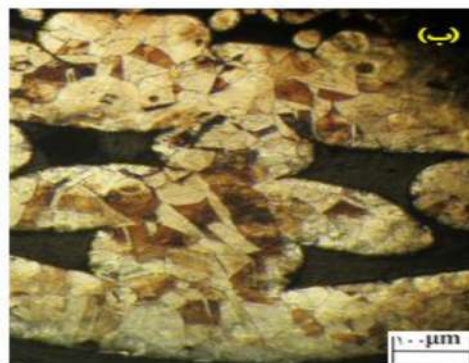


شکل ۲- ترتیب لایه‌ها در مش سیمی سنتر شده ۵ لایه از جنس فولاد زنگ نزن

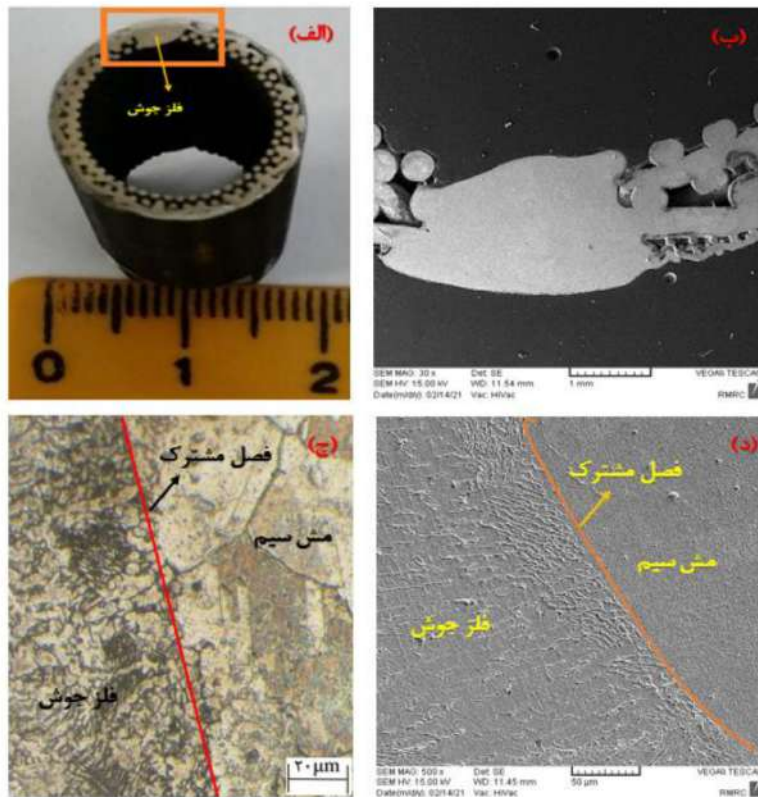
می‌توان برای مدت زمان‌های طولانی استفاده کرد. مخصوصاً برای کارهای که نیاز به مقاومت و قسمت‌های که اتوماتیک است بسیار مناسب می‌باشد. این محصولات مقاومت و استحکام بالا، دقت یکنواخت و پایدار، فضای سرویس‌دهی گسترده، دمای کاری (۲۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد) مقاوم به خوردگی و قابل تمیز کردن می‌باشند [۳، ۲]

پایه اصلی که فرایند جوشکاری سرد را با دیگر فرایندها مجزا کرده است عدم حضور حرارت در دامنه جوشکاری است، در نتیجه نیازی به هیچگونه منبع الکتریکی، گاز و واکنش شیمیایی حرارت زا نیست. دو جز، که باید متصل شوند تحت فشار (که بالای نقطه تغییر فرم پلاستیکی است) قرار می‌گیرند که نتیجه آن یک جوش همگن است [۴، ۵]

این محصولات عمدتاً در صنایع دارویی و غذایی، آشامیدنی، تصفیه آب، صنایع پلیمر، پتروشیمی، انرژی هسته‌ای، هوا فضا و غیره قابل استفاده است. جنس این نوع فیلترهای متخلخل از SUS 304 و SUS316 است، اما آلیاژهای فولادی Hastelloy، Monel، Inconel و سایر فلزات و آلیاژها نیز می‌توان نسبت به نیاز در صنایع مختلف تولید کرد. روزنه‌های فیلتر محدوده ۱ الی ۳۰۰ میکرومتر می‌باشد. یکی از ویژگی‌های این نوع فیلترها سهولت تمیزکاری آن‌ها است و ضخامت آن‌ها از مرتبه ۲ میلیمتر می‌باشد. در شکل (۲) تصویری از لایه‌های مش سیم با اندازه‌های متفاوت نشان داده شده است.



شکل ۳- تصاویر مش سیمی سنتر شده الف- مش سیمی سنتر شده لوله ای ب- ساختار میکروسکوپی نوری و اتصال مش سیمی سنتر شده با صفحات مش سیمی سنتر شده با بزرگنمایی ۱۰x ج- تصویر میکروسکوپ الکترونی صفحات به هم متصل شده مش سیمی سنتر شده با بزرگنمایی ۱۵۰۰x د- تصویر میکروسکوپی الکترونی از ساختار مش سیمی سنتر شده با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰x



شکل ۴- تصاویر مش سیمی سینتر شده الف- تصویر جوش لب به لب مش سیمی سینتر شده لوله ای ب- ساختار میکروسکوپی الکترونی جوش لب به لب مش سیمی سینتر شده با صفحات مش سیمی سینتر شده با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰x ج- تصویر میکروسکوپ نوری از فلز پایه -فصل مشترک- فلز جوش مش سیمی سینتر شده با بزرگنمایی ۵۰۰x د- تصویر میکروسکوپی الکترونی از فلز پایه- فصل مشترک- فلز جوش مش سیمی سینتر شده با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰x

ساختار میکروسکوپی نوری، الکترونی و تصویر جوش مقاومتی لب به لب برای تولید مش سیمی سینتر شده لوله ای در شکل (۴) نشان داده شده است.

وقتی به ساختار فلز پایه نگاه می کنیم ساختار آستنیتی با دو قلوبی مشاهده می کنیم که ریز ساختار به صورت یکنواخت است و در ناحیه جوش حالت دندریتی ریز و در فصل مشترک حالت فشرده و کشیدگی دندریتی را مشاهده می کنیم. بدلیل اینکه جوشکاری با فرایند مقاومت الکتریکی بوده است نفوذ چندان در فصل مشترک مشاهده نشده است. ملاحظه میشود که قطر سیم های مورد استفاده برای تولید مش سیمی سسنتر شده، در حدود ۰/۴ میلیمتر می باشد. البته قطر سیم های لایه داخلی بسیار کمتر از ۰/۴ میلیمتر می باشد.

نتیجه گیری

-در ساختار میکروسکوپی فصل مشترک و ناحیه متأثر از حرارت جوش بصورت سوزن های نازک کشیده شده است.

- به علت کارکرد این فیلترها در دماهای ۲۰۰ الی ۶۵۰ درجه سانتیگراد تمیزکاری و استفاده چندین باره از این فیلترها امکان پذیر است.

-هر لایه ای از مش که اضافه می شود مقاومت خوردگی و کشش

روش تحقیق

در این تحقیق نمونه های به ابعاد $10 * 5 * 5$ از قطعات کار کرده از جنس SUS316 تهیه شده و سطح نمونه ها که در شرایط اکسیداسیون گرفته بود با میکروسکوپ نوری بررسی گردید. در شکل (۱) شماتیک لایه های روی هم مش نشان داده شده است ترکیب شیمیایی SUS316 در جدول (۱) آورده شده است.

نمونه ها برای عملیات متالوگرافی با برش سیمی ۱ به مدل Robofil 200 ساخت سوئیس تهیه شده است. نمونه ها را با سنباده های شماره ۱۸۰ تا ۳۰۰ و سپس پولیش کاری سطوح با خمیر الماسه انجام شد و در نهایت با ۴۰٪ HNO₃ و ۶۰٪ HCL سطح نمونه ها را اچ نمودیم. ساختار میکروسکوپی مناطق مختلف با میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی (SEM) بررسی گردید. جدول ۱- ترکیب شیمیایی SUS316 (برحسب درصد وزنی)

عنصر	Ni	Cr	Mo	Mn	C	Si	N	P	Fe
SUS316	۱۴	۱۸	۳	۲	۰/۰۸	۰/۷۵	۰/۱	۰/۰۴۵	۶۲

نتایج و بحث

- بررسی ساختار میکروسکوپی

ساختار میکروسکوپی نوری، الکترونی و تصویر فلز پایه در نواحی به هم متصل شده مش سیمی سینتر شده در شکل (۳) و

Trans Tech Publ, 2010, pp. 454-459.

4-1. کوبی. بیدختی، تکنولوژی جوشکاری، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، چاپ ششم ۱۳۸۳.

5-T. Lienert, T. Siewert, S. Babu, V. Acoff, S.W.P. Specifications, ASM handbook, volume 6A: welding fundamentals and processes, ASM International Materials Park, OH, 2011.

پی نوشت

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان
- 2- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان

-هر لایه ای از مش که اضافه می شود مقاومت خوردگی و کشش بالاتری داریم و در بخش های مختلف صنایع می توان استفاده نمود.

منابع

1-www.sinteredfilter.org, Sintered metal filter sintered-wire-mesh.

2-www.anbao.net, Sintered Wire MeshP view.

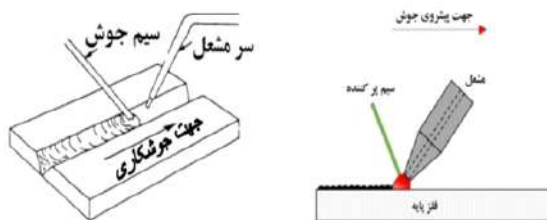
3-M.D.M.das Neves, L.P.Barbosa, L.C.E. da Silva, O.V. Correa, I. Costa, TIG welding of sintered AISI 316L stainless steel, Materials Science Forum,

نوسان در جوشکاری

مهندس عبدالوهاب ادب آوازه^۱

جوشکاری پس دستی

جوشکاری پس دستی، یک تکنیک جوشکاری است که در آن مشعل یا طپانچه جوشکاری در خلاف جهت پیشروی جوش گرفته می‌شود.



شکل ۲ - تکنیک جوشکاری پس دستی

جوشکاری پس دستی را (Backward Welding) یا (Pull Welding) نیز می‌نامند. برای جوشکاری فلز حساس به حرارت یا فلز نازک، یا جوشکاری عمودی سربالا از تکنیک پیش دستی استفاده می‌شود یعنی نوک مشعل به صورت مایل به طرف دور شدن از حوضچه مذاب گرفته می‌شود. در جوشکاری عمودی نیروی گرانش تمایل دارد جوش مذاب به پایین بریزد، اما نوک مشعل که بطرف دور شدن از حوضچه مذاب باشد موجب انجماد سریع جوش می‌شود و از ریزش جوش مذاب جلوگیری می‌کند. یک تفاوت عمده تکنیک جوشکاری پیش دستی و پس دستی، همانطور که در تصویر مشاهده می‌شود، در جوش پیش دستی عمق نفوذ کمتر و پهنای جوش بیشتر از جوش پس دستی است (تفاوت‌های تکنیک‌های پیش دستی و پس دستی در جدول ارائه شده است).

جوش‌های ریشه‌ای عموماً خیلی پهن نیستند و می‌توانند در تمام حالت‌ها استفاده شوند. جوش شیاری قطعات ضخیم در حالت افقی،

نوسان (Oscillation) در فرایندهای جوشکاری، یک الگوی جایجایی نسبت به جهت حرکت پیشروی جوش است. طبق AWSA3.0 در جوشکاری، اگر نوسان بطور طولی انجام شود. به آن Whipping می‌گویند و چنانچه نوسان بطور عرضی انجام شود به آن Weaving می‌گویند.

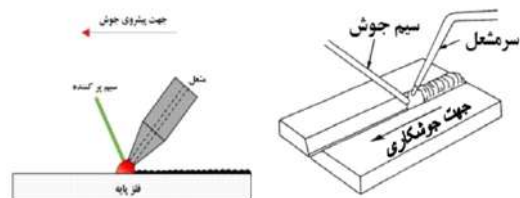
جوشکاری بدون نوسان یا با نوسان بطور طولی، مهره جوش ریشه‌ای (Stringer bead) را تشکیل می‌دهد. جوشکاری با نوسان بطور عرضی، مهره جوش بافته‌ای (Weave bead) را تشکیل می‌دهد.

مهره جوش ریشه‌ای

مهره جوش ریشه‌ای، مهره جوش ساده یا مهره جوش بدون نوسان قابل توجه به طرفین خط جوش است. جوش ریشه‌ای با دو تکنیک پیش دستی و پس دستی اجرا می‌شود.

جوشکاری پیش دستی

جوشکاری پیش دستی (Forehand Welding)، یک تکنیک جوشکاری است که در آن مشعل یا طپانچه جوشکاری در جهت پیشروی جوش گرفته می‌شود. جوشکاری پیش دستی را (Forward Welding) یا (Push Welding) نیز می‌گویند.



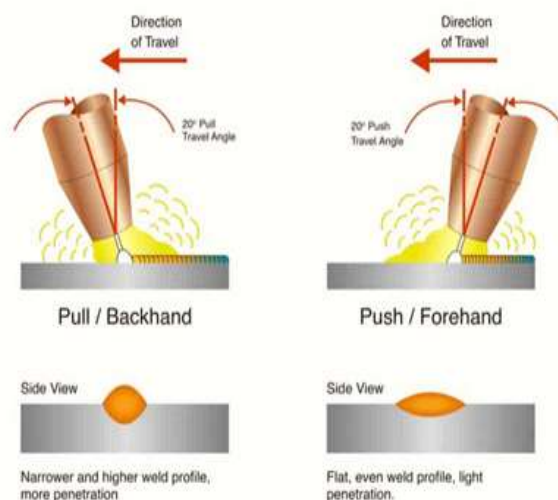
شکل ۱ - تکنیک جوشکاری پیش دستی

معمولاً بصورت ریشه‌ای‌های کنار هم انجام می‌شوند. جوش‌های ریشه‌ای در سخت کاری سطح نیز استفاده می‌شوند. عمل سخت کاری سطح موجب افزایش طول عمر کفه خاکبرداری بیل مکانیکی، ضربه گیر دستگاه‌ها و خیش‌های کشاورزی و سایر قسمت‌های بیرونی فلز که در معرض سایش یا ضربه هستند، می‌شود در این موارد، هدف از جوشکاری ایجاد یک لایه محافظ روی فلز پایه است.

مه‌ره جوش بافته‌ای

مه‌ره جوش بافته‌ای (**Weaving bead**)، مه‌ره جوش با نوسان به طرفین است. در جوش‌های شیارهای قطعات ضخیم که فضا برای پر کردن پهن است، چگونگی نوسان عرضی را (**Weaving Motion**) یا **Weaving Pattern** می‌گویند (شکل ۴).

برای ایجاد مه‌ره جوش پهن تر و همچنین کنترل حرارت در حوضچه جوش، از مه‌ره جوش بافته‌ای استفاده می‌شود. در



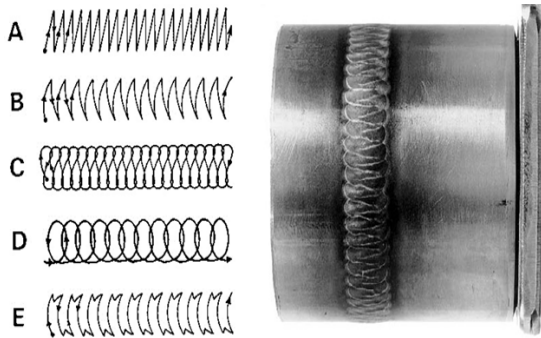
شکل ۳ - مقایسه تکنیک‌های پیش دستی و پس دستی

جدول ۱ - تفاوت‌های بین جوشکاری پیش دستی و جوشکاری پس دستی

جوشکاری پس دستی	جوشکاری پیش دستی
در جوشکاری پیش دستی، شعله یا الکتروود در خلاف جهت پیش روی جوش گرفته می‌شود	در جوشکاری پیش دستی، شعله یا الکتروود در جهت پیش روی جوش گرفته می‌شود
مشعل نسبت به حامل تغذیه زاویه حاده (معمولاً 30° تا 150°) دارد	مشعل نسبت به حامل تغذیه زاویه منفرجه (معمولاً 135° تا 150°) دارد
مشعل بالای مه‌ره جوش قرار ندارد، بلکه بالای فاصله پُر نشده ریشه قرار دارد	مشعل بالای مه‌ره جوش رسوب داده شده قرار دارد
فلز پرکننده پشت سر مشعل افزوده می‌شود	فلز پرکننده در جلوی مشعل افزوده می‌شود
پیش‌گرمایش وجود ندارد	در تکنیک پیش دستی، پیش‌گرمایش فلز پایه بطور خودکار اتفاق می‌افتد
تکنیک پس دستی، پس‌گرمایش مه‌ره جوش رسوب داده شده را تسهیل می‌کند.	پس‌گرمایش وجود ندارد
پس‌گرمایش اجازه می‌دهد که اتصال بطور پیوسته آتیل شود که به آزاد شدن تنش پسماند کمک می‌کند	اتصال جوش در معرض تنش پسماند نامطلوب قرار دارد
آهنگ تغذیه مشعل بخاطر نبود پیش‌گرمایش، معمولاً آهسته است.	پیش‌گرمایش نرخ تغذیه سریع‌تر مشعل را ارائه می‌دهد، که در بهبود بهره‌وری کمک می‌کند.
گرچه آهنگ رسوب پُرکننده آهسته است، اما دستیابی به نفوذ عمیق‌تر، کمک می‌کند.	نرخ رسوب پُرکننده را افزایش می‌دهد اما نمی‌تواند نفوذ عمیق‌تر بیاورد
تکنیک جوشکاری پس دستی، بطور قابل قباسی پاشیدگی کمتر دارد.	با تکنیک پیش دستی، تمایل به تشکیل پاشیدگی بیشتر است
منطقه جوش، قابلیت دید ضعیف دارد	تکنیک پیش دستی، قابلیت دید خوب به جوشکار می‌دهد
برای اتصال دادن ورق‌های ضخیم‌تر برتری دارد	برای اتصال دادن ورق‌های نازک برتری دارد (معمولاً تا ضخامت ۳ میلی‌متر احتیاج به آماده‌سازی لبه ندارد).

در جوشکاری نوسانی، زمان مکث منبع حرارت در هر طرف را **Dwell time** می‌گویند. مکث در هر طرف جوش، هم آمیزی خوب فلز جوش و فلز پایه را ایجاد می‌کند و از ایجاد بریدگی کناره جوش جلوگیری می‌نماید. اما مکث یا کندگی حرکت در مرکز نوسان جایز نیست زیرا موجب برآمدگی و قلنبه شدن وسط جوش می‌شود. بنابراین در بافته ای بهتر است حرکت از یک طرف به طرف دیگر، یکنواخت و سریع باشد تا جوش نسبتاً تخت یا قدری محدب بدست آید.

در جوشکاری نوسانی، زمان مکث منبع حرارت در هر طرف را **Dwell time** می‌گویند. مکث در هر طرف جوش، هم آمیزی خوب فلز جوش و فلز پایه را ایجاد می‌کند و از ایجاد بریدگی کناره جوش جلوگیری می‌نماید. اما مکث یا کندگی حرکت در مرکز نوسان جایز نیست زیرا موجب برآمدگی و قلنبه شدن وسط جوش می‌شود. بنابراین در بافته ای بهتر است حرکت از یک طرف به طرف دیگر، یکنواخت و سریع باشد تا جوش نسبتاً تخت یا قدری محدب بدست آید.



Weaving motions.

Weave bead pipe cap weld.

شکل ۵ - تکنیک های جوش بافته ای



شکل ۴ - مهره های جوش ریشه ای (حالت افقی)

ویژگی های نوسان

پهنای نوسان، مقدار جابجایی منبع حرارت است، بنابراین پهنای نوسان همان پهنای جوش (از پنجه سمت راست تا پنجه سمت چپ جوش) نیست. برای مثال اگر پهنای حوضچه جوش بدون نوسان، حدود ۶ میلی متر باشد، اگر جوشکاری با الکتروود به قطر

جدول ۲ - متغیر های جوشکاری طبق ASME Section IX

Welding Variables Procedure Specifications (WPS)

Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-410 Technique	.1 ϕ String or weave			X

Legend:

+ Addition > Increase or greater than † Uphill ← Forehand ϕ Change
 - Deletion < Decrease or less than ‡ Downhill → Backhand

جدول ۳ - متغیر های اساسی مستلزم آزمایش ضربه طبق AWS D1.1

متغیر های اساسی تکمیلی برای کاربرد های CVN

GTAW	FCAW	GMAW	SAW	SMAW	متغیر
					سایر متغیر ها
X	X	X		X	۱۱ در وضعیت عمودی تغییر از ریشه ای به بافته ای

جدول ۴ - تکنیک جوشکاری در WPS طبق ASME Section IX

FORM QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS) (See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

TECHNIQUE (QW-410)	_____
String or Weave Bead	_____
Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size	_____
Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.)	_____
Method of Back Gouging	_____
Oscillation	_____
Contact Tube to Work Distance	_____
Multiple or Single Pass (Per Side)	_____
Multiple or Single Electrodes	_____
Electrode Spacing	_____
Peening	_____
Other	_____

جدول ۵ - تکنیک جوشکاری در WPS طبق AWS D1.1

**Blank Sample WPS Form (GMAW & FCAW)
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)**

Technique							
Stringer or Weave							
Multi or Single Pass (per side)							
Oscillation (Mechanized/Automatic)							
Traverse Length							
Traverse Speed							
Dwell Time							
Number of Electrodes							
Contact Tube to Work Distance							
Peening							
Interpass Cleaning							
Other							

جدول ۶ - دامنه نوسان دست در جوشکاری با الکتروود روکشدار

نوع فولاد	بیشینه دامنه نوسان دست به طرفین
فولاد کربنی	۳ برابر قطر الکتروود
فولاد زنگ نزن آستنیتی	۲/۵ برابر قطر الکتروود
فولاد آب داده و بازیخت شده (Q&T)	۲ برابر قطر الکتروود

NBIC، بیشینه دامنه نوسان دست را برای جوشکاری فولادهای کربنی تا ۴ برابر قطر الکتروود، مجاز دانسته است. **Lincoln Electric** توصیه می کند که نوسان عرضی از سه برابر قطر الکتروود بیشتر نشود.

منابع

- 1-ASME Section IX:2023- Welding, Brazing, and Fusing Qualifications.
- 2-AWS D1.1:2020- Structural Welding Code--Steel,
- 3-Welding Beads: What are they? & Different Types:2024 By: Jeff Grill.
- 4-New Lessons In Arc Welding - Lincoln Electric Co.
- 5-Welding Principles and Practices - Edward R.Bohnart.
- 6-Welding Principles and Applications Larry Jeffus.
- 7-AWS A3.0 - Standard Welding Terms and Definitions.
- 8-Gas Tungsten Arc Welding with synchronized Magnetic Oscillation - Edited By Mahadzir Ishak

پی نوشت

1-انجمن جوشکاری و آزمایش های غیرمخرب ایران

همانطور که در جدول متغیرهای جوشکاری (جدول ۲) مشاهده می شود، **ASME** تغییر ریشه یا بافته ای را "متغیر غیراساسی" محسوب می کند.

در زیر جدول، به پیش دستی و پس دستی نیز اشاره شده است. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می شود، **AWS** تغییر از تکنیک ریشه ای به تکنیک بافته ای را برای جوشکاری در حالت عمودی، متغیر اساسی تکمیلی برشمرده است.

وضعیت نوسان در WPS

ASME Section IX با عنوان تکنیک در فرم پیشنهادی برای **WPS**، فقط نوسان را در یک خط ارائه کرده و به جزئیات اشاره نکرده است (جدول ۴).

AWS D1.1 در فرم پیشنهادی برای **WPS**، تحت عنوان تکنیک به نوسان برای دستگاه جوشکاری مکانیزه یا خودکار، طول جابجایی، سرعت جابجایی و زمان مکث در هر طرف را خواسته است. (جدول ۵).

دامنه نوسان

در جوشکاری نوسانی با الکتروود دستی، بیشینه دامنه نوسان به طرفین به شرح جدول (۶) ارائه شده است



بررسی تست قطعات فولادی ریخته گری شده به روش آلتراسونیک

احمد گمار^۱، برزوه‌دایتی فر^۲، امید رحمانی^۳

چکیده

ریخته گری یکی از روش‌های تولید قطعات فلزی است، که فرایند تولید آن شکل دادن فلزات از طریق ریختن مواد مذاب داخل قالب صورت می‌گیرد، که این مواد پس از سرد شدن و انجماد به شکل قالب خود درمی‌آیند. کاربرد قطعات ریخته گری در صنایع مختلف قطعه سازی خودرو، حمل و نقل، نیروگاه، ساخت شیرآلات صنعتی و ... می‌باشد. از این رو کیفیت ساخت این قطعات بسیار حایز اهمیت می‌باشند، با توجه به ماهیت این روش تولیدی وجود برخی از عیوب در این قطعات امکان پذیر بوده که در صورت عدم تشخیص ممکن است خسارات بسیار زیادی به صنایع تحمیل نماید. یکی از روش‌های تشخیص عیوب در قطعات فولادی ریخته گری روش تست آلتراسونیک می‌باشد، که به صورت گسترده و با استفاده از تکنیک‌های مختلف انجام می‌پذیرد. در این مقاله سعی شده است تا ابتدا به شناسایی برخی عیوب محتمل در قطعات فولادی ریخته گری پرداخته و سپس راهکار و تکنیک تست مناسب جهت حصول به نتیجه بهتر بررسی گردد، لازم به ذکر است مهمترین عامل تاثیر گذار در دقت تست آلتراسونیک داشتن تخصص و مهارت کافی اپراتور می‌باشد.

کلمات کلیدی: ریخته گری، تشخیص عیوب، تست آلتراسونیک، استاندارد.

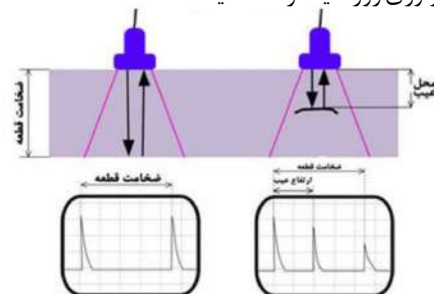
مقدمه

تست آلتراسونیک یا به اختصار UT یکی از تست‌های غیرمخرب است که بر مبنای ارسال امواج فراصوت (ماوراء صوتی) به داخل قطعه مورد بازرسی و بررسی چگونگی انتشار آن در داخل قطعه استوار است، موج فراصوت تا وقتی که محیط یکنواختی را در داخل قطعه طی می‌کند، مسیر اولیه خود را ادامه می‌دهد، و به محض برخورد با عیب (ناپیوستگی یا ناهمگنی ساختاری) تمام یا بخشی از آن در فصل مشترک محیط اول (محیط داخل قطعه) و محیط دوم (ناپیوستگی) انعکاس می‌یابد. در تست آلتراسونیک امواج با فرکانس ۰.۵ تا ۲۵ مگاهرتز بوسیله مبدل تولید و به داخل قطعه مورد تست هدایت می‌شوند و هنگامی که این امواج در مسیر حرکت خود به عیوب احتمالی موجود در قطعه مانند تخلخل، ترک و ناخالصی‌های

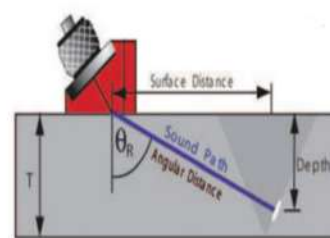
حبس شده برخورد می‌کنند، منعکس می‌شوند و بازتاب امواج فراصوت که از ماده مورد تست ساطع می‌شوند پس از تبدیل، بصورت سیگنال در صفحه نمایشگر نشان داده می‌شود که بازرسی جوش با تحلیل این سیگنال‌ها می‌تواند به مکان، عمق و سایر عیوب احتمالی در جوش پی برد [۱].
در شکل (۱) روش عیب یابی با پراب نرمال و شکل (۲) نحوه اسکن قطعه با پراب زاویه ای قابل مشاهده می‌باشد. از مزایای اصلی تست آلتراسونیک در مقایسه با سایر روش‌های آزمون‌های غیرمخرب می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- قدرت نفوذ بالا (امکان بازرسی قطعات تا ضخامت ۵ متر)،
- دقت بسیار بالا در تعیین موقعیت عیوب داخلی و تعیین ماهیت، اندازه و شکل عیوب،

- قابلیت بالای اتوماسیون، روبش سریع، پایش قطعات به صورت آنلاین، کنترل فرایند و ثبت دائمی نتایج،
 - قابلیت روبش حجمی اجسام و قطعات جوشکاری پیچیده جوشکاری شده،
 - قابلیت حمل و نقل آسان،
 - بی خطر بودن برای پرسنل،
 از معایب این روش که گاهی ایجاد محدودیت در استفاده از این نوع تست غیر مخرب نموده است می توان موارد زیر را نام برد:
 - لزوم دسترسی سطح به پروب،
 - تداخل و ایجاد مشکل از طرف روکش سطح و زبری آن،
 - مشکل در بازرسی قطعات نازک.

باتوجه به موضوع مورد بحث که تست آلتراسونیک قطعات ریخته گری می باشد، لازم است ابتدا به صورت مختصر با مشکلات پیش رو در تولید قطعات ریخته گری و سپس عیوبی که در این قطعات محتمل است آشنا شد و سپس به بررسی انجام تست آلتراسونیک بر روی این قطعات پرداخت، گرچه دانش ریخته گری با سرعت قابل توجه ای رو به جلو حرکت می کند ولی در بسیاری از کارگاه های ریخته گری در ایران استفاده از امکانات و تجهیزات تولیدی قدیمی رایج است و عملا تغییر تجهیزات تولیدی نتوانسته است با تکنولوژی روز دنیا حرکت نماید .



شکل ۱- روش عیب یابی با استفاده از پراب نرمال



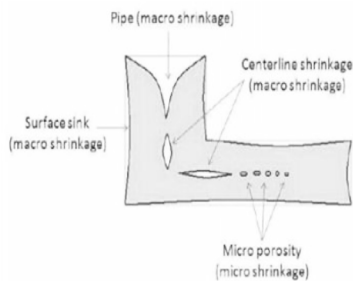
شکل ۲- اسکن قطعه با استفاده از پراب زوایه ای

غالبا" محدودیت دارد که دسترسی به آن از توان بسیاری از شرکت ها و کارگاه ها خارج است، در صورتی که بخواهیم به صورت مختصر به عیوب موجود در قطعات ریخته گری بپردازیم می توان به عیوب ناشی از انقباض اغلب آلیاژها در هنگام انجماد و تبدیل از مذاب به جامد، که با کاهش حجم روبه رو هستند اشاره نمود، برحسب شرایط انجماد و حصول انجماد جهت دار یا همه جانبه و همچنین برحسب نوع آلیاژ، کاهش حجم ناشی از انقباض به دو صورت پراکنده و متمرکز در قطعه ریخته شده مشاهده می شود، این عیب معمولا" در بخش زیرین منبع تغذیه کننده، در محل های تغییر ضخامت، در نقاط برآمده و در قطعات با ضخامت بالا در مرکز آن ها رخ می دهد این عیوب معمولا" همراه با گاز همراه نیستند، ولی وجود گاز باعث گسترش آن ها خواهند بود گازها ممکن است بصورت محلول، ترکیبات شیمیایی یا در محفظه قالب وجود داشته باشد، همچنین می تواند از هوای به دام افتاده در محفظه قالب در هنگام بارریزی یا به علت واکنش شیمیایی بین مذاب و سطح مواد قالب گیری یا در حین انجماد ایجاد شود، گازها ممکن است بصورت حفرات داخلی یا روی سطح و امثال آن ها ظاهر شود .

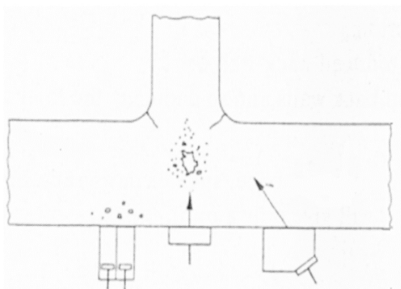
در صورت عدم تغذیه مذاب ممکن است عیوب انقباضی درشت به وجود بیاید این دقیقا عیبی می باشد که محدود به بخش زیرین تغذیه می شود، در برخی مواقع نیز عیوب انقباضی از نوع خشن می باشند در این حالت ابعاد فیزیکی این عیوب کوچکتر از عیوب انقباضی درشت می باشند به این نوع عیوب انقباض فیلامانی گفته می شود و در بعضی موارد این نوع عیوب به سطح نیز راه خواهند یافت گونه دیگری از عیوب فیلامانی وجود دارند که در واقع میزان خشن بودن این عیوب بسیار کمتر و در واقع سطح این عیوب ظریف تر می باشند، که به علت انقباض یا بالا آمدن آمدن گاز در حین انجماد ایجاد می شود و معمولا" در مرز دانه ها اتفاق می افتد. یکی دیگر از عیوبی که در قطعات ریخته گری دیده می شود ترک های داغ هستند، اینگونه عیوب معمولا" در اثر تنش ایجاد می شود این تنش ها معمولا" در درجه حرارت های نزدیک به نقطه انجماد یعنی در ضعیف ترین حالت قطعه به وجود می آید نوع دیگری از عیوب که در قطعات ریخته گری اتفاق می افتد، حباب های هواست، که در موقع ریختن مذاب به داخل قالب اتفاق می افتد این حباب ها به داخل مذاب نفوذ کرده و معمولا" به صورت حفره های زیر سطحی قابل مشاهده می باشند و معمولا قطر آن ها بزرگتر از ۱,۵ میلی متر هستند حفره های ایجاد شده در قطعات ریخته گری شامل حفره های سوزنی که در اثر بالا آمدن در قالب یا ماهیچه بوجود می آید و یا حفره ها مارپیچی که لوله ای شکل بوده و به صورت عمودی روی سطح قطعه به وجود می آیند .

شناخت و خواص عیوب ریخته گری جهت تست آلتراسونیک برای اپراتور مفید خواهد بود. به استثنای ترک ها، دیگر عیوب قطعات ریخته گری دارای حجم و کروی شکل هستند که با توجه به ماهیت این گونه عیوب راستای دسته پرتوها از اهمیت کمتری برخوردار خواهند بود، لازم به ذکر است برخی از عیوب به وجود آمده در قطعات ریخته گری به دلیل عوامل دیگری همچون خطای ابعادی، پرنشیدن کامل غالب ایجاد می شوند در تست قطعات ریخته گری

قرارگیری پرآب نرمال و زاویه ای جهت تست یک نمونه قطعه ریخته گری قابل مشاهده می باشد دامنه اکوی اینگونه عیبها بی نظم بوده و به دلیل ماهیت عیب دارای اکوی کوتاه خواهد بود لازم به ذکر است بخشی از پرتوهای ارسالی به سوی عیب به ترانسدیوسر بازگشت نخواهد کرد. دلیل کاهش اکوی پشتی دریافتی می تواند عوامل دیگری نیز داشته باشد که شامل زبری بیش از حد سطح قطعه، استفاده از کوپلینگ نامناسب، در صورت زبری سطح تاثیر قابل ملاحظه تری بر نتیجه تست خواهد داشت همچنین در صورتی که عیب مورب بوده همچون حفرات انقباضی و دسته پرتوها در راستای آن باشد و یا قطعات ریخته گری دارای دانه بندی درشت باشند می توانند باعث پراکندگی و همچنین تضعیف دسته پرتوهای صوتی گردد یکی از راهکارهایی که می توان جهت کاهش اثرات عوامل فوق در نظر گرفت استفاده از پرآب ها با فرکانس های پایین خواهد بود فرکانس پایین ایجاد طول موج بلند تر خواهد بود و اثرات این نوع ساختار کاهش خواهد یافت در صورتی که ضخامت قطعات کم باشد و یا سطح قطعه پرداخت شده باشد می توان از فرکانس های بالاتر نیز استفاده نمود معمولا "بیشتر از پرآب نرمال جهت عیب یابی قطعات ریخته گری استفاده می شود استفاده از پرآب های موسوم به T/R نیز جهت اطمینان از عاری بودن قطعه از عیب در بخش های نزدیک به سطح می تواند مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳- حفره های انقباضی



شکل ۴- نمایی از نحوه قرارگیری پرآب های تست آلتراسونیک

چنانچه از پرآب های زاویه ای جهت تست قطعات ریخته گری استفاده شود، انحرافی در دسته پرتوهای زاویه ای ایجاد می شود بدلیل اینکه با افزایش سرعت صوت، زاویه پرآب نیز افزایش می یابد لازم به ذکر است چون اکثر پرآب های زاویه ای در بازار برای فولادی

شده از دو تکنیک تست با امواج طولی و عرضی استفاده می شود، از آنجاکه ساختمان دانه بندی قطعات تاثیر قابل ملاحظه ای در استهلاک امواج آلتراسونیک دارد، لذا در تست قطعات ریختگی از فرکانس های کمتر از حد معمول استفاده می شود، معمولا " فرکانس های مورد استفاده در قطعات ریخته گری ۱.۵ تا ۲.۵ مگاهرتز می باشد و در برخی از مواقع از فرکانس های پایین تر استفاده می شود، همچنین پروپ های مورد استفاده در این قطعات پروپ نرمال تک کریستال و دوپل کریستال هستند پروپ های زاویه ای نیز ۴۵، ۶۰، ۷۰ درجه می باشند فرکانس مورد استفاده متناسب با ضخامت و جنس قطعه مورد تست انتخاب می شوند، معمولا " جهت حصول به نتیجه مناسب قبل از تست قطعات ریخته گری شده بهتر است عملیات حرارتی جهت کاهش میرایی صوت انجام پذیرد، که مفهوم این فرایند اینست که قطعه ریخته گری شده پس از خروج از قالب را تا درجه حرارت خاصی گرم نمود و مدتی در این درجه حرارت قرار می دهند، لازم به ذکر است روش های دیگری نیز جهت عملیات حرارتی وجود دارند همانند آنیل کردن (Annealing) و یا نرمالیزه کرده (Normalizing) و موارد دیگر که تاثیرات متفاوتی بر روی عملکرد تست قرار می دهند. لازم به ذکر است گاهی ممکن است قبل از عملیات حرارتی نیز بازرسی قطعه ریخته گری شده انجام گردد که بهتر است قبل از تست آلتراسونیک بر روی قطعه عملیات پرداخت سطح انجام گردد، سطح فوق بایستی صاف بدون هیچ گونه خش و ناهمواری باشد و به صورت کامل پرداخت شده باشد در جدول شماره (۱) سرعت صوت و چگالی در فلزات قابل مشاهده می باشد [2-4].

جدول ۱- سرعت صوت و چگالی در فلزات

solid - metals			
Substance	Density (g/cm ³)	V _L (m/s)	V _T (m/s)
Aluminum, rolled	2.7	6420	3040
Beryllium	1.87	12890	8880
Brass (70 Cu, 30 Zn)	8.6	4700	2110
Copper, annealed	8.93	4760	2325
Copper, rolled	8.93	5010	2270
Gold, hard-drawn	19.7	3240	1200
Iron, Armco	7.85	5960	3240
Lead, annealed	11.4	2160	700
Lead, rolled	11.4	1960	690
Molybdenum	10.1	6250	3350
Monel metal	8.90	5350	2720
Nickel	8.9	6040	3000
Platinum	21.4	3260	1730
Silver	10.4	3650	1610
Steel, mild	7.85	5960	3235
Steel, 347 Stainless	7.9	5790	3100
Tin, rolled	7.3	3320	1670
Titanium	4.5	6070	3125
Tungsten, annealed	19.3	5220	2890
Tungsten Carbide	13.8	6655	3980
Zinc, rolled	7.1	4210	2440

بررسی تست آلتراسونیک

همانطور که گفته شده بود حفره های انقباضی شکل (۳) در حین انجماد و تغذیه فلز مذاب ناکافی به وجود می آید در شکل (۴) نحوه

ساخته شده اند باید این تغییر سرعت در مواد دیگر را طبق قانون اسنل محاسبه کرد و متعاقب آن زاویه نیز تغییر می کند می توان گفت با پراب زاویه ای اغلب به صورت دقیق تر و سریع تر موقعیت عیب شناسایی می شود در این حالت اکوهای مزاحم کمتری وجود دارد گفتنی است در صورتی که قطعه مورد تست فولادی باشد می توان از فرکانس های زیر ۲ مگاهرتز که تضعیف دسته پر توها کمتر است استفاده نمود نکته قابل توجه اینکه در محل تغییر ضخامت قطعات احتمال اینکه از مذاب کامل پر نشود محتمل می باشد در جدول (۲) فرکانس پراب جهت متریال های مختلف قابل مشاهده می باشد در قطعات ریخته گری، چون فاصله ها خیلی طولانی است و یا اکثر سطوح آن دارای انحنا است، این احتمال وجود دارد که اندازه ناپیوستگی ها بزرگتر یا کوچکتر از اندازه واقعی مشاهده گردد و در اکثر حالات برای اینکه این مشکل برطرف شود و اندازه واقعی عیب مشخص شود، می توان از پروب های زاویه دار که تغییر فرکانس و قطر پراب در آن ها انجام شده است نیز جهت رویت و اندازه دقیق عیب استفاده کرد [۵ و ۴].

جدول ۲- فرکانس پراب مناسب جهت متریال های مختلف ریخته گری

Cast steel, ferritic	0.5 1 2 3 4 5 MHz 6	
Cast steel, austenitic	0.5 1 2 3 4 5 MHz 6	Highly damped probes only
Cast iron, lamellar	0.5 1 2 3 4 5 MHz 6	Highly damped probes preferably
Cast iron, spherical	0.5 1 2 3 4 5 MHz 6	
Cast aluminium	0.5 1 2 3 4 5 MHz 6	
Cast copper and copper alloys	0.5 1 2 3 4 5 MHz 6	Highly damped probes only

نوع دیگری از عیوب که امکان ایجاد آن در قطعات ریخته گری بسیار محتمل است و به صورت خوشه ای و یا خطی شبیه عیوب Cluster & linear porosity می باشد و در واقع ماهیت آن شبیه به همان حفرات انقباضی بوده وجود دارند که فقط سائز حفرات کوچکتر و تعداد آن بیشتر است و ممکن است به سطح قطعه نیز راه یابد جهت دستیابی به نتیجه تست قابل قبول چنانچه ضخامت قطعه کمتر از ۷۵ میلی متر باشد می توان از پروب های دوبل کریستالی جهت شناسایی این عیوب استفاده نمود همچنین بهتر است جهت بررسی دقیق تر از پراب های ۱ تا ۲ مگاهرتز استفاده نمود زیرا در صورت استفاده از پراب های معمول (۴ تا ۵ مگاهرتز) تفرق امواج صوتی و در نتیجه عیوب بزرگتر از اندازه واقعی تصور می شوند ناپیوستگی های کوچک بدلیل اینکه ارتفاع اکو دریافتی از آنها کم است، باید با ناپیوستگی های مصنوعی در بلوک های استاندارد آنها را مقایسه کرد تا بتوان اندازه دقیق آن را بدست آورد. این نوع از تکنیک ها استفاده خیلی زیادی در صنعت هوا و فضا دارد. برای اندازه گیری ناپیوستگی های کوچک باید ابتدا از بلوک های استاندارد دارای عیب مشخص مقیاسی از اندازه عیب را بدست آورد اما چون سطح قطعه کار با سطح بلوک فرق دارد، سطح بلوک دارای صافی بیشتری می باشد در نتیجه افت انتقال در بلوک های استاندارد اتفاق

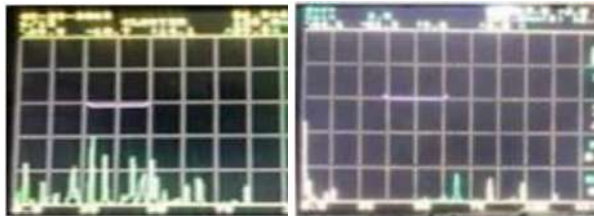
نمی افتد، در حالی که افت انتقال بر روی سطوح قطعه کار اتفاق می افتد. و برای جبران این میزان افت انتقال باید از همان ابتدا با آزمایشات تجربی بدست آمده میزان شدت صوت را از قطعه کار نسبت به بلوک استاندارد بیشتر کرد در شکل (۵ و ۶) قابل مشاهده است یعنی قبل از کار باید یک میزانی از دسی بل به دستگاه اضافه کرد تا افت انتقال جبران شود ناپیوستگی هایی که طول آن ها بزرگتر از پهنای دسته پرتو باشد رویت اکو آن ها بین اکو سطح جلو و اکو سطح پشتی نمایان می شود بطوری که اکو سطح پشت قطعه کار کامل از بین می رود. اگر چه اندازه دقیق ناپیوستگی ها نمی تواند با مقایسه قرار دادن ناپیوستگی ها با بلوک های استاندارد مشخص شود، می توان میزان و تعداد و طول و محل ناپیوستگی را با حرکت دادن پروب بر روی سطح قطعه کار بدست آورد. و طول ناپیوستگی را می توان با قانون ۶ دسی بل بدست آورد ناپیوستگی های کوچک به دلیل کوچک بودن نشان تمام پهنای دسته پرتو به آن برخورد نمی کند و در سه شرط رؤیت می شود [۷ و ۶].

- هنگامی که دارای سطح صافی باشد.

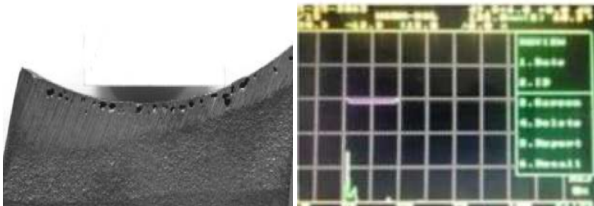
- پهنای ناپیوستگی به اندازه چند طول موج باشد.

- ابعاد اصلی آن موازی با سطح قطعه کار باشد.

شکل (۷ و ۸) اکوی دریافتی از مک گازی و همچنین تصویری از این عیب قابل مشاهده می باشد.



شکل ۵- حفره های خوشه ای با کم شکل ۶- حفره های خوشه ای با افزایش

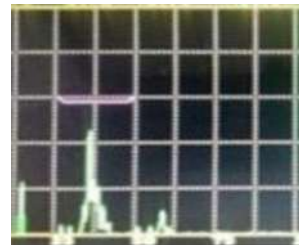


شکل ۷- اکوی دریافتی از مک گازی لوله شکل ۸- عیب مک گازی به صورت خطی

نوع دیگری از عیوب محتمل در قطعات ریخته گری ترک ها می باشند که معمولاً در اثر تنش و بعد از انجماد ایجاد می شود و به صورت مستقیم در قطعات به وجود می آیند با توجه به ماهیت این عیوب تشخیص آن به وسیله پراب نرمال امکان پذیر نمی باشد در این شرایط با استفاده از پراب های زاویه ای ۴۵ و ۶۰ درجه نتایج بهتری حاصل می شود که ممکن است لازم باشد که جهت دستیابی دقیق به محل و سائز عیب از پراب های دیگر هم استفاده نمود اندازه گیری ضخامت دیواره قطعات ریخته گری دارای اهمیت زیادی است. خصوصاً در حالت هایی که تنها ضخامت دیواره ها از یک طرف در دسترس هستند اما چنانچه قطعات بزرگ باشند تست آلتراسونیک

بر روی آن‌ها به راحتی امکان پذیر است قابلیت بازرسی متریال های ریخته گری بستگی به روش های ریختگی دارد. برای مثال در روش گریز از مرکز دانه های فلز بر روی محور انجماد متمایل می شود در تیوب های ریخته گری این موضوع مهم نیست، هر چند که استفاده کردن از پراب زاویه ای با تکنیک پالس اکو در این حالت غیر ممکن می باشد و استفاده از تکنیک انتقال بین دو پراب زاویه ای با فرکانس کم امکان پذیر است، در قطعات تولیدی به روش گریز از مرکز برای رویت عیب ترک گرم بهتر است از پراب ۴۵ درجه با فرکانس بیشتر از ۲ مگاهرتز استفاده نمود همچنین جهت دستیابی به یک نتیجه قابل اطمینان دستگاه آلتراسونیک، باید قادر به دریافت و تولید و تقویت پالس های صوتی باشد. و دستگاه باید قادر باشد، فرکانس های بین ۵ تا ۰٫۵ مگاهرتز، را جهت تست پوشش دهد بازرسی پذیرفته شده نهایی باید حداقل، بعد از عملیات حرارتی آستنییتی و ترجیحا بعد از ماشینکاری انجام شود. همچنین بهتر است برای متریال هایی با ضخامت ۷۵ میلیمتر یا کمتر از پروب های ۲/۲۵ مگاهرتز با قطر ۱۳ میلیمتر و برای متریال هایی با ضخامت بیشتر از ۷۵ میلیمتر از پروب های ۲/۲۵ مگاهرتز با قطر ۲۵ میلیمتر استفاده می شود. میزان تست اعمال شده بر روی قطعات ریخته گری متنوع و زیاد هستند و بستگی به متریال و کاربرد آن‌ها دارند.

کنترل عیوب سطحی نظیر ترک‌ها به روش ذرات مغناطیسی و کنترل عیوب حجمی به روش آلتراسونیک انجام می گیرد کلیه قطعات ریخته گری پس از تمیزکاری کلیه سطوح آن‌ها ابتدا تحت آزمون ذرات مغناطیس قرار می گیرند تا کلیه عیوب سطحی که مهمترین آن‌ها ترک‌ها می باشند چک شود برای تعیین عیوب داخلی قطعات نیز کلیه قطعات بصورت ۱۰۰ درصد با دستگاه آلتراسونیک کنترل می شوند در شکل (۹) اکوی دریافتی از ترک در دستگاه آلتراسونیک قابل مشاهده می باشد لازم به ذکر است حد پذیرش عیوب در قطعات با جنس های مختلف و ضخامت های مختلف متفاوت می باشد برای مثال قطعات ریخته گری فولادی غلاف توربین با استفاده از پراب نرمال کل سطح اسکن می شود همچنین در نقاط بحرانی روی فلنج ها، با سطوح اتصالات جوشکاری شده، و مناطقی بانسانه های دارای عیب، از پراب های اضافی با چند راستا از دسته پرتو، اغلب استفاده می شوند.



شکل ۹- اکوی دریافتی از ترک

نتیجه گیری

امروزه برای تولید قطعات فولادی نیاز به روش های مختلفی می باشد تا بتواند نیاز جامعه امروز را برآورده کند. از این رو ریخته گری به عنوان یک روش تولید می تواند برای برخی از تولیدات مورد استفاده قرار گیرد قطعات ریخته گری شده بعد از صنعت نفت و فولاد بیشترین سهم را در تجارت بین الملل دارد گرچه دانش ریخته گری با سرعت قابل توجهی رو به جلو حرکت می کند ولی در بسیاری از کارگاه های ریخته گری در ایران استفاده از امکانات و تجهیزات تولیدی قدیمی رایج است و عملاً تغییر تجهیزات تولیدی نتوانسته است با تکنولوژی روز دنیا حرکت نماید در این مقاله ابتدا به صورت مختصر به آشنایی با روش های معمول در تست آلتراسونیک قطعات فولادی ریخته گری پرداخته شده و سپس به عیوب احتمالی در قطعات ریختگی و در ادامه نیز راهکار تشخیص این عیوب و همچنین موارد تاثیر گذار بر کیفیت تست بررسی گردید نتایج بدست آمده نشان دهنده این موضوع می باشد که هر عیب با توجه به ماهیت آن می بایست از یک روش خاص و یا ترکیبی از روش های آلتراسونیک شناسایی شود همچنین جهت دستیابی به نتیجه بهتر تجهیزات و امکانات دستگاه آلتراسونیک مورد استفاده نیز می بایست به تناسب تغییر نمایند لذا داشتن تخصص و مهارت کافی در کنار موارد اشاره شده در مقاله می تواند به هر چه بهتر انجام شدن تست قطعات ریخته گری منجر شود.

منابع

- 1-ASNT Nondestructive Testing Handbook, Volume-7, Ultrasonic Testing, pp - 43, Third Edition
- 2-Methods of Ultrasonic Inspection of Welds, B.S. 3923, part 3", The British Standards Institution, London, U.K. 1972.
- 3- مهندس مهدی قائمی " جزوه آموزشی تست آلتراسونیک " چاپ ۱۳۸۰
- 4-"Non-Destructive Testing of Materials Using Ultrasonics. Introduction to Basics", Krautkramer GMBH, Cologne, Federal Republic of Germany 1996.
- 5-SZILARD J., "Ultrasonic Testing, Non-Destructive Testing Techniques", John Wiley and Sons, Chichester, New York 1982.
- 6-Ultrasonic Testing of Materials 4th Fully Revised Edition in Collaboration with W. Grabendorfer . M. Gregor . L. Niklas R. Frielinghaus . w. Kaule . H. Schlemm u. Schlengermann . H. Steiger
- 7- دکتر ابراهیم حشمت دهکردی " کتاب آزمون های فراصوتی " چاپ ۱۳۹۴
- 8- مهدی معینی، امیر یاریسعدی " آزمون غیرمخرب روش فراصوتی (آلتراسونیک) " چاپ

پی نوشت

- 1- مدرس گروه تاسیسات مکانیکی دانشگاه فنی و حرفه ای استان کرمانشاه
- 2- مربی جوشکاری سازمان فنی و حرفه ای استان کرمانشاه
- 3- کارشناس تاسیسات مکانیکی



بررسی تجربی اثر پارامترهای جوشکاری آلتراسونیک بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال فلزات غیر هم جنس آلومینیوم ۱۰۵۰ و ۳۱۰۵

حمیدرضا معصومی^۱، امیرحسین میثمی^۲، سید حامد رضوی^۳، محمد خدائی^۴

چکیده

آلیاژهای آلومینیوم **Al1050** به ضخامت یک میلیمتر و **AL3105** ضخامت نیم میلیمتر از طریق جوش نقطه ای با کمک ارتعاشات آلتراسونیک (**USW**) به یکدیگر متصل شدند. به جهت ایجاد جوش مناسب یک هورن متناسب با مبدل و مولد آلتراسونیک موجود با کمک نرم افزار **Ansys** طراحی و ساخته شد. به دلیل سیکل گرمایی و مکانیکی در حین **USW** فرایند نفوذ و اختلاط مکانیکی در ایجاد جوش در فصل مشترک ورق ها دخیل هستند. عنصر آلیاژی **Mn** موجود در **AL3105** در **Al1050** نفوذ می کند. رفتار نفوذ در محل قرارگیری ورق **AL3105** در زیر یا بالا محل نقطه جوش در حین جوشکاری متفاوت است ولی به دلیل اینکه ورق **AL3105** ضخامت کمتری دارد و احتمال له شدن در اثر اعمال فشار وجود داشت ورق نیم میلیمتر به صورت ثابت در زیر قرار گرفت. حد تحمل جوش مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای توان مبدل و زمان و فشار اعمالی محل جوشکاری به عنوان متغیرهای جوشکاری در نظر گرفته شدند و نقطه بهینه برای شرایط جوشکاری موجود به دست آمد.

کلمات کلیدی: آلتراسونیک، هورن، مبدل آلتراسونیک، نفوذ.

مقدمه

از ارتعاشات آلتراسونیک می توان جهت تغییرات متالورژیکی و اتصال فلزات استفاده نمود [۱]. جوشکاری آلتراسونیک (**USW**) فلزات یک روش جوشکاری حالت جامد است که ارتعاشات موازی یا عمودی، با نیروی عمودی (کلمپ) ترکیب شده است. این روش به خاطر زمان جوشکاری کوتاه، انرژی جوشکاری کم، پیچیدگی جوشکاری کوچک و بار زیست محیطی کمتر نسبت به سایر روش های جوشکاری حالت جامد، جایگاهی ویژه به خود اختصاص داده است [۲]. امتیاز ویژه جوشکاری آلتراسونیک فلزات این است که می توان قطعات فلزی نازک از قبیل فویل های فلزی، سیم ها و صفحه ها را به یکدیگر جوش داد که روشی بسیار راحت تر از سایر تکنیک های متداول جوشکاری می باشد [۳]. بنابراین جوشکاری

آلتراسونیک فلزات برای کاربردهای ساخت و تولید جایگاه و استفاده ویژه خواهند داشت. در سال های اخیر توجهات به جوشکاری غیر هم جنس مابین فلزات سبک جهت کاهش وزن در تولیدات صنعتی جلب شده است. و به طور خاص، گسترش تکنیک های جوشکاری آلیاژهای **Al** در صنایع الکتریکی، اتومبیل سازی و صنایع هوایی مورد توجه قرار گرفته است [۴]. آلیاژهای آلومینیوم دارای مقاومت بالا، فرم پذیری خوب و وزن کم می باشند و به جهت کاهش اثرات گلخانه ای مورد توجه قرار گرفته اند [۵]. ایجاد اتصال بین آلیاژهای آلومینیوم بصورت غیر هم جنس جهت رسیدن به ترکیبی از خواص دو آلیاژ مورد توجه محققین است [۶]. جوشکاری ذوبی آلیاژهای آلومینیوم همیشه دانه های درشت و ترکیبات بین فلزی (**IMC**) شکننده ایجاد خواهد نمود که بیانگر این حقیقت است که

ورق ها اصطکاک لازم ایجاد شود و ورق ها در حین اعمال ارتعاشات دچار تغییر وضعیت نشوند.



شکل ۱- نحوه همپوشانی ورق ها جهت جوشکاری

تجهیزات فرایند جوشکاری آلتراسونیک

یک ماشین جوشکاری اولتراسونیک شامل اجزای زیر است: یک منبع تغذیه، یک مبدل فراصوت، یک آمپلی فایر تقویت کننده به نام بوستر، یک وسیله هدایت امواج فراصوت به نام شیپوره منبع تغذیه فرکانس برق شهر ۶۰-۵۰ هرتز را به ۲۰-۷۰ کیلو هرتز می‌رساند [۱۰، ۱۱]. این انرژی به مبدل می‌رود و در مبدل دیسک پیزو الکتریک موج الکتریک با فرکانس بالا به ارتعاشات مکانیکی (امواج اولتراسونیک) با فرکانس بالا تبدیل می‌شود. اغلب ماشین‌های اولتراسونیک در فرکانسی بالاتر از ۲۰ کیلو هرتز کار می‌کنند [۱۶] و صدایی تولید می‌کنند که شبیه یک سوت بوده که می‌تواند برای اوپراتور در دراز مدت تولید مزاحمت و اذیت کند لذا توجه به میزان دسی بل صدای این دستگاه‌ها بسیار مهم است. امروزه شرکت‌های معتبر اروپایی هزینه‌های بسیار زیادی را صرف تحقیق و توسعه محصولات خود نموده‌اند تا علاوه بر افزایش راندمان و کیفیت جوشکاری دستگاه‌های خود این صداها را در حد بسیار زیادی کاهش دهند. امواج تولید شده در مبدل به بوستر رفته و دامنه آن تا حد دلخواه افزایش پیدا می‌کند و سپس در هورن (که یک وسیله صوتی مکانیکی است) امواج صوتی مستقیماً به قطعه کار منتقل می‌شود. همچنین هورن نقش اعمال فشار بر روی قطعه را نیز بر عهده دارد. بعد از انتقال امواج صوت به قطعه کار در منطقه اتصال در اثر اصطکاک زیاد ناشی از جنبش مولکولی سطوح دو قطعه کار این انرژی تبدیل به گرما شده و باعث نرم شدن و ذوب پلاستیک و به وجود آمدن شرایط جوشکاری می‌شود. دستگاه ساخته شده برای جوشکاری ورق‌ها مطابق شکل می‌باشد. از جک نشان داده شده در شکل برای اعمال نیرو در محل گره ارتعاشی بکار گرفته شده است.



شکل ۲- هورن متصل به بوستر و مبدل آلتراسونیک به همراه فلنج تعبیه شده در نقطه گره

منطقه نقطه جوش به واسطه فشار هورن مساحت 5×5 میلی‌متر مربع بر روی ورق **Al 1050** ایجاد می‌کند. مساحت سندان (anvil) ابعاد 5×10 میلی‌متر مربع دارد که برای ایجاد دستیابی به نقطه جوش

جوشکاری ذوبی آلیاژهای آلومینیوم موفقیت‌آمیز و مؤثر خواهد بود. همچنین روش حالت‌جامد/ مایع در فصل مشترک آلیاژهای آلومینیوم کاربرد ندارد، زیرا اختلاف کمی بین نقاط ذوب این دو فلز وجود دارد [۷]، به همین دلیل روش دیگری برای کنترل ماده بین فلزی ایجاد شده در محل اتصال آلیاژهای آلومینیوم مورد نیاز می‌باشد. از طرفی خواص مکانیکی جوش به شدت به ضخامت لایه بین فلزی تشکیل شده بستگی دارد [۸]. با توجه به موارد ذکر شده، در این تحقیق در نظر است جوشکاری آلتراسونیک غیر هم جنس برای آلیاژهای آلومینیوم به صورت عملی بکار گرفته شود. برای این کار لازم است فیکسچر جوشکاری طراحی و ساخته شود و همچنین هورن مربوط به جوشکاری نیز با استفاده از نرم‌افزار المان محدود **ANSYS**، تحلیل، طراحی و سپس ساخته شود. در ادامه، خواص مکانیکی اتصال شامل چقرمگی شکست، تنش برشی/کششی، سختی سنجی های ماکرو و میکرو بررسی می‌شوند.

مواد و روش پژوهش

مهمترین متغیرهای فرایند **USW** توان مولد التراسونیک، زمان جوشکاری و نیروی اعمالی به محل اتصال می‌باشد [۹] و سعی بر آن داریم هر یک از این پارامترها را به حالت بهینه در آوریم تا بهترین جوش از لحاظ استحکام و رسوبات فصل مشترک بدست آید.

ورق‌ها و فرایند جوشکاری

جدول ۱- خواص شیمیایی آلومینیوم ۳۱۰۵

ترکیبات	Al	Mn	Cu	Fe	Si	Cr	Zn
درصد وزنی	97.52	0.666	0.089	0.692	0.676	0.007	0.132

جدول ۲- خواص مکانیکی آلومینیوم ۳۱۰۵

Density ($\frac{kg}{m^3}$)	Poisson Ratio	Elastic modulus (Gpa)	Tensile strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Hardness (HB)	Shear Strength (Mpa)
2.72	0.33	68.9	152	131	40	96.5

جدول ۳- خواص شیمیایی آلومینیوم ۱۰۵۰

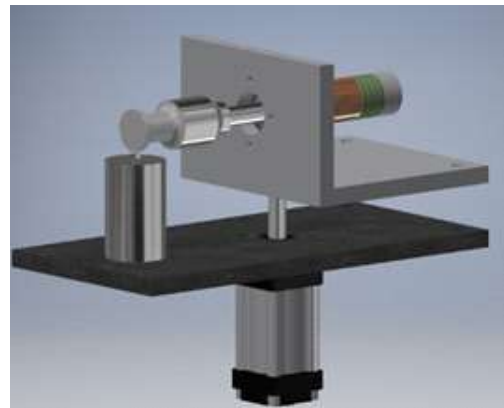
ترکیبات	Al	Mn	Cu	Fe	Si	Cr	Zn
درصد وزنی	99.57	0.008	0.003	0.279	0.06	<0.002	0.059

جدول ۴- خواص مکانیکی آلومینیوم ۱۰۵۰

Density ($\frac{kg}{m^3}$)	Poisson Ratio	Elastic modulus (Gpa)	Tensile strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Hardness (HB)	Shear Strength (Mpa)
2.705	0.33	68	110	103	30	96

پس از تایید شدن نتایج آزمایشگاهی ورق‌های آلومینیومی ۱۰۵۰ و ۳۱۰۵ با دستگاه برش ورق به ابعاد 50×20 میلی‌متر برشکاری گردید. ابعاد ورق مطابق استاندارد **D1002-10** انجام شده است. برای محل ایجاد نقطه جوش در ورق‌ها مساحت 10×20 میلی‌متر در نظر گرفته شده که در واقع به این اندازه ورق‌ها هم پوشانی شده‌اند. محل هم پوشانی ورق‌ها با سمباده ۱۸۰ زبر و سپس با اتانول شستشو و خشک شدند. ایجاد سطح زبر به این علت است که بین

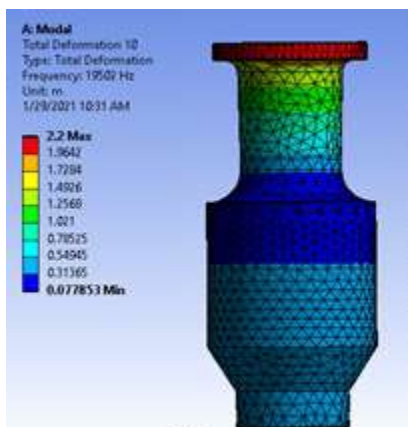
مورد نظر بزرگتر از ابعاد روی هورن در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- نقشه مونتاژ شده اجزاء سیستم جوشکاری آلتراسونیک طراحی شده

جدول ۵- مشخصات هورن

جنس ماده	چگالی $\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	مدول الاستیسیته $E (GPa)$	ضریب پواسون ν	فرکانس تشدید $f (kHz)$
Mo40	۷۸۵۰	۲۰۵	۰,۲۹	۲۰



شکل ۴- فرکانس طبیعی مود اول طولی برای هورن مورد استفاده در فرایند USW

هورن مورد نظر به صورت تجربی ساخته شد و سپس به انتهای تقویت کننده متصل گردید و با استفاده از یک فانکشن ژنراتور و اسیلوسکوپ فرکانس تجربی نیز بدست آمد. مشاهده شد که فرکانس تشدید تجربی در حدود ۱۹۷۱۰ هرتز می باشد. با توجه به اینکه فرکانسی از تحلیل نرم افزار بدست آمد ۱۹۵۰۲ می باشد و اختلاف زیادی با حالت تجربی ندارد و هر دو به فرکانس ۲۰۰۰۰ هرتز مولد آلتراسونیک نزدیک می باشد می توان نتیجه گرفت هورن ساخته شده و تحلیل شده جهت جوشکاری نقطه ای آلتراسونیک مناسب می باشد.

هدف این تحقیق بررسی میزان تاثیر گذاری فرایند USW در نمونه های مختلف با شرایط مختلف می باشد. از این رو جهت دستیابی به نتایج مناسب ابتدا پارامترها و فاکتورهای موثر بررسی و تعیین خواهد شد. ملاحظه می شود که پارامترهای فراوانی بر عملکرد دستگاه و کیفیت جوش موثر است در جدول (۶) خلاصه ای از پارامترها و مقادیر انتخابی آنها در فرایند USW ارائه شده است. انتخاب این مقادیر پس از انجام تعداد زیادی عملیات روی نمونه های مختلف همچنین در نظر گرفتن نیازهای مطرح شده در بالا و نیز باتوجه به مقالات در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

ابعاد نمونه های آزمون کشش مطابق شکل و استاندارد و منابع نمونه سازی گردیده آزمون کشش برای همه نمونه ها با سرعت ۱ میلی متر بر دقیقه در دمای محیط انجام شد. نحوه شکست نمونه ها در شرایط مختلف طراحی آزمایش متفاوت بود برای مثال در فشار ۴ بار در

- شبیه سازی المان محدود هورن مورد استفاده در فرایند جوشکاری

تحلیل المان محدود یکی از قدرتمندترین و انعطاف پذیرترین ابزار های موجود برای حل مسائل مهندسی می باشند. مدل سازی المان محدود اولین بار توسط کورانت در سال ۱۹۴۳ توسعه پیدا کرد. او با بهره گیری از روش ریتز در تحلیل عددی، جواب های تقریبی برای یک سیستم ارتعاشی بدست آورد [۲۰].

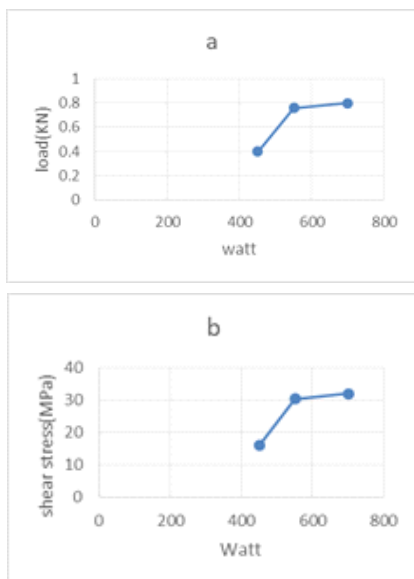
طرح اولیه برای هورن با استفاده از روش تئوری در بخش قبل، به طور کامل بررسی و تعیین گردید. لیکن برای نهایی نمودن طرح اولیه هورن، نیاز به استفاده از آنالیز المان محدود می باشد تا بتوان از این طریق دقت محاسبات و تحلیل ها را افزایش داد. [۲۱]

در این تحقیق از نرم افزار ANSYS برای تحلیل نهایی هورن استفاده شد و با بررسی های مختلف المان محدود، هورن مناسب برای عملیات (USW) نهایی گردید.

در تحلیل المان محدود تنوعات زیادی در تکنیک های مش ریزی وجود دارد تکنیک های مختلف مش ریزی سطوح مختلفی از اتوماسیون و کنترل توسط کاربر ارائه می کنند. در این بررسی از تکنیک مش ریزی آزاد، با المان های هرمی استفاده شده است. چرا که با این تکنیک براحتی می توان بر روی شکل های هندسی پیچیده، مش با کیفیت بالا ریخته و از این طریق نرم افزار نیاز به بخش بندی کردن قطعه ندارد. تکنیک های مش ریزی آزاد با المان های هرمی عملاً الگوریتم پیش فرض خود نرم افزار بوده که برای شکل های پیچیده، به طور قابل توجهی از دیگر تکنیک های مش ریزی قوی تر می باشد.

تعداد المان ها در مدل، ابتدا با اندازه دانه بندی سراسری و ویژگی های ساختاری انطباقی کنترل می شود. متعاقباً یک مطالعه همگرایی مش انجام می شود. بدین صورت که با تغییر دادن تعداد المان های مدل به بررسی نتایج پرداخته و از این طریق اطمینان مناسب در خصوص صحت مدل سازی المان محدود ایجاد می شود.

همانطور که از شکل (۵) مشاهده می شود برای زمان ۲ ثانیه نمونه با توان ۴۵۰ وات دارای حد تحمل ۴۰ کیلوگرم و نمونه های با توان ۵۵۰ و ۷۰۰ وات به ترتیب دارای حد تحمل ۷۶ و ۸۰ کیلوگرم می باشند. نحوه تغییرات نیروی قابل تحمل بوسیله جوش و تنش برشی بر حسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک در شکل (۶) قابل مشاهده می باشند. و برای نمونه ها زمان ۳ ثانیه همانطور که از شکل (۷) مشاهده می شود در توان ۲۵۰ وات جوش از استحکام کافی برخوردار نمی باشد و در آزمون کشش و ورق ها از روی هم جدا شدند. اما با افزایش توان از ۳۵۰ تا ۷۰۰ وات حد تحمل جوش افزایش یافته تا جایی که در ۷۰۰ وات نیرویی حدود ۹۰ کیلوگرم را تحمل میکند. همچنین با افزایش تمام میزان تغییر شکل نمونه های جوش خورده نیز افزایش یافته است. نحوه تغییرات نیروی قابل تحمل بوسیله جوش و تنش برشی در شکل های قابل مشاهده می باشند.



شکل 6- نمودار نیرو بر حسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک (نمودار تنش برشی بر حسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک (زمان 2 ثانیه)

در شکل (۸) نمونه ای از شکست نمونه ها در حالت جدا شدن ورقه ها و شکست از ناحیه جوش نشان داده شده است.

نتایج نمونه های فشار ۵ بار و زمان ۲ و ۳ ثانیه

در این شرایط تست نیز همه جوش ها در توان های مختلف صورت گرفت و از استحکام خوبی برخوردار هستند. از نتایج تست کشش مشخص شد که تمام اتصال جوشی از ناحیه متصل شده جوش جدا می شوند به جز نمونه P5W250t2 و P5W250t3 که موقع تست ورق ها از روی هم جدا شدند نتایج حاصل از تست کشش در شکل قابل مشاهده می باشد. مطابق طراحی آزمایش نام تست ها عبارتند از:

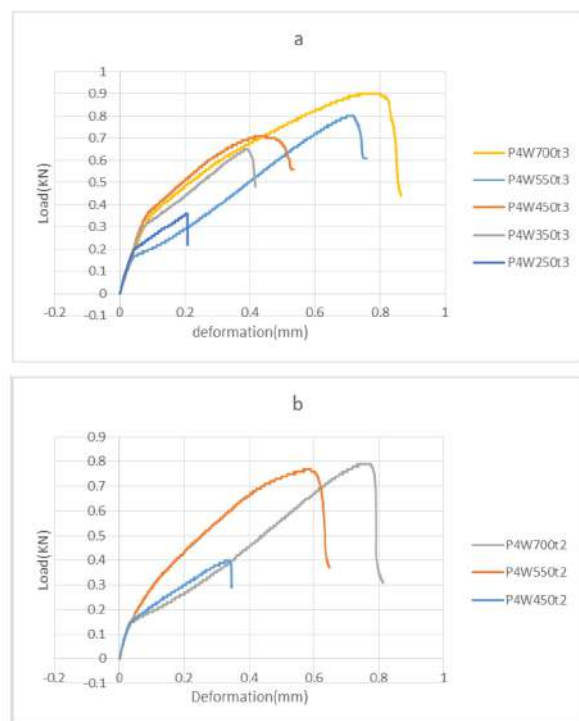
P5W250t2, P5W350t2, P5W450t2, P5W550t2, P5W700t2 و P5W250t3, P5W350t3, P5W450t3, P5W550t3, P5W700t3

توان های پایین نمونه ها از محل جوش از روی هم جدا شده اند و جوش استحکام کافی را نداشت ولی در فشار های ۴ بار شکست از اطراف ناحیه جوش شروع شد. نتایج حاصل تست کشش برای نمونه های مختلف به شرح زیر می باشد.

- نتایج نمونه های فشار ۴ بار و زمان ۲ و ۳ ثانیه

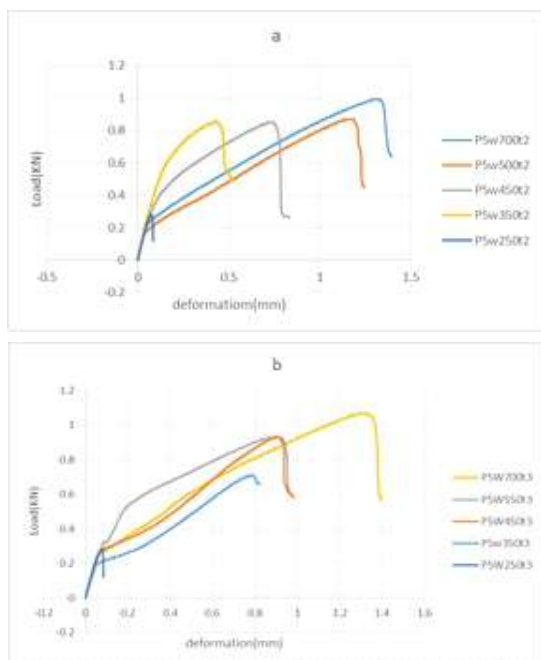
برای فشار ۴ بار و زمان ۲ ثانیه تست های شماره یک و دو در توان ۲۵۰ و ۳۵۰ وات انجام نشد و در واقع اتصال برقرار نشد و آن هم به علت توان پایین و زمان کوتاه بود که فرصت برای نفوذ و کار مکانیکی وجود نداشت. لذا برای این شرایط طراحی آزمایش تست های P4W350t2 و P4W250t2 در نتایج قرار داده نشده اند. برای سه مورد دیگر در این شرایط طراحی آزمایش، تست کشش انجام گرفت و مشاهده گردید که برای نمونه P4W450t2 با توجه به اینکه اتصال جوش برقرار شده است اما در تست کشش از محل جوش جدا نشد و ورق ها از روی هم جدا شدند ولی نکته قابل توجه این است که همچنان یک نیروی قابل تحمل (حدود ۴۰ کیلوگرم) برای این اتصال وجود دارد که در نمودارها قابل مشاهده است. برخلاف حالت قبل در شرایط تست ۴ بار و زمان ۳ ثانیه همه جوش ها در توان های مختلف شکل گرفتند. اما در توان های پایین باز هم جوش از استحکام کافی برخوردار نبود و در موقع تست کشش ورق ها از هم جدا شدند که نتایج حاصل از تست کشش به صورت زیر می باشد. مطابق طراحی آزمایش نام تست ها عبارتند از:

P4W250t3, P4W350t3, P4W450t3, P4W550t3, P4W700t3

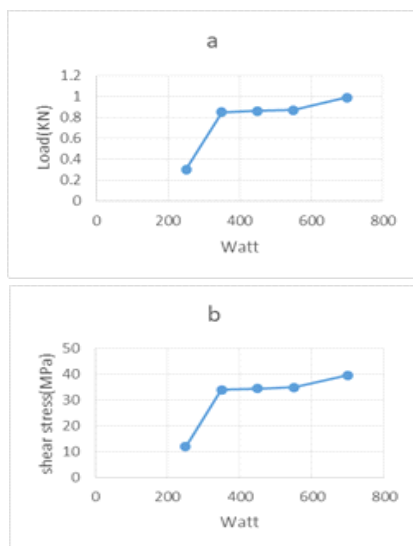


شکل ۵- نتایج تست کشش در فشار ۴ بار و زمان ۲ و ۳ ثانیه

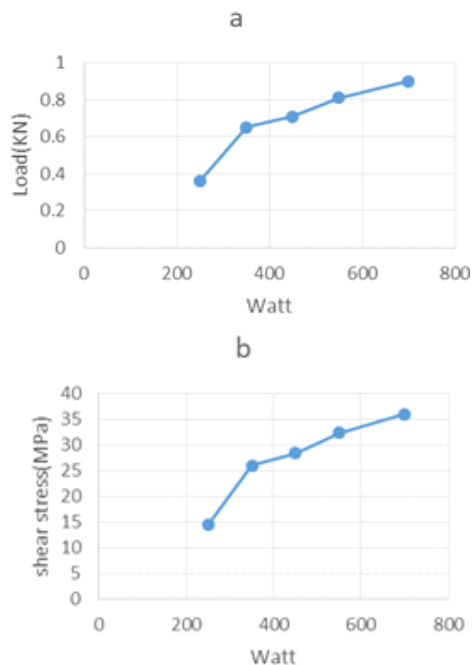
محل اتصال ها و زمان کافی برای نفوذ عناصر آلیاژی وجود نداشته است بیشترین استحکام اتصال برای فشار ۵ بار زمان ۳ ثانیه ها افتاد و در این حالت تغییر طول نمونه در حین آزمایش کشش نیز نسبت به حالت های قبلی قابل توجه بود اما این بدان معنی نیست که بقیه جوش ها مورد قبول نیستند و بنا بر کاربرد مورد نظر و محل مورد استفاده جهت کاهش مصرف انرژی و زمان می توان این نقطه جوش ها نیز با استحکام به دست آمده استفاده نمود.



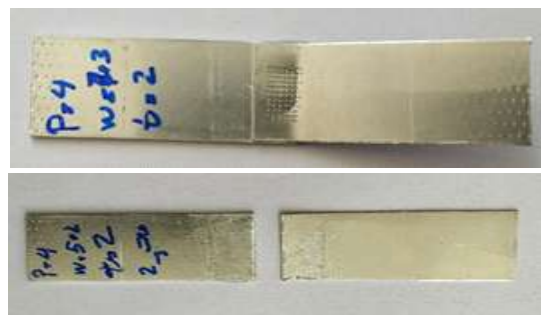
شکل ۹- نتایج تست کشش در فشار ۵ bar الف- ۳ ثانیه و ب- ۲ ثانیه



شکل ۱۰- نمودار نیرو بر حسب توان مصرفی مولد اولتراسونیک ب- نمودار تنش برشی بر حسب توان مصرفی مولد اولتراسونیک (زمان ۲ ثانیه)



شکل ۷- الف- نمودار نیرو بر حسب توان مصرفی مولد اولتراسونیک ب- نمودار تنش برشی بر حسب توان مصرفی مولد اولتراسونیک (زمان ۲ ثانیه)

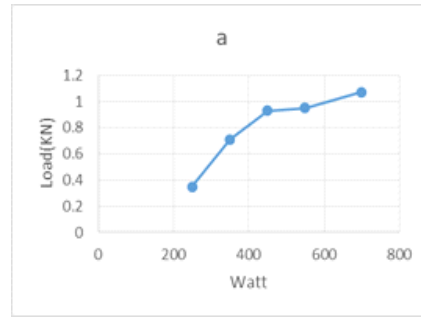
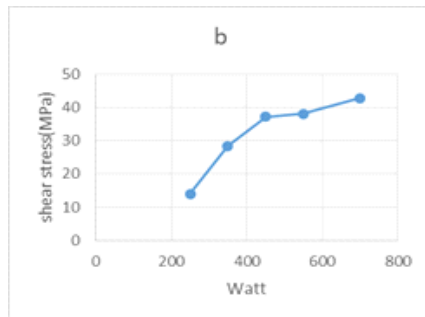


شکل ۸- نمونه ای از جدا شدن ورق ها

همانطور که از نمودار های شکل (۱۰ و ۱۱) مشاهده می شود با افزایش توان، تنش برشی افزایش می یابد که این افزایش برای حالت توان ۵ بار زمان ۳ ثانیه نسبت به حالت های قبلی محسوس است.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج تست کشش مشاهده می شود که با افزایش توان و زمان اعمال نیرو به محل اتصال، استحکام جوش افزایش می یابد و در واقع افزایش توان به معنای افزایش شدت جریانی است که دستگاه مولد برق مصرف می کند. با افزایش توان دامنه فرکانس ها در نتیجه انرژی بیشتری به محل وارد می شود و باعث افزایش دما در فصل مشترک ورق ها خواهد شد و نفوذ عناصر آلیاژی اتفاق می افتد در توان های پایین و زمان های کم اعمال نیرو، جدایش ورق ها از روی یکدیگر مشاهده می شود که نشان می دهد انرژی (دمای) کافی در



شکل ۱۱- الف- نمودار نیرو بر حسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک ب- نمودار تنش برشی بر حسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک (زمان ۳ ثانیه)

- 12-V. Yadava and A. Deoghare, "Design of horn for rotary ultrasonic machining using the finite element method," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 39, no. 1-2, pp. 9-20, 2008.
- 13-M. HEMAMI and M. H. SADEGHI, "ANALYTICAL MODELING AND FINITE ELEMENT SIMULATION OF EXPONENTIAL HORNS WITH RECTANGULAR CROSS-SECTION: APPLICATION ON ULTRASONIC ASSISTED GRINDING," 2014.
- 14-A. Cardoni and M. Lucas, "Enhanced vibration performance of ultrasonic block horns," *Ultrasonics*, vol. 40, no. 1, pp. 365-369, 2002.
- 15-A. I. Markov and E. Neppiras, *Ultrasonic machining of intractable materials*. Ilife Books, 1966.
- 16-G. Graham, J. Petzing, and M. Lucas, "Modal analysis of ultrasonic block horns by ESPI," *Ultrasonics*, vol. 37, no. 2, pp. 149-157, 1999.
- 17-S. J. Blumenkranz, "Polarization and temperature insensitive surgical instrument force transducer," ed: Google Patents, 2013.
- 18-J. R. Frederick, "Ultrasonic engineering, John Wiley & Sons Inc.," 1965.
- 19-<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=7b75475aa1bc41618788f63c6500d36b&ckck=1>, ed.
- 20-D. Ensminger and L. J. Bond, *Ultrasonics: fundamentals, technologies, and applications*. CRC press, 2011.
- 21-J. N. Reddy, *An introduction to the finite element method (no. 2.2)*. McGraw-Hill New York, 1993.
- 22-S. Amini, H. Soleimanimehr, M. Nategh, A. Abudollah, and M. Sadeghi, "FEM analysis of ultrasonic-vibration-assisted turning and the vibratory tool," *Journal of materials processing technology*, vol. 201, no. 1, pp. 43-47, 2008.
- 23-M. Na, "Ultrasonic horn design for ultrasonic machining technologies," *Applied and Computational Mechanics*, vol. 4, no. 1, 2010.

پی نوشت

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی گلبایگان
2- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی گلبایگان
3- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی گلبایگان.
4- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی گلبایگان

منابع

- 1-H. Fujii, H. Endo, Y. Sato, and H. Kokawa, "Interfacial microstructure evolution and weld formation during ultrasonic welding of Al alloy to Cu," *Materials Characterization*, vol. 139, pp. 233-240, 2018.
- 2-V. Patel, S. Bhole, and D. Chen, "Microstructure and mechanical properties of dissimilar welded Mg-Al joints by ultrasonic spot welding technique," *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 17, no. 3, pp. 202-206, 2012.
- 3-R. Jahn, R. Cooper, and D. Wilkosz, "The Effect of Anvil Geometry and Welding Energy on Microstructures in Ultrasonic Spot Welds of AA6111-T4," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 38, no. 3, pp. 570-583, 2007, doi: 10.1007/s11661-006-9087-0.
- 4-A. Panteli, J. Robson, I. Brough, and P. Prangnell, "The effect of high strain rate deformation on intermetallic reaction during ultrasonic welding aluminium to magnesium," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 556, pp. 31-42, 2012.
- 5-I. E. Gunduz, T. Ando, E. Shattuck, P. Y. Wong, and C. C. Doumanidis, "Enhanced diffusion and phase transformations during ultrasonic welding of zinc and aluminum," *Scripta materialia*, vol. 52, no. 9, pp. 939-943, 2005.
- 6-H. Neubert, "Instrument transducers. An introduction to their performance and design, 2nd edn. Clarendon," ed: Oxford, 1975.
- 7-A. Ledoux, "Theory of piezoelectric materials and their applications in civil engineering," *Massachusetts Institute of Technology*, 2011.
- 8-I. Noboru, "Introduction to Fine Ceramics (Application in Engineering)," ed: John Wiley & Sons Ltd, 1987.
- 9-S. Amin, M. Ahmed, and H. Youssef, "Computer-aided design of acoustic horns for ultrasonic machining using finite-element analysis," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 55, no. 3, pp. 254-260, 1995.
- 10-Z. P. F. D. G. Dongming and F. Yaying, "Design of horn using four-end network method [J]," *Acta Acustica*, vol. 6, p. 014, 2002.
- 11-E. Bngtsson, D. Noreland, and M. Berggren, "Shape optimization of an acoustic horn," *Computer methods in applied mechanics and engineering*, vol. 192, no. 11, pp. 1533-1571, 2003.



آشنایی با الزامات استاندارد 3834 الزامات کیفیتی در جوشکاری ذوبی مواد فلزی - الزامات کیفیتی جامع - قسمت دوم

مهندس افشین خیام

ISO 3834 الزامات را باید بتواند برآورده کند. ممکن است بعضی از این پیمانکاران فرعی در لیست سیاه (**Black List**) کارفرما باشند. باید در مراحل اولیه انعقاد قرارداد این لیست از کارفرما گرفته شود. و بی جهت هزینه و وقتی روی پیمانکاری نگذارید که در لیست کارفرمای شما نیست. به هر حال کارفرما به علل مختلف تصمیم ندارد با یکسری از پیمانکاران کار بکند یا با آن‌ها کار کرده است تجربه و سابقه خوبی ندارد. یا برعکس ممکن است لیستی را بدهد که اتفاقاً خیلی هم کمک کند. می‌گوید من تنها با اینها تمایل دارم کار کنم و اگر شما می‌خواهید غیر از این لیست با کس دیگه ای کار کنید حتماً باید به تأیید کارفرما برسائید. پس ارزیابی پیمانکار فرعی قبل از انعقاد قرارداد می‌تواند یکی از نکات مهم باشد.

-وقتی یک سازنده تمایل دارد که از خدمات یا فعالیت‌های یک پیمانکار فرعی استفاده کند (مثلاً: جوشکاری، بازرسی، آزمایش‌های غیرمخرب (**NDT**))، عملیات حرارتی)، اطلاعات لازم برای تطابق با الزامات مورد کاربرد باید توسط سازنده برای پیمانکار فرعی تأمین شود.

-پیمانکار فرعی باید سوابق و مستندات مربوط به کار را همانگونه که سازنده تعیین کرده است، تهیه کند.

-پیمانکار فرعی باید با دستور و مسئولیت سازنده کار کرده و کاملاً با الزامات مربوطه استاندارد **ISO 3834** تطابق داشته باشد.

-اطلاعاتی که توسط سازنده برای پیمانکار فرعی تهیه می‌شود باید شامل همه داده‌های مرتبط با بازنگری الزامات و بازنگری فرعی باشد هنگامی که لازم است از تطابق شرایط پیمانکار فرعی با الزامات فنی اطمینان حاصل شود ممکن است الزامات دیگر نیز تعیین شوند. ارزیابان این موارد از بند ۸ این استاندارد را در ارزیابی‌ها مورد بررسی قرار می‌دهند:

1- اول باید لیستی از پیمانکاران فرعی را به ارزیاب ارائه دهید که ما با اینها کار می‌کنیم که باید به تأیید کارفرما رسانیده شده باشند و یا از

بند ۶- پیمانکاری فرعی (Sub-Contracting)

این بند از استاندارد به بیان وظایف سازنده و پیمانکار فرعی (در صورت وجود) جهت رعایت الزامات این استاندارد می‌پردازد. بعد از اینکه مباحث مرتبط با بازنگری قرارداد و بازنگری فنی به شکل صحیحی اجرا شد، قرارداد منعقد و فرایند تولید آغاز شد. اولین چیزی که شاید لازم باشد راجع به آن صحبت شود اینست که این کار را خود سازنده می‌تواند از ۰ تا ۱۰۰٪ آنرا انجام دهد یا اینکه شاید لازم باشد از خدمات پیمانکاران فرعی استفاده کند.

تعریف پیمانکاران فرعی: پیمانکاران فرعی در واقع سازمان‌ها و اشخاص حقوقی هستند که به شکل شبکه‌ای با پیمانکار اصلی پروژه در ارتباطند و بخشی از فرایندهای تولید را تقبل می‌کنند که اجرا کنند. آیا برای پیدا کردن پیمانکار فرعی و کار کردن با آن باید الزامی رعایت شود یا خیر؟ استاندارد خدمات پیمانکاران فرعی را در حوزه استاندارد ۳۸۳۴ تعریف کرده است: پیمانکار بخشی از فرایند جوشکاری یا تمام آنرا برون سپاری می‌کند. یعنی توانمندی اجرای کامل آن در سازمان وجود ندارد و می‌خواهد این خدمات را از یک سازمان بیرونی و از یک پیمانکار فرعی استفاده کند. و یا اینکه به عنوان مثال می‌خواهد از خدمات عملیات حرارتی پس از جوشکاری (**PWHT**) از خدمات بیرونی استفاده کند. با چه کسانی می‌توانید کار کنید؟ باید قبل از انعقاد قرارداد و یا تصمیم به کار کردن با این پیمانکار فرعی باید آنرا مطابق بند ۶ استاندارد ارزیابی کنید. یعنی آن خدماتی را که آن پیمانکار قرار است به شما بدهد. باید قبلش مطابق با این بند استاندارد ۳۸۳۴ ارزیابی شود. به طور مثال: اگر خدمات جوشکاری می‌خواهد بدهد. تمام بندهای استاندارد شامل: جوشکار، تجهیزات، **WPS**، **PQR**، مواد مصرفی و بخش زیادی از این بندها را باید از پیمانکار فرعی بخواهیم که برای ما اجرا کند. چون شرکت ۳۸۳۴ دارد سلسله وار تا ریزترین پیمانکار فرعی را که می‌خواهد خدمات را به آن ارجاع بدهد باید مطابق استاندارد

استاندارد ISO 3834-4 (الزامات کیفیتی ابتدایی)	استاندارد ISO 3834-3 (الزامات کیفیتی استاندارد)	استاندارد ISO 3834-2 (الزامات کیفیتی جامع)	عنصر
			پیمانکار فرعی
مشابه یک سازنده ارائه دهنده محصول، خدمات و یا فعالیت‌های مشخص موضوع پیمانکاری فرعی، در نظر گرفته شود. در هر صورت مسئولیت نهایی کیفیت برعهده سازنده اصلی می‌باشد.			

یادآوری - اگر شما براساس یک سطح مشخص مثلاً کارفرما از شما خواسته است که استاندارد ISO 3834-2 داشته باشید. وقتی براساس استاندارد ISO 3834-2 یک قراردادی را واردش شدید شما اجازه ندارید به پیمانکار فرعی این قرارداد را بدهید مگر اینکه آن سطحی که با کارفرما (محصول، قانون) تعیین کرده است. پیمانکار فرعی شما نیز حتماً باید همان سطح از استاندارد را داشته باشد. اگر در الزامات قراردادی یا قانونی تاکید نشود، سازنده باید در شروع کار خود، اطمینان حاصل کند که پیمانکاران فرعی از سطح مناسبی از استاندارد ایران ایزو ۳۸۳۴ در سطح مناسب پیروی می‌کنند یا تمهیداتی برای اجرای کافی کنترل‌ها برای کاری که باید انجام شود، صورت گیرد.

شرکت با توجه به اینکه در اکثر فرم‌های ارزیابی پیمانکاران فرعی موارد بالا ارزیابی می‌شود ولی در این بند استاندارد ۳۸۳۴ مهمترین قسمت از لحاظ صلاحیت فنی (جوشکاران با صلاحیت و ...) می‌باشد که مهمترین مورد می‌باشد. و چک لیستی که طبق آن ارزیابی فنی کرده‌اید و آن شرکت مورد تایید قرار گرفته است. در ارزیابی‌ها اگر گفته شد جوشکاران پیمانکار فرعی صلاحیت دارند (کپی گواهینامه تایید صلاحیت جوشکاری آن‌ها باید زمینه باشد)، اگر گفته شد تجهیزات جوشکاری سالم هستند (کپی گواهینامه کالیبراسیون تجهیزات باید وجود داشته باشد)،

3- این بند از استاندارد نیاز به اسناد و مدارک (Document) دارد. ارزیابی دقیق به همراه سوابق فنی دقیق، پیمانکاران فرعی در انتهای پروژه باید اسناد انتهایی پروژه یا **Final Book** را باید تحویل سازنده بدهند و سازنده باید مدارکی را که از پیمانکار فرعی تحویل می‌گیرد را بدون کم و کاستی به کارفرما تحویل دهد. مدارکی که برای این بند استاندارد پیشنهاد می‌شود روش اجرایی ارزیابی پیمانکاران فنی می‌باشد.

پی نوشت

- مدیر تضمین کیفیت شرکت ناظران یکتا

کارفرما گرفته شده باشند.

2- حتماً باید این پیمانکاران فرعی مطابق با چک لیست‌های فنی ارزیابی شده باشند باید با توجه به نوع پیمانکار فرعی (جوشکاری، بازرسی، NDT، و عملیات حرارتی) آنرا ارزیابی کنید. به طور مثال: پیمانکار فرعی که می‌خواهد خدمات NDT، مثلاً RT را ارائه دهد. باید این موارد را داشته باشد:

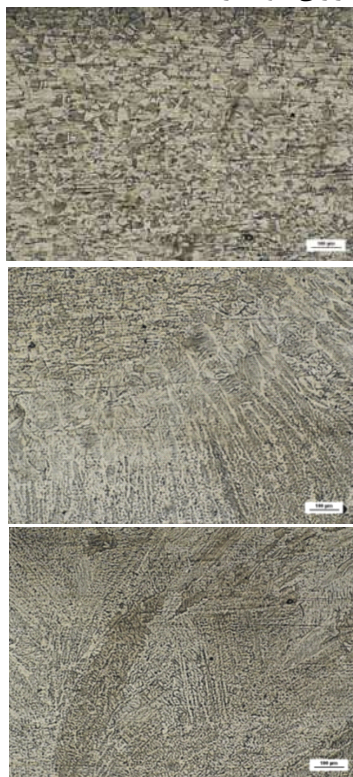
- ♦ دارا بودن پروانه اشتغال رادیوگرافی صنعتی (RT) از مرکز نظام ایمنی هسته‌های کشور
- ♦ داشتن گواهینامه RT Level II توسط مجری فرایند،
- ♦ استفاده از تجهیزاتی که کالیبره و سالم باشند و به تایید سازنده رسیده باشد و
- ♦ داشتن یک دستورالعمل فنی RT، حداقل چیزهایی است که ما را مجاب کند که کار رادیوگرافی جوش را به این پیمانکار فرعی بدهیم. عموماً مواردی که در ارزیابی پیمانکاران فرعی استفاده می‌شود شامل:
- رزومه کاری
- ترنورهای مالی (گردش مالی سالیانه)
- فاصله
- منابع انسانی شرکت (براساس مدرک تحصیلی) - صلاحیت فنی



قابلیت جوشکاری فولاد زنگ نزن آستینیتی بوسیله جوش قوس فلزی با گازهای محافظ مختلف (قسمت پایانی)

کاظم بابایی^۱، فرزاد سلیمانی^۳، مجید پورعبداله^۳

منطقه متاثر از حرارت را می توان به پدیده رسوب کاربید کروم به دلیل چرخه حرارتی جوشکاری نسبت داد.



شکل ۲ - میکروگراف نمونه های متالوگرافی: مواد پایه AISI 304 الف - ZTA، ب - WZ، ج - از نمونه ۵.

نتایج و بحث

کیفیت جوش زمانی قابل قبول تلقی می شود که رسوب دارای نفوذ کافی، پروفیل مهره مناسب و عدم وجود عیوب خارجی و داخلی باشد. در آزمایش های ما، تمام نمونه های جوش داده شده ظاهر ماکروگرافی رضایت بخشی با نفوذ کامل، هندسه تقریباً منظم و بدون نقص ماکروسکوپی قابل مشاهده از خود نشان دادند (شکل ۱).



شکل ۱ - ماکروگراف یک مقطع جوش داده شده (نمونه ۱).

دو فولاد پایه، AISI 304 و ۳۱۶، هر دو دارای ریزساختار ظریف با اندازه دانه متوسط در حدود ۲۰ میکرومتر هستند (نگاه کنید به شکل ۲-الف). WZ نمونه های مختلف با ساختارهای انجماد مشخص می شود که از جهت شار حرارتی پیروی می کند (شکل های ۲-ب و ۲-ج را ببینید).

نتایج آزمایش های ریزسختی در برابر فاصله (x) از محور جوش، همانطور که در شکل ۳ برای یک مورد معرف نشان داده شده است، رسم شده است. منطقه متاثر از حرارت به وضوح قابل تشخیص است که با مقادیر ریزسختی بالاتر و در برخی موارد با قله مشخص می شود. مقادیر میکروسختی در جدول (۱) خلاصه شده است. هر دو مقدار ریزسختی فلزات پایه AISI 304 و ۳۱۶ حدود HV ۱۶۰ هستند. در نواحی جوش داده شده نمونه های مختلف، مقادیر قابل توجه بالاتری ثبت شده است. مقادیر سختی بالاتر ثبت شده در

جدول ۱ - نتایج تست میکروسختی ویکرز

Sample No	Sample material	Hardness (BM)	Hardness (HAZ)	Hardness (WZ)
1	AISI 304	155	155-175	155-175
2	AISI 316	155	180-213	180-200
3	AISI 304	165	160-201	155-177
4	AISI 304	155	170-209	165-190
5	AISI 304	155	155-170	155-165
6	AISI 304	165	160-183	160-172
7	AISI 316	155	165-209	177-187
8	AISI 304	165	160-205	162-183

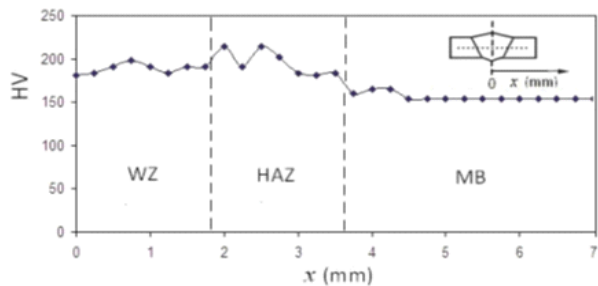
نتیجه گیری
 ورق های **AISI 304** و **AISI 316** با استفاده از قوس الکتریکی و ترکیبات مختلف گاز محافظ (آرگون خالص یا آرگون به علاوه He ، H_2 ، CO_2 یا O_2) جوش پذیری خوبی از خود نشان داده اند. ظاهر ماکروگرافی رضایت بخش با نفوذ خوب، نیمرخ مهره سمت راست و عدم وجود نقص ماکروسکوپی مشاهده شده است. بررسی متالوگرافی بر روی مقاطع جوش داده شده ساختارهای انجماد معمولی را نشان داده است و آزمایش های ریزسختی ویکرز وجود مناطق تحت تأثیر حرارت سخت شده را ارزیابی کرده اند. با توجه به همگنی مشخصات ریزسختی در سراسر جوش داده شده بهترین نتایج در صفحات **AISI 304** جوش داده شده با هیدرواستار H_2 ، هیدرواستار **PB** یا آرگون خالص به عنوان گاز محافظ (به ترتیب نمونه های ۱، ۵ و ۶) به دست آمده است که مقادیر سختی را نسبت به مواد پایه حفظ می کنند. در حالی که در سایر موارد به اوج ریزسختی در حدود 200HV می رسد. همانطور که با **FIMEC** و آزمون کششی اشاره شده است، ناحیه جوش شده با مقداری عدم استحکام مکانیکی مشخص می شود. در هر صورت، راندمان اتصال نتایج بسیار بالایی دارد، به ویژه برای صفحات **AISI 316** که با هیدرواستار H_2 یا آرگون خالص (به ترتیب نمونه های ۲ و ۷) جوش داده شده اند، که در آن راندمان برای تنش نهایی به مقادیری در حدود ۹۰ درصد می رسد.

منبع

-Girolamo Costanza, Andrea Sili, Maria Elisa Tata, Weldability of austenitic stainless steel by metal arc welding with different shielding gas, Procedia Structural Integrity, Volume 2, 2016.

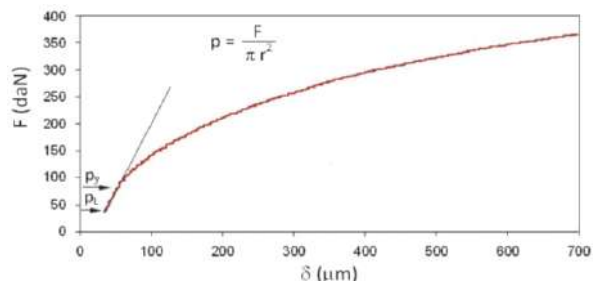
پی نوشت

- ۱- کاظم بابائی، مدرس دانشگاه جامع علمی کاربردی ماموت
- ۲- فرزاد سلیمانی، عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور تهران
- ۳- مجید پور عبدالله، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه



شکل ۳ - مقادیر ریزسختی ویکرز در مقابل فاصله از محور جوشکاری (نمونه ۲).

شکل (۴) نمودار بار در مقابل عمق نفوذ را برای نمونه ۱ نشان می دهد.



شکل ۴ - بار نمودار - عمق نفوذ ثبت شده در طول آزمایش FIMEC در ناحیه جوش (نمونه ۱).



مواد مصرفی جوشکاری میلگردهای فولاد مسلح کننده

کامران تاروردی^۱

ASTMA706/A706M را برآورده می کند.

فرایندهای جوشکاری

- جوشکاری قوسی الکتروود روپوش دار (SMAW)، جوشکاری قوسی فلزی با گاز (GMAW)، جوشکاری قوسی تنگستنی گازی (GTAW)، یا جوشکاری قوسی با الکتروود توپودری (FCAW)، اجرا شود.

- دیگر فرایندهای جوشکاری: دیگر فرایندهای جوشکاری ممکن است هنگامی که توسط مهندس تصویب شده باشد، استفاده شوند، به شرط آنکه الزامات آزمایش مخصوص تایید صلاحیت، که در این کد سخنی گفته نشده باشد، برای اطمینان از جوشهای رضایتبخش برای کاربرد در نظر گرفته شده، فراهم خواهد شد، را، برآورده سازند.

الزامات فلز پُر کننده

- ارتباط فلز پُر کننده/فلز پایه: برای هر اتصال جوشکاری شده طبق این کد، رابطه استحکام فلز پایه - فلز پُر کننده، در پیوستگی با جدول (۱) برای تعیین نمودن این که آیا فلزات پُر کننده تطابق یا کم تطابق می باشند، باید استفاده شوند.

- میلگردهای روکشدار: برای میلگردهای فولاد مسلح کننده روکشدار مطابق با ASTM A767/A767M، ASTM A934/A934M، ASTM A775/A775M، ASTM A1055/A1055M، مشخصات برای میلگردهای فولاد مسلح کننده روکشدار دولا روی و اپوکسی، یا ASTM A1094/A1094M، مشخصات برای میلگردهای فولاد

مقدمه

هدف، معرفی مواد مصرفی جوشکاری برای مقاصد زیر می باشد:
- میلگرد فولاد مسلح کننده به میلگرد فولاد مسلح کننده
- میلگرد فولاد مسلح کننده به فولاد ساختمانی کربنی یا کم آلیاژ

فلز پایه میلگرد فولاد مسلح کننده

مواد فلز پایه میلگرد فولاد مسلح کننده باید مطابق با آخرین چاپ ASTM و طبق پاراگراف زیر باشد:

ASTMA615/A615M -

ASTMA706/A706M -

ASTMA767/A767M: میلگردهای فولاد مسلح کننده روی اندود کاری شده که الزامات ASTM A615/A615M یا ASTM A706/A706M را برآورده می کند.

ASTMA775/A775M: میلگردهای فولاد مسلح کننده روکشدار با اپوکسی که الزامات ASTM A615/A615M یا ASTM A706/A706M را برآورده می کند.

ASTMA934/A934M: میلگردهای فولاد مسلح کننده پیش ساخته روکشدار با اپوکسی که الزامات ASTM A615/A615M یا ASTM A706/A706M را برآورده می کند.

ASTMA1055/A1055M: میلگردهای فولاد مسلح کننده روکشدار دولا روی و اپوکسی که الزامات ASTM A615/A615M یا ASTM A706/A706M را برآورده می کند.

ASTMA1094/A1094M: میلگردهای فولاد مسلح کننده گالوانیزه که الزامات ASTM A615/A615M یا

گالوانیزه داغ برای بتن مسلح. انتخاب فلز پُرکننده باید بر اساس الزامات نوع (حداقل استحکام تسلیم) میلگردهای فولاد مسلح کننده بدون پوشش باشد.

الکترودهای SMAW

الکترودهای SMAW باید با الزامات آخرین چاپ AWSA 5.1/A5.1M، مشخصات برای الکترودهای فولاد کربنی برای الکترودهای جوشکاری قوسی الکترو روپوش دار، یا برای الزامات AWSA 5.5/A5.5M، مشخصات برای الکترودهای فولاد کم آلیاژ برای جوشکاری قوسی الکترو روپوش دار، مطابقت نمایند. - **شرایط نگهداری الکترودهای کم هیدروژن:** همه الکترودهای دارای پوشش های کم هیدروژن مطابق با AWSA 5.1/A5.1M و AWSA 5.5/A5.5M باید در جعبه های بسته شده کاملاً آب بندی شده (کاملاً بی روزه) خریداری شوند یا باید قبل از استفاده پخته شود. بعد از باز کردن جعبه بسته شده کاملاً آب بندی شده، فوراً الکترودها را باید در کوره ها در دمای حداکثر 120°C نگهداری شوند.

- **دوره های زمان مجاز در اتمسفر:** بعد از اینکه جعبه های بسته شده کاملاً آب بندی شده باز می شوند یا بعد از آنکه الکترودها از کوره های نگهداری یا پخت برداشته می شوند، الکترودی که در معرض اتمسفر (هوا) قرار می گیرد نباید از مقادیر نشان داده شده از ستون A، جدول ۲، برای طبقه بندی الکترو مشخص با نقش دهنده های تکمیلی اختیاری، در جاییکه اجرا می شود، بیشتر شود. الکترودهایی که در دوره های کمتر از مقدار مجاز ستون A جدول (۲)، در معرض اتمسفر بوده اند، ممکن است به یک کوره نگهداری بازگردانده شده و حداقل در 120°C نگهداری شود. بعد از حداقل دوره نگهداری چهار ساعته با حداقل دمای نگهداری در 120°C، الکترودها ممکن است دوباره توزیع شوند. الکترودهایی که خیس شده اند، نباید استفاده شوند.

- **جایگزین دوره های زمان در معرض اتمسفر که با آزمایش ها ایجاد شده است:** جایگزین مقادیر زمان در معرض نشان داده شده در ستون B جدول (۲) ممکن است در صورتیکه آزمایش حداکثر زمان مجاز ایجاد شود، استفاده گردد. آزمایش باید مطابق با AWSA 5.5/A5.5M برای هر طبقه بندی الکترو و هر سازنده الکترو انجام شود. ایجاد چنین آزمایش هایی از حداکثر مقادیر رطوبت در AWSA 5.5/A5.5M نباید بیشتر شود. به علاوه، در E70XX یا E70XX-X (یا AWSA 5.1/A5.1M) در پوشش های الکترو کم هیدروژن باید محدود شده و حداکثر مقدار رطوبت نباید بیش از ۰.۴٪ وزنی بیشتر شود. این الکترودها نباید در ترکیب های نسبی نم - دما که بیش از مقدار نم نسبی یا مقدار رطوبت در هوا، در مدت برنامه آزمایش وجود داشته، استفاده شود.

- **پخت مجدد الکترودها:** الکترودهایی که برای دوره های بیش از آنچه در جدول (۲) مجاز شده، در معرض اتمسفر بوده اند، باید مطابق موارد ذیل مجدداً پخت شوند:

♦ همه الکترودهایی که دارای پوشش های کم هیدروژن مطابق با

AWSA 5.1/A5.1M می باشند، باید حداقل به مدت دو ساعت بین 260°C و ۴۳۰°C پخت شود،

- همه الکترودهایی که دارای پوشش های کم هیدروژن مطابق با AWSA 5.5/A5.5M می باشند، باید حداقل یک ساعت در دماهای بین 370°C و ۴۳۰°C پخته شود.

الکترودها نباید بیش از یک بار مجدداً پخت شود.

- **محدودیت های الکترودهای فولادهای A517 یا ASTM A514:** هنگامی که برای جوشکاری میلگردهای فولاد مسلح کننده به فولادهای A517 یا ASTM A514 استفاده شده، الکترودهای هر طبقه بندی پایین تر از E100XX-X، بجز برای E7018M و E70XXH4R، باید حداقل یک ساعت در دمای بین 370°C و 430°C قبل از استفاده پخت شوند، اعم از اینکه جعبه ها به روش بسته شده کاملاً آب بندی شده (کاملاً بی روزه) تولید شده باشند یا نه.

الکترودهای GMAW

الکترودهای تو پُر یا توپودری فلزی برای GMAW باید مطابق با آخرین چاپ AWSA 5.18/A5.18M، مشخصات برای الکترودهای فولاد کربنی و مفتولها rods برای جوشکاری قوسی با حفاظت گازی، AWSA 5.28/A5.28M، مشخصات برای الکترودهای فولاد کم آلیاژ و مفتولها برای جوشکاری قوسی با حفاظت گازی، یا AWSA 5.36/A5.36MAWS، مشخصات برای الکترودهای توپودری فولاد کربنی و کم آلیاژ برای جوشکاری قوسی توپودری و الکترودهای توپودری فلزی برای جوشکاری قوسی فلزی با گاز، برای الکترودهای توپودری کربنی و کم آلیاژ باشد.

الکترودهای FCAW

الکترودها برای FCAW باید مطابق با الزامات آخرین چاپ AWSA 5.20/A5.20M، مشخصات برای الکترودهای فولاد کربنی برای جوشکاری قوسی توپودری، AWSA 5.29/A5.29M، مشخصات برای الکترودهای فولاد کم آلیاژ برای جوشکاری قوسی توپودری، یا AWSA 5.36/A5.36M، مشخصات برای الکترودهای فولاد کربنی یا کم آلیاژ برای جوشکاری قوسی توپودری و الکترودهای فلزی برای جوشکاری قوسی فلزی با گاز، برای الکترودهای توپودری فلزی کربنی و کم آلیاژ باشد.

الکترودهای GTAW و فلزات پُرکننده

- **الکترودهای تنگستن:** جریان جوشکاری باید با قطر و نوع یا طبقه بندی الکترو سازگار باشد. الکترودهای تنگستن باید مطابق با ISO 6848:2004 MOD (AWSA 5.12M/A5.12) مشخصات برای الکترودهای تنگستن و تنگستن با اکسید پراکنده (پخش شده) برای جوشکاری قوسی و برشکاری باشد.

- **فلز پُرکننده:** فلز پُرکننده باید مطابق با همه دیگر الزامات آخرین چاپ AWSA 5.18/A5.18M، مشخصات برای الکترودهای فولاد کربنی و مفتولها برای جوشکاری قوسی با حفاظت گازی یا

جدول ۱- الزامات تطابق فلز پرکننده

گروه مواد	مشخصات فولاد	فرایند جوشکاری	مشخصات الکتروود AWS A5	طبقه بندی های الکتروود ^۱	توضیحات اضافی
I	ASTM A615 Grade 40 ASTM A615M Grade 300	SMAW	A5.1/A5.1M	E7015, E7016, E7016-1, E7018, E7018-1, E7018M, E7028, E7048	الکترودهای با پسوند GS- مستثنی هستند.
		SMAW	A5.5/A5.5M	E7015-X, E7016-X, E7018-X	
		GMAW	A5.18/A5.18M	ER70S-X; E70C-XC, E70C-XM	
			A5.36/A5.36M ^۲	طبقه بندی های فولاد کربنی ^۳ E70C-6M طبقه بندی های باز Open ^۴ E7XT15-C1A2-CS1 E7XT15-M21A2-CS1, E7XTX-XAX-CS1, E7XTX-XAX-CS2	
		GMAW	A5.28/A5.28M	ER70S-XXX; E70C-XXX	
			A5.36/A5.36M ^۲	طبقه بندی های باز کم آلیاژ ^۴ E7XTX-XAX-X	
		GTAW	A5.18/A5.18M	ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM	
		GTAW	A5.28/A5.28M	ER70S-XXX, E70C-XXX	
		FCAW	A5.20/A5.20M	E7XT-X; E7XT-XC, E7XT-XM	الکترودهای با پسوندهای 2C، 2M، 3، ۱۰-، ۱۳، ۱۴- و GS- مستثنی هستند، و الکترودهای با پسوند 11- برای جوشهای میلگردهای فولاد مسلح کننده بزرگ تر از نمره 9 [6] یا برای فولاد ضخامت بزرگ تر از 1/2in [12mm] مستثنی هستند.
			A5.36/A5.36M ^۲	طبقه بندی های ثابت Fixed فولاساده ^۳ E7XT-1C, E7XT-1M E7XT-5C, E7XT-5M E7XT-6 E7XT-8 E7XT-9C, E7XT-9M E7XT-12C, E7XT-12M E70T-4 E7XT-7 طبقه بندی های باز ^{۴۳} E7XTX-C1AX-CS1, E7XTX-M21AX-CS1 ^۴ , E7XTX-C1AX-CS2, E7XTX-M21AX-CS2 ^۴ , E7XTX-XAX-CS1, E7XTX-XAXCS2, E7XTX-AX-CS3	(الکترودهای فلاکس گد Flux Code Electrodes با پسوند T10S, T3S, T1S, T14S و GS- باید مستثنی باشند و الکترودهای با پسوند T11 برای ضخامتهای بیش از 1/2in [12mm] مستثنی هستند.)
			A5.29/A5.29M	E7XTX-X, E7XTX-XC, E7XTX-XM	
		FCAW	A5.36/A5.36M ^۲	طبقه بندی های باز کم آلیاژ E7XTX-C1AX-X, E7XTX-M21AX-X ^۲ E7XTX-XAX-X E7XTX-AX-X	

ادامه جدول ۱- الزامات تطابق فلز پرکننده

گروه مواد	مشخصات فولاد	فرایند جوشکاری	مشخصات الکتروود AWS A5	طبقه بندی های الکتروود ^۱	توضیحات اضافی
II	ASTM A706 Grade 60 ASTM A706M Grade 420	SMAW	A5.5/A5.5M	E8015-X, E8016-X, E8018-X	
		GMAW	A5.28/A5.28M	ER80S-XXX; E80C-XXX	
			A5.36/A5.36M ^۲	طبقه بندی باز کم آلیاژ ^۴ E8XTX-XAX-X	
		GTAW	A5.28/A5.28M	ER80S-XXX, E80C-XXX	
		FCAW	A5.29/A5.29M	E8XTX-X, E8XTX-XC, E8XTX-XM	
A5.36/A5.36M ^۲	طبقه بندی های باز کم آلیاژ ^{۳-۴} E8XTX-C1AX-X, E8XTX-M21AX-X E8XTX-XAX-X E8XTX-AX-X				
III	ASTM 615 Grade 60 ASTM A615M Grade 420	SMAW	A5.5/A5.5M	E9015-X, E9016-X, E9018-X, E9018M	
		GMAW	A5.28/A5.28M	ER90S-XXX; E90C-XXX	
			A5.36/A5.36M ^۲	طبقه بندی های باز کم آلیاژ ^۴ E9XTX-XAX-X	
		GTAW	A5.28/A5.28M	ER90S-XXX, E90C-XXX	
		FCAW	A5.29/A5.29M	E9XTX-X, E9XTX-XC, E9XTX-XM	
A5.36/A5.36M	طبقه بندی های باز کم آلیاژ ^{۳-۴} E9XTX-C1AX-X E9XTX-M21AX-X ^۳ E9XTX-XAX-X E9XTX-AX-X				

IV	ASTM A615 Grade 75 ^۲ ASTM A615M Grade 520 ^۳	SMAW	A5.5/A5.5M	E10015-X, E10016-X, E10010-X, E10018M	
		GMAW	A5.28/A5.28M	ER100S-XXX; E100C-XXX	
			A5.36/A5.36M ^۲	طبقه بندی های باز کم آلیاژ ^۴ E11TX-XAX-XXX	
		GTAW	A5.28/A5.28M	ER100S-XXX, E100C-XXX	
		FCAW	A5.29/A5.29M	E10XTX-XC, E10XTX-XM	
A5.36/A5.36M ^۲	طبقه بندی های باز کم آلیاژ ^{۳-۴} E11TX-XAX-XXX				

- ۱- فلزات پرکننده گروه آلیاژ B30، B3L، B4L، B5، B5L، B6، B6L، B7، B7L، B8، B8L یا B9 در AWS A5.5، A5.28، یا A5.29 ممکن است قبل از تصویب مهندس استفاده شود. رسیدگی باید تفاوت‌های در استحکام کششی، انعطاف پذیری و سختی بین PWHT در مقابل با تازه جوش شده را بوجود آورد.
- ۲- هر AWS A5.36/A5.36M FCAW یا فلز پرکننده توپودری فلزی GMAW ممکن است "پیش صلاحیت دار" باشد اگر در شرایط "تازه جوش شده" طبقه بندی شده باشد و همه الزامات خواص مکانیکی لازم شده طبقه بندی فلز پرکننده برای نوع grade میلگرد فولاد مسلح کننده، صرف نظر از آلیاژ، مجاز شده در این کد را برآورده کند.
- ۳- گازهای محافظ بر پایه آرگون پیش صلاحیت دار برای فولاد کربنی و کم آلیاژ FCAW و فولاد کربنی طبقه بندی های ثابت توپودری فلزی GMAW، GMAW باید M2SG-AC-20/25 باشد، فلز پرکننده GTAW ملاحظه گردد.
- ۴- برای طبقه بندی های باز برای فولاد کربنی و آلیاژی FCAW و الکتروودهای توپودری فلزی GMAW، الکتروودهای طبقه بندی شده با الزامات قبلی گاز محافظ AWS A5.18، A5.20، A5.28 و A5.29 و دیگر گازهای محافظ در جدول ۵ از AWS A5.36/A5.36M استفاده شده برای طبقه بندی یک الکتروود بعنوان پیش صلاحیت در نظر گرفته شود، اما فقط گاز محافظ مشخص برای طبقه بندی استفاده شده و در محدوده گاز محافظ نقش دهنده نمی باشد. (گاز محافظ ملاحظه گردد.)

جدول ۲- در معرض قرار گرفتن مجاز الکترودهای کم هیدروژن در اتمسفر

مشخصات الکتروود AWS A5	الکتروود	ستون A (ساعت)	ستون B (ساعت)
A5.1/A5.1M	E70XX	حداکثر ۴	بیش از ۴ تا حداکثر ۱۰
	E70XXR	حداکثر ۹	
	E70XXHZR	حداکثر ۹	
	E7018M	حداکثر ۹	
A5.5/A5.5M	E70XX-X	حداکثر ۴	بیش از ۴ تا حداکثر ۱۰
	E80XX-X	حداکثر ۲	بیش از ۲ تا حداکثر ۱۰
	E90XX-X	حداکثر ۱	بیش از ۱ تا حداکثر ۵
	E100XX-X	حداکثر ۱/۲	بیش از ۱/۲ تا حداکثر ۴
	E110XX-X	حداکثر ۱/۲	بیش از ۱/۲ تا حداکثر ۴

یادداشت ها

- ستون A: الکترودهائی که در معرض اتمسفر برای دوره های طولانی تر از آنچه نشان داده شده، بودند، باید قبل از استفاده مجدداً خشک شوند.
- ستون B: الکترودهائی که در معرض اتمسفر برای دوره های طولانی تر از آنچه با آزمایش ایجاد شده، بودند، باید قبل از استفاده مجدداً خشک شوند.
- تمام ستون: الکترودها باید بیرون آورده شوند و در تیردان‌ها، یا دیگر جعبه های باز کوچک، نگهداری شوند. جعبه های گرم شده اجباری نمی باشند.
- نقش دهنده تکمیلی اختیاری، علامتهای یک الکتروود کم هیدروژن، که برای مقدار رطوبت پوشش آزمایش شده، بعد از در معرض قرار گرفتن در یک محیط مرطوب برای ۹ ساعت و حداکثر مقدار مجاز شده در **AWS A5.1/A5.1M**، مشخصات برای الکترودهای فولاد کربنی برای جوشکاری قوس الکتروود روپوش دار، برآورده کرده است.

باید گواهی تولید کننده گاز، را که گاز یا مخلوط گاز مطابق با الزامات نقطه شبنم **ISO 14175:2008 MOD (AWS A5.32M/A5.32)**، را تهیه کنند. هنگام مخلوط کردن در محل جوشکاری، اندازه های مناسب، برای متناسب کردن گازها، باید استفاده شود. درصد گازها باید مطابق با الزامات **WPS** باشد.

منبع

AWS D1.4/D1.4M: 2018

پی نوشت

۱- کارشناس معاونت مهندسی و برنامه ریزی شرکت مدیریت تولید برق بیستون

AWS A5.28/A5.28M، مشخصات برای الکترودهای فولاد کم آلیاژ و مفتولها برای جوشکاری قوسی با حفاظت گازی، چنانچه قابل اجرا هست، باشد.

گاز محافظ

گاز یا مخلوط گاز استفاده شده برای حفاظت، باید مطابق با الزامات **ISO 14175:2008 MOD (AWS A5.32M/A5.32)**، مواد مصرفی جوشکاری - گازها و مخلوط گازی برای جوشکاری ذوبی و فرایندهای مرتبط باشد. هنگامی که توسط مهندس درخواست شده باشد، پیمانکار یا نصاب

بررسی خواص ریزساختاری و مکانیکی کامپوزیت سطحی زمینه آلومینیوم ۱۰۵۰ تقویت شده با پودر گرافیت و ساخته شده با فرایند اصطکاکی هم زنی چند پاسه

حسین کشاورز^۱، امیرحسین کوکبی^۲

چکیده

فرایند اصطکاکی اغتشاشی به عنوان یکی از روش های حالت جامد با پتانسیل قابل ملاحظه در تولید کامپوزیت سطحی زمینه آلومینیومی با ریزساختار ریزدانه و فوق ریزدانه شناخته می شود. در این پژوهش، ما از ذرات گرافیتی با سایز ۲۰-۵۰ میکرومتر به عنوان فاز ثانویه تقویت کننده در زمینه آلومینیوم سری ۱۰۵۰، به منظور بهبود خواص مکانیکی از طریق این فرایند استفاده کرده ایم. ذرات گرافیتی درون یک شیار از پیش ماشین کاری شده در وسط نمونه های آلومینیوم ۱۰۵۰ قرار می گیرند و فرایند اصطکاکی اغتشاشی اعمال می گردد. ریزساختار کامپوزیت های ساخته شده با میکروسکوپ های نوری (OM) و الکترون روبشی (SEM) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان داده است که استفاده از فرایند ۴ پاسه سبب توزیع بهتر ذرات فاز ثانویه در زمینه آلومینیومی شده است، به علاوه متوسط سایز دانه ناحیه هم زنی به دلیل وقوع تبلور مجدد دینامیکی در حین فرایند تغییر فرم پلاستیک دمای بالا، کاهش یافته است. آزمون های کشش و ریزسختی نشان داد که با افزایش درصد وزنی ذرات گرافیتی، استحکام کششی و ریزسختی کامپوزیت گرافیت/آلومینیوم ۱۰۵۰ به طور قابل توجهی افزایش یافته و از سوی دیگر درصد ازدیاد طول آن، به دلیل ماهیت ترد ذرات گرافیت با کاهش چشمگیری روبرو بوده است. در زمان استفاده از ۳٪ وزنی گرافیت، بیشینه استحکام کششی کامپوزیت به حدود ۱۹۳ مگا پاسکال و ریزسختی آن به حدود ۷۴ سختی ویکرز رسید، به علاوه تردی کامپوزیت ساخته شده، با افزایش درصد گرافیت، افزایش پیدا می کند.

کلمات کلیدی: فرایند اصطکاکی هم زنی، کامپوزیت سطحی، آلیاژهای آلومینیوم، پودر گرافیت.

مقدمه

امروزه فلز آلومینیوم و آلیاژهایش به دلیل خواص مطلوب مانند نسبت استحکام به وزن بالا، شکل پذیری مناسب و مقاومت به خوردگی خوب به طور گسترده ای در صنایع مختلف از قبیل هوافضا، خودروسازی، ساختمان سازی، کشتی سازی و صنایع دفاعی استفاده می شوند [۱، ۲]. در سال های اخیر بهبود استحکام آلیاژهای آلومینیوم مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. یکی از روش های مناسب شناخته شده برای بهبود استحکام این آلیاژها، اصلاح دانه بندی و تولید آلیاژهای آلومینیوم ریزدانه و یا فوق ریزدانه

به وسیله روش های مختلف تغییر فرم پلاستیک شدید (SPD) از جمله: **Equal channel angular pressing, accumulative roll bonding, high pressure torsion, constrained, groove pressing** است، اما مشکل عمده آلیاژهایی که به روش های فوق افزایش استحکام پیدا می کنند، کاهش شدید شکل پذیری به دلیل افزایش دانسیته نابه جایی های تولید شده در حین فرایند (SPD) است [۳]. از طرفی مقاومت سایشی ضعیف فلز آلومینیوم و آلیاژهایش در کاربردهای طولانی مدت از دیگر نگرانی ها در مورد استفاده از این فلز می باشد، چرا که عمر مفید قطعات وابسته به خواص سطحی از جمله مقاومت به سایش است [۴]. از این رو برای رفع موانع فوق در بهبود خواص مکانیکی فلز آلومینیوم از فرایند اصطکاکی هم زنی (FSP) با بهره گیری از تغییر فرم پلاستیک شدید برای تولید کامپوزیت های سطحی زمینه آلومینیومی با خواص بهینه نسبت به فلز آلومینیوم استفاده می شود.

فرایند اصطکاکی هم زنی (FSP) به عنوان روشی امیدوار کننده برای ساخت کامپوزیت های سطحی زمینه فلزی ظهور کرده است. این نوع فرایند می تواند خواص سطحی از قبیل: مقاومت سایشی، استحکام کششی، مقاومت به خوردگی، عمر خستگی و شکل پذیری را بدون تاثیر منفی بر خواص بالک ماده بهبود دهد. این نوع کامپوزیت سازی سطحی آلیاژهای آلومینیوم (AMCs) با روش اصطکاکی هم زنی، یک ترکیب منحصر به فرد از خواص مکانیکی و خواص اصطکاکی سطح را فراهم می سازد. این روش اولین بار توسط آقای میشرایا به عنوان یک فرایند اقتباس شده از جوش اصطکاکی هم زنی (FSW) معرفی شد. فرایندی که در سال ۱۹۹۱ در انجمن جوشکاری (TWI) ابداع شد. این نوع جوش، یک فرایند جدید جوشکاری حالت جامد به حساب می آید که در ابتدا برای جوشکاری آلیاژهای آلومینیوم مورد استفاده قرار گرفت. در این روش کامپوزیت سازی سطحی، از ذرات با استحکام بالا و مدول یانگ بالا به عنوان تقویت کننده استفاده می شود. به طور کلی فرایند (FSP) متشکل از یک ابزار دوار با سرعت زاویه ای مشخص است. این ابزار شامل دو قسمت شانه ابزار و بین است. این ابزار دوار با سرعت دورانی معین با واحد دور بر دقیقه بر روی سطح قطعه کار با سرعت فرو روی مناسب اعمال می شود و در اثر آن ابتدا پین با قطعه کار درگیر می گردد و مقصداری براده برداری مکانیکی صورت می گیرد و به تدریج پین درون قطعه کار فرو می رود و سپس با ادامه فرو روی ابزار قسمت با قطر بیشتر، تحت عنوان شانه ابزار با قطعه کار درگیر می شود. ابزار همزمان با حرکت دورانی، سرعت خطی معین به واحد سانتی متر بر دقیقه در راستای مدنظر را نیز انجام

FSP منجر به مواردی از قبیل: افزایش واکنش های فصل مشترکی در تولید کامپوزیت های درجا و در نتیجه تاثیر روی بهبود استحکام فصل مشترک فاز ثانویه و فلز پایه [۱۶]، افزایش استحکام تسلیم و کششی، ریزتر شدن دانه بندی به دلیل بازیابی دینامیکی بیشتر [۴]، افزایش سختی، افزایش درصد ازدیاد طول، کاهش سایز خوشه های ذرات تقویت کننده [۴] (به خصوص هنگام استفاده از تقویت کننده های نانویی) و کاهش درصد عیوب ماکروسکوپی و حفره های [۱۶] کامپوزیت تاثیر گذار است.

در اثر تغییر فرم پلاستیک شدید و تولید حرارت در حین **FSP**، دانسیته نابه جایی ها چند برابر می شود [۱۳]. در این پژوهش تلاش می شود تا با افزودن پودر گرافیت با سایز میکرونی و اعمال فرایند تغییر فرم دمای بالای اصطکاکی اغتشاشی، تغییرات ایجاد شده در ریزساختار و دانه بندی کامپوزیت سطحی نهایی و برخی خواص مکانیکی آن از قبیل: استحکام کششی و ریزسختی مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

مواد و روش تحقیق

- مواد مورد استفاده

در این پژوهش ورق آلومینیوم ۱۰۵۰ از شرکت آلومینیوم سازی اراک (اراک، ایران) به ضخامت ۵ میلی متر تهیه شده و به عنوان فلز پایه مورد استفاده قرار گرفته است. جدول (۱) ترکیب شیمیایی حاصل از آنالیز کوانتومتری فلز پایه را می دهد. از این ورق نمونه هایی با ابعاد (۱۵۰*۶۰*۵ میلی متر مکعب) تهیه شده است. همچنین ذرات پودر گرافیت با سایز ۲۰-۵۰ میکرومتر و خلوص ۹۹/۹۹٪ به عنوان فاز تقویت کننده تهیه شده است. شکل (۱) تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی (**SEM**) از ذرات گرافیت را نشان می دهد.

- تهیه کامپوزیت سطحی به روش اصطکاکی هم زنی

جهت ساخت کامپوزیت سطحی ابتدا جهت اعمال پودر فاز ثانویه قبل از انجام فرایند اصطکاکی هم زنی، یک شیار به پهنا، عمق و طول به ترتیب (۱*۳*۱۵۰ میلی متر مکعب) در وسط نمونه ها در راستای طول نمونه تعبیه می شود. سپس درون شیار را به وسیله استون شستشو می دهیم. پس از تمیز کردن و خشک کردن شیار، به وسیله پودر گرافیت به درصد های وزنی ۱٪، ۲٪ و ۳٪ شیار را پر می کنیم و با فشار دست سعی بر فشردن پودر درون شیار می کنیم. برای جلوگیری از بیرون ریختن پودر در حین فرایند اصطکاکی اغتشاشی، به وسیله یک ابزار بدون پین با سرعت خطی ۲۵ میلی متر بر دقیقه و سرعت زاویه ای ۱۸۰۰ دور بر دقیقه (**rpm**) در جهت ساعتگرد سطح شیار را می بندیم. ابزار استفاده شده از جنس فولاد ابزار گرمکار **H13**، به هندسه استوانه ای شکل و به قطر ۱۸ میلی متر است. سپس پاس اصلی فرایند را با ابزار پین دار با هندسه پین رزوه دار با گام به اندازه ۰/۵ میلی متر و به قطر پین ۵ میلی متر و ارتفاع پین ۳ میلی متر با همپوشانی ۱۰۰٪ بر روی

می دهد. در اثر اصطکاک ابزار و قطعه کار، حرارت موضعی تولید می شود که سبب می شود دما به صورت موضعی بالا رود و با انتقال حرارت در کل قطعه به تدریج کل قطعه گرم شود و در نتیجه آن استحکام تسلیم قطعه کار افت پیدا کند. در این شرایط در مسیر حرکت خطی ابزار همراه با حرکت دورانی، تغییر فرم پلاستیک بوسیله پین راحتتر صورت می گیرد و تغییر فرم پلاستیک نیز مقداری حرارت تولید می کند که البته در مقابل حرارت تولیدی با اصطکاک ناچیز است. به طور کلی در فرایند اصطکاکی هم زنی نقش عمده پین، ایجاد سیلان ماده و تغییر فرم پلاستیک شدید (**SPD**) است، در حالی که در اثر اصطکاک بین پین ابزار با قطعه کار، مقداری حرارت نیز تولید می شود. ولی نقش عمده شولدر (تنه ی ابزار) ایجاد اصطکاک شدید با قطعه کار و تولید حرارت قابل توجه تری به نسبت پین است که در نتیجه آن تسهیل در تغییر فرم پلاستیک شدید ایجاد می شود [۴]. از طرفی استحکام دهی به آلیاژهای آلومینیوم به وسیله ذرات سرامیکی میکرونی و نانویی یک راه حل جذاب برای افزایش خواص مکانیکی این آلیاژها است. مطالعات مختلف نشان داده است که با افزودن ذرات تقویت کننده مختلف، افزایش در استحکام کششی و سختی [۵]، خواص اصطکاکی و سایشی [۶]، بهبود مقاومت به خزش [۷]، خستگی [۸] و همچنین افت چقرمگی [۹]، شکل پذیری [۱۰] و انتقال حرارت [۱۱] در کامپوزیت هایی که توزیع یکنواخت فاز ثانویه را تجربه کرده اند، مشاهده شده است.

مطالعات نشان داده است که با افزودن درصد های وزنی مختلف از نانو لوله چند دیواره ای کربن (**MWCNTs**) و اعمال فرایند اصطکاکی هم زنی، در نهایت سختی کامپوزیت سطحی پایه آلومینیومی ساخته شده به دلیل پراکندگی یکنواخت ذرات فاز ثانویه سخت و سرامیکی با افزایش روبرو بوده است و همچنین استحکام کششی کامپوزیت به وسیله مکانیزم های استحکام بخشی چون؛ مکانیزم استحکام دهی اروان، مکانیزم استحکام دهی مرزهای اصلی و فرعی هال-پیچ، استحکام دهی از طریق اختلاف ضریب انبساط حرارتی بین زمینه و تقویت کننده و استحکام دهی از طریق کارسختی افزایش پیدا کرده است [۱۲].

در تولید کامپوزیت **Al6061/Fe₂O₃** مشاهده شده است که در اثر تبلور مجدد دینامیکی (**DRX**) ناشی از حرارت اصطکاک و تغییر شکل پلاستیک شدید، یک دانه بندی به شدت ریز در ناحیه هم زنی (**SZ**) حاصل شده است که این ریزدانه شدن یا فوق ریزدانه شدن به بهبود خواص مکانیکی بسیار کمک می کند [۱۳]. سپس وجود ذرات ریز فاز تقویت کننده مانع از رشد دانه ها می شود و در واقع ذرات تقویت کننده سبب قفل شدن مرزدانه می شود که به این پدیده تاثیر قفل زینر گفته می شود [۴، ۱۴]. این پدیده با ریزتر شدن سایز ذرات تقویت کننده و بیشتر شدن کسر حجمی فاز ثانویه تشدید می شود [۱۵].

همچنین برای ساخت کامپوزیت سطحی مناسب با استفاده از **FSP** باید تعداد پاس هایی که منجر به خواص مطلوب می شود، به عنوان تعداد بهینه شناسایی و معرفی گردد. انتخاب تعداد پاس های بهینه

نرخ کرنش ۱ میلی متر بر دقیقه صورت گرفته است. شکل (۳)، جزئیات ابعادی نمونه تست کشش بر حسب استاندارد ASTM E8M نشان می دهد.

- تست ریزسختی

بر روی ضخامت نمونه های متالوگرافی تهیه شده، تست ریزسختی ویکرز، با نیروی ۱۰۰ گرم و زمان ماندگاری ۱۵ ثانیه صورت می گیرد. برای اینکه سختی تمامی نواحی فلز پایه، متأثر از حرارت، متأثر از کار مکانیکی دمای بالا و اغتشاش پوشش داده شود، ریزسختی بر روی خطی به فاصله ۲ میلی متر از سطح بالایی نمونه ها گرفته می شود و در نهایت یک پروفایل سختی که میانگین ریزسختی در نواحی فوق را گزارش می کند، تهیه می شود.

نتایج و بحث

- بررسی تصاویر استریوگرافی

تصاویر استریوگرافی توزیع پودر فاز ثانویه در زمینه فلز پایه و ناحیه هم زنی ناشی از فرایند را نشان می دهد. همان طور که در تصویر نمونه شاهد (FSP شده بدون افزودن پودر) مشخص است، یک ناحیه حاصل از هم زنی کاملاً متقارن ایجاد شده است که به دلیل حکاکی ماکروسکوپی قوی، تا حدودی ریز شدن دانه بندی از حالت دانه های کشیده اولیه (ناشی از کار سرد و نورد صورت گرفته روی فلز پایه) به دانه بندی بسیار ریزتر، به صورت چشمی قابل ملاحظه است. اما با افزودن پودر گرافیت و به دلیل ضربه اصطکاک پایین ذاتی این پودر، سیلان کامل ماده در ناحیه هم زنی را کاهش می دهد و در نتیجه آن با افزایش درصد پودر فاز تقویت کننده گرافیتی، از تقارن ناحیه هم زنی کاسته شده و توزیع مناسب و همگن پودر نیز کاهش می یابد، چنانچه در یکسری نواحی در ناحیه هم زنی، تجمع بیشتر فاز ثانویه نسبت سایر نواحی با تیره تر دیده شدن ناحیه مشخص است.

- بررسی های ریزساختاری

بررسی های ریزساختاری با میکروسکوپ نوری نشان می دهد که دانه بندی فلز پایه دارای دانه های کشیده حاصل از کار سرد و نورد سرد بوده است، به نحوی که سایز دانه ها در بازه ۱۵۰۰-۲۰۰ میکرومتر بوده و حتی بعد از حک کاری برخی دانه ها به حدی بزرگ بوده است که با چشم غیر مسلح دیده می شده اند (شکل ۵-الف). گرادیان کاهشی سایز دانه از سمت فلز پایه به طرف ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) و متأثر از کار مکانیکی دمای بالا (TMAZ) و در نهایت دانه بندی ریز ناحیه اغتشاش (SZ) در شکل (۵-ب) به وضوح دیده می شود. همچنین تبلور مجدد دینامیکی ایجاد شده ناشی از افزایش دما حین فرایند، به همراه تغییر فرم پلاستیک شدید دمای بالا در اثر اعمال فرایند اصطکاک هم زنی بر روی فلز پایه بدون افزودن پودر گرافیت (نمونه شاهد)، سبب شده است تا در ناحیه هم زنی دانه بندی بسیار ریزتری به نسبت دانه بندی

مسیر بسته شدن شیار در مرحله قبل و در جهت ساعت گرد (بدون تغییر جهت دوران ابزار)، با سرعت خطی ۱۲/۵ میلی متر بر دقیقه و سرعت زاویه ای ۱۶۵۰ دور بر دقیقه اعمال شده است. جهت توزیع بهتر ذرات، فرایند اصلی در ۴ پاس مجزا و بدون تغییر جهت دوران ابزار تکرار شده است. در بین هر پاس زمان لازم جهت کاهش دمای نمونه و رسیدن به دمای محیط داده شده است. همچنین زاویه انحراف ابزار از خط نرمال نسبت به سطح ورق نیز ۳۰° لحاظ شده است. شکل (۲) هندسه رزوه دار پین ابزار را نشان می دهد.

بررسی ماکروسکوپی ناحیه هم زنی

جهت بررسی ماکروسکوپی ناحیه هم زنی و توزیع پودر فاز ثانویه درون زمینه، تصاویر استریوگرافی توسط ماکروسکوپ مربوطه تهیه می شود.

- بررسی های ریزساختاری

خواص ریزساختاری کامپوزیت ساخته شده در جهت ضخامت نمونه با میکروسکوپ های نوری، الکترون روبشی مجهز به آنالیزگر طیف سنخ تفرقی اشعه ایکس بررسی و تحلیل می شوند. در این راستا برای آماده سازی نمونه ها، ابتدا نمونه های FSP شده را در جهت ضخامت برش می دهیم، سپس سطح مقطع نمونه ها را به وسیله سنباده زنی مکانیکی از طریق کاغذ سنباده از جنس SiC به ترتیب با شماره های ۸۰، ۱۸۰، ۳۲۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۲۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ و فرایند پالیش با نمک پالیش و خمیر الماسه، برای آماده سازی جهت حکاکی الکتروشیمیایی مهیا می شود. جهت حکاکی الکتروشیمیایی نمونه ها، از محلول شیمیایی (2.5% HBF4 به عنوان الکترولیت و از یک ورق فولاد زنگ نزن به عنوان کاتد استفاده می شود، در حالی که نمونه ها آند فرایند هستند. در این راستا جریان $0.2A/cm^2$ و ولتاژ ۲۰ ولت به مدت ۱۲۰-۸۰ ثانیه استفاده می شود. پس از اتمام زمان مدنظر نمونه ها ابتدا با آب شستشو داده می شود تا اثر حک کاری قطع گردد و سپس با الکل آب بر روی نمونه حذف می گردد و در انتها نمونه ها خشک می شوند.

- تست کشش طولی

جهت بررسی استحکام کششی و درصد ازدیاد طول کامپوزیت تقویت شده با پودر گرافیت، تست کشش طولی از نمونه های تهیه شده در ناحیه اغتشاش و در طول مسیر فرایند گرفته می شود. نمونه های تست کشش بر اساس استاندارد ASTM E8M با طول سنجی ۳۲ میلی متر و پهنای ۶ میلی متر تهیه می شوند. لازم به ذکر است برای تعیین اثر افزودن پودر تقویت کننده گرافیتی به فلز پایه و همچنین اثر فرایند اصطکاک هم زنی بر روی فلز زمینه، نمونه های تست کشش از فلز پایه و FSP شده بدون افزودن پودر (نمونه شاهد) تهیه می شوند. برای اطمینان از صحت داده های حاصل از تست کشش، برای هر حالت ۳ نمونه تهیه شده و با تکرار پذیری ۳ مرتبه، تست کشش صورت گرفته است. این فرایند در دمای اتاق و با

نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی خواص مکانیکی و ریزساختاری کامپوزیت های سطحی حاصل از افزودن درصد های وزنی ۱٪، ۲٪ و ۳٪ پودر گرافیت به فلز آلومینیوم ۱۰۵۰ و اعمال فرایند اصطکاکی هم زنی ۴ پاسه صورت گرفته است. به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق را می توان به نحو ذیل بیان کرد:

- استفاده از فرایند هم زنی اصطکاکی چند پاسه به جای فرایند تک پاسه، سبب توزیع یکنواخت پودر فاز ثانویه در زمینه و کاهش میزان حفره ها و عیوب ماکروسکوپی می شود.

- وقوع تبلور مجدد دینامیکی (DRX) ناشی از حرارت اصطکاکی بین شانه ابزار دوار و نمونه، تغییر فرم پلاستیک شدید دمای بالا و همچنین اثر قفل کنندگی ذرات گرافیتی که مانع از رشد دانه ها می شود، سبب کاهش چشم گیر سایز دانه-ی فلز پایه از ۱۵۰۰-۲۰۰ میکرومتر به مقادیر ۵۰-۲ میکرومتر شده است و می تواند یکی از مکانیزم های استحکام بخشی به فلز پایه به حساب آید.

- وجود پودر گرافیتی به عنوان فاز ثانویه و تقویت کننده در کامپوزیت، با فعال سازی مکانیزم های استحکام بخشی اروان و مرزهای اصلی و فرعی هال-پیچ، سبب افزایش استحکام کششی تا مقدار ۷۰٪ در کامپوزیت حاوی ۳٪ پودر گرافیت و افت ۳۰٪ درصد ازدیاد طول در این نمونه نسبت به فلز پایه شود.

- وجود ذرات سخت گرافیتی درون کامپوزیت سبب شده تا با افزایش درصد گرافیت به ۱٪، ۲٪ و ۳٪ وزنی، عدد ریز سختی با افزایش حدودی به ترتیب، ۶۶٪، ۱۰۰٪ و ۱۵۰٪ همراه باشد.

منابع

- 1-Y. Song, X. Yang, L. Cui, X. Hou, Z. Shen, and Y. Xu, "Defect features and mechanical properties of friction stir lap welded dissimilar AA2024-AA7075 aluminum alloy sheets," Mater. Des., 2014. doi: 10.1016/j.matdes.2013.09.062.
- 2-Y. Hangai, K. Saito, T. Utsunomiya, O. Kuwazuru, and N. Yoshikawa, "Fabrication and compression properties of functionally graded foam with uniform pore structures consisting of dissimilar A1050 and A6061 aluminum alloys," Mater. Sci. Eng. A, 2014, doi: 10.1016/j.msea.2014.06.039.
- 3-G. Q. Huang, Y. F. Yan, J. Wu, Y. F. Shen, and A. P. Gerlich, "Microstructure and mechanical properties of fine-grained aluminum matrix composite reinforced with nitinol shape memory alloy particulates produced by underwater friction stir processing," J. Alloys Compd., 2019. doi: 10.1016/j.jallcom.2019.01.364.
- 4-R. S. Mishra, Z. Y. Ma, and I. Charit, "Friction stir processing: A novel technique for fabrication of surface composite," Materials Science and Engineering A, vol. 341, no. 1-2, pp. 307-310, 2003, doi: 10.1016/S0921-5093(02)00199-5.
- 5-D. S. Zhou, D. L. Zhang, C. Kong, and P. Munroe, "Factors controlling the tensile properties of ultrafine structured Cu-5vol%Al2O3 nanocomposite prepared by high energy mechanical milling and powder compact

کشیده فلز پایه ملاحظه شود، به نحوی که سایز دانه در ناحیه هم زنی نمونه شاهد به ۱۰-۳۰ میکرومتر کاهش پیدا می کند (شکل ۵-ب)، اما با افزودن پودر گرافیت با سایز ۵۰-۲۰ میکرومتری مشاهده شده است که گرادیان کاهشی سایز دانه با شیب بیشتری به ناحیه هم زنی ختم می شود، چرا که وجود ذرات فاز ثانویه در حالی که تبلور مجدد دینامیکی رخ می دهد، سبب قفل شدن مرز دانه ها و وقوع پدیده قفل شدن زینر می شود. به همین دلیل انتظار می رود نسبت به نمونه شاهد، دانه بندی ریزتری در ناحیه هم زنی مشاهده کنیم به نحوی که آشکارسازی سایز دانه ها از محدوده تشخیص میکروسکوپ نوری تا حدودی خارج می شود (شکل ۵-ت و ث).

- نتایج تست کشش طول

نتایج تست کشش طولی کامپوزیت های تقویت شده با پودر گرافیت، در راستای مسیر فرایند در شکل (۸) نشان داده شده است. علیرغم کاهش چشم گیر سایز دانه بعد از اعمال فرایند اصطکاکی هم زنی بر روی فلز پایه، نتایج تست کشش، افت استحکام کششی و افزایش قابل توجه درصد ازدیاد طول را نشان می دهد. با توجه به اینکه مکانیزم های مختلفی در استحکام بخشی به فلز پایه موثر هستند، می توان گفت در اثر حرارت ایجاد شده و تبلور مجدد صورت گرفته، با کاهش چگالی نابه جایی های ناشی از کارسردی صورت گرفته بر روی فلز پایه، روبه رو هستیم که سبب افت استحکام می شود. این موضوع بیانگر این است که کاهش استحکام ناشی از افت چگالی نابه جایی ها، بر افزایش استحکام ناشی از ریز دانه شدن و تاثیر مکانیزم هال-پیچ، غالب است. با افزوده شدن پودر گرافیت و افزایش درصد وزنی پودر گرافیت به مقادیر ۱٪، ۲٪ و ۳٪ وزنی، استحکام کششی کامپوزیت با افزایش روبرو بوده است. از طرفی ماهیت ترد و شکننده گرافیت سبب کاهش درصد ازدیاد طول کامپوزیت شده است و تغییر حالت شکست از شکست نرم فلز پایه به سمت شکست تورقی کامپوزیت حاوی گرافیت را در بردارد.

- نتایج تست سختی

پروفایل ریزسختی از سطح مقطع کامپوزیت ایجاد شده، بیانگر افزایش سختی کامپوزیت، با افزایش درصد وزنی فاز ثانویه سخت گرافیتی و اصلاح دانه بندی است، به نحوی که مقایسه ریزسختی کامپوزیت حاوی ۳٪ وزنی گرافیت با فلز پایه، حاکی از افزایش حدود ۱۵۰٪ سختی عدد سختی بعد از افزودن پودر گرافیت و اعمال فرایند اصطکاکی اغتشاشی ۴ پاسه است.

نکته قابل توجه در نمودار توزیع سختی در مناطق مختلف ریزساختاری کامپوزیت های مختلف این است که با افزایش درصد وزنی پودر گرافیت، به دلیل کاهش اصطکاک بین پین ابزار و ماده، سیلان مذاب به خوبی صورت نگرفته است و تجمع بیشتر پودر در یکسری نواحی را شاهد هستیم که سبب می شود عدد ریزسختی گزارش شده در این نواحی بالاتر از میانگین سختی کامپوزیت بر روی خط به فاصله ۲ میلی متری زیر سطح باشد.

12-Q. Liu, L. Ke, F. Liu, C. Huang, and L. Xing, "Microstructure and mechanical property of multi-walled carbon nanotubes reinforced aluminum matrix composites fabricated by friction stir processing," *Mater. Des.*, 2013.
doi: 10.1016/j.matdes.2012.08.036.

13-M. Balakrishnan, I. Dinaharan, R. Palanivel, and R. Sathiskumar, "Effect of friction stir processing on microstructure and tensile behavior of AA6061/Al3Fe cast aluminum matrix composites," *J. Alloys Compd.*, vol. 785, pp. 531-541, 2019.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.01.211>.

14-A. Heidarpour, S. Ahmadifard, and S. Kazemi, "On the Al5083--Al2O3--TiO2 Hybrid Surface Nanocomposite Produced by Friction Stir Processing," *Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces*, vol. 54, no. 3, pp. 409-415, 2018.
doi: 10.1134/S2070205118030279.

15-G. S. Rohrer, "Introduction to grains, phases, and interfaces - An interpretation of microstructure," *Trans. AIME*, 1948, vol. 175, pp. 15-51, by C.S. Smith, "Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science," vol. 115[41, no. 3. p. 457, 2010.
doi: 10.1007/s11663-010-9364-6.

16- Materials Research Express, Volume 5, Number 12.

extrusion." *Mater. Sci. Eng. A*, 2013.
doi: 10.1016/j.msea.2013.07.005.

6-V. Mangam, S. Bhattacharya, K. Das, and S. Das, "Friction and wear behavior of Cu-CeO2 nanocomposite coatings synthesized by pulsed electrodeposition," *Surf. Coatings Technol.*, 2010,
doi: 10.1016/j.surfcoat.2010.07.119.

7-A. H. Monazzah, A. Simchi, and S. M. S. Reihani, "Creep behavior of hot extruded Al-Al2O3 nanocomposite powder," *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, no. 10-11, pp. 2567-2571, 2010, doi: 10.1016/j.msea.2010.01.060.

8-H. Ghasemi Yazdabadi, A. Ekrami, H. S. Kim, and A. Simchi, "An investigation on the fatigue fracture of P/M Al-SiC nanocomposites," *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, vol. 44, no. 6, pp. 2662-2671, 2013, doi: 10.1007/s11661-013-1620-3.

9-M. H. G. Wichmann, K. Schulte, and H. D. Wagner, "On nanocomposite toughness," *Composites Science and Technology*, vol. 68, no. 1, pp. 329-331, 2008.
doi: 10.1016/j.compscitech.2007.06.027.

10-H. Asgharzadeh, H. S. Kim, and A. Simchi, "Microstructure, strengthening mechanisms and hot deformation behavior of an oxide-dispersion strengthened UFG Al6063 alloy," *Mater. Charact.*, 1970, doi: 10.1016/j.matchar.2012.10.007.

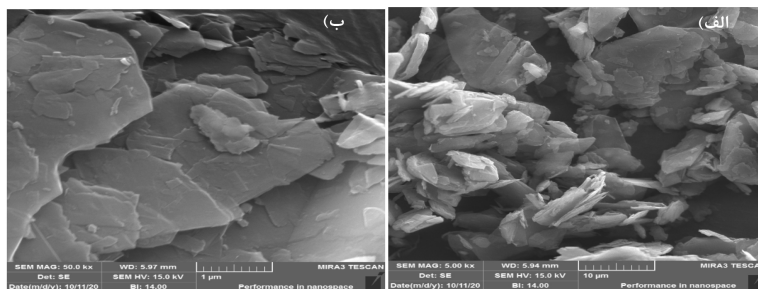
11-N. Selvakumar and S. C. Vettivel, "Thermal, electrical and wear behavior of sintered Cu-W nanocomposite," *Mater. Des.*, 2013.
doi: 10.1016/j.matdes.2012.09.055.

پی نوشت

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعت شریف
2- استاد و عضو هیئت علمی دانشکده علم و مهندسی مواد دانشکده صنعتی شریف

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلومینیوم ۱۰۵۰ بر حسب درصد وزنی عناصر سازنده حاصل از آنالیز کوانتومتری.

Va	Ti	Mg	Zn	Cu	Fe	Si	عناصر درصد وزنی %
<0.1	<0.1	0.002	0.01	0.014	0.27	0.24	

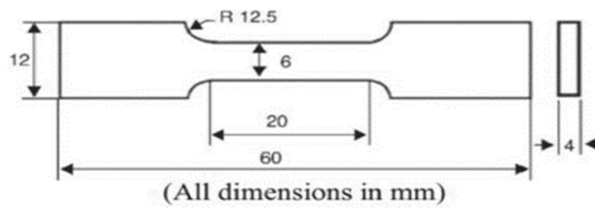


شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از پودر گرافیت. الف- توزیع ذرات گرافیت. ب- مورفولوژی صفحه ای ذرات گرافیت.

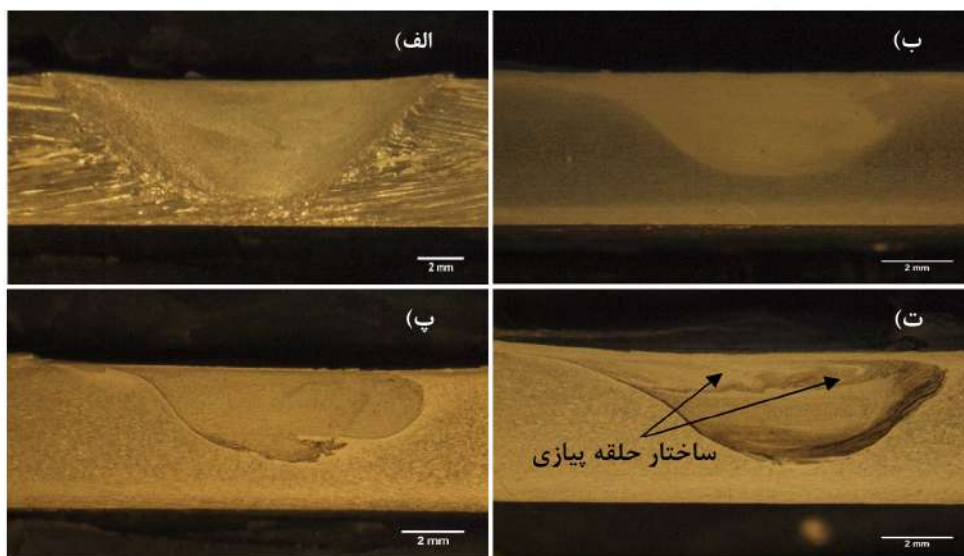


شکل ۲- تصویر هندسه ابزار بین دار. الف- تصویر کل ابزار. ب- تصویر بین رزوه دار.

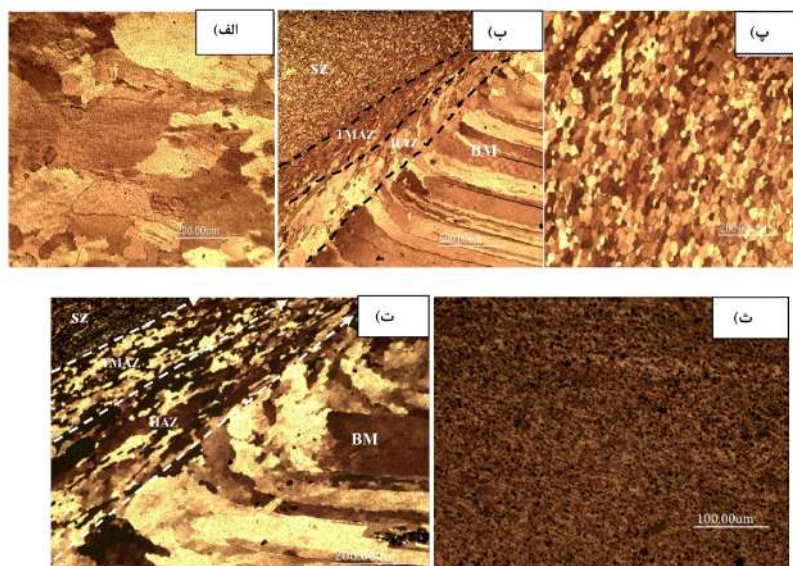
Welding Research



شکل ۳- جزئیات ابعادی نمونه تست کشش بر حسب استاندارد ASTM E8M.

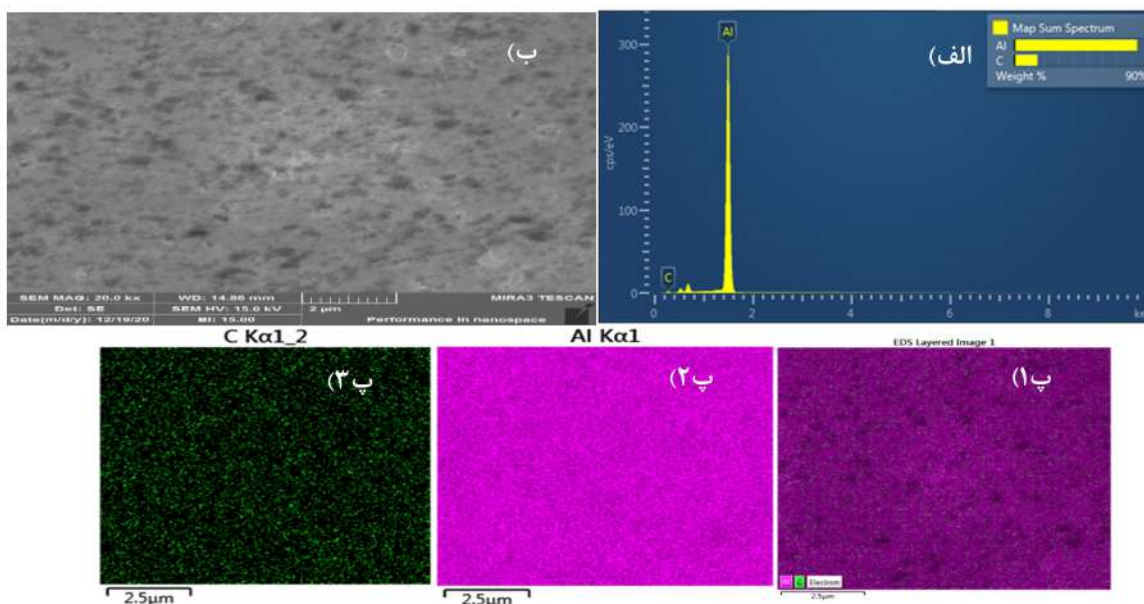


شکل ۴- تصاویر استریوگرافی الف - نمونه شاهد شده بدون افزودن پودر. ب - نمونه ۱٪ گرافیت. پ - نمونه ۲٪ گرافیت. ت - نمونه ۳٪ گرافیت.

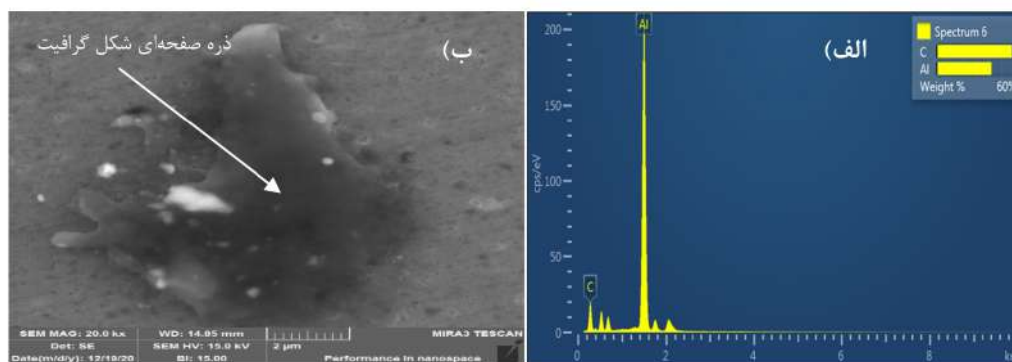


شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ نوری از الف - ریزساختار فلز پایه. ب - گرادیان کاهشی سایز دانه از فلز پایه به سمت ناحیه اغتشاش در نمونه شاهد. پ - ریزساختار ناحیه هم زنی در نمونه شاهد. ت - گرادیان کاهشی سایز دانه از فلز پایه تا ناحیه هم زنی در نمونه حاوی پودر گرافیت. ث - ریزساختار ناحیه هم زنی در نمونه های حاوی پودر گرافیت.

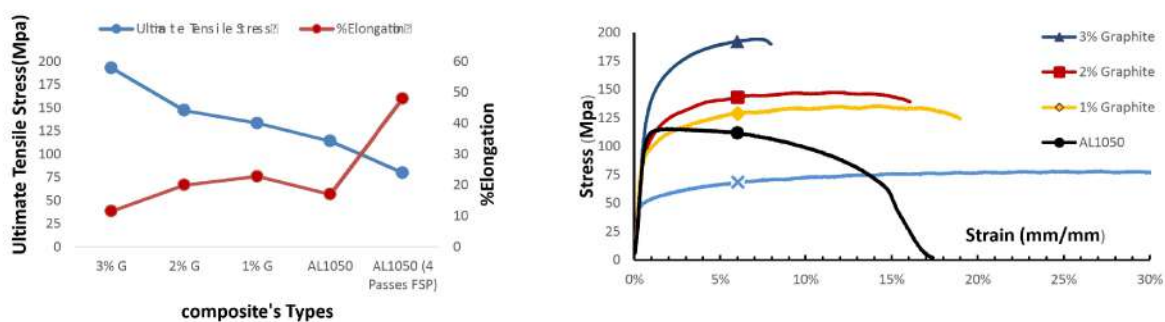
Welding Research



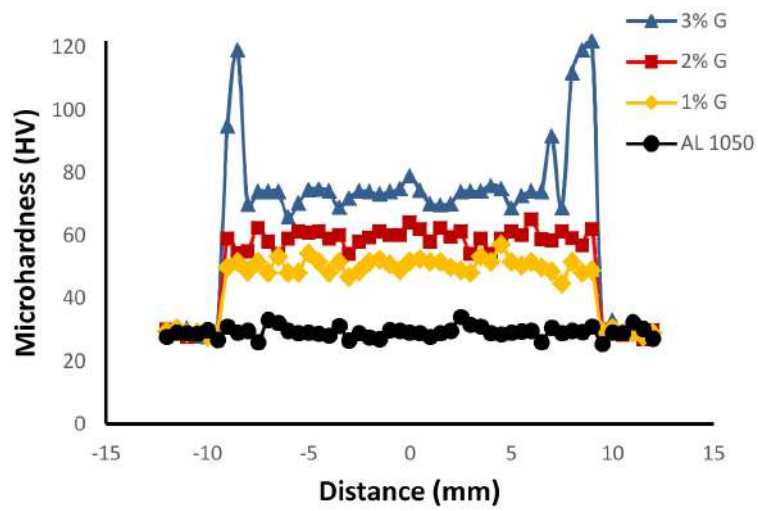
شکل ۶- الف و ب- تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) از توزیع صفحات و ذرات پودر گرافیت در زمینه آلومینیوم ۱۰۵۰ و آنالیز EDS آن
پ ۱- ۳- آنالیز elemental mapping از ناحیه تصویر الف، به تفکیک عناصر موجود در کامپوزیت.



شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) از صفحات گرافیتی توزیع شده در کامپوزیت و آنالیز EDS مربوط به آن.



شکل ۸- نمودار تنش- کرنش طولی نمونه های فرایند اصطکاکی اغتشاشی. شکل ۹- نمودار تغییرات درصد ازدیاد طول و تنش استحکام کششی کامپوزیت های مختلف.



شکل ۱۰- پروفایل سختی در مناطق مختلف ریزساختاری در نمونه های مختلف.

بررسی ساختار میکروسکوپی و مقاومت خوردگی روکش جوشی از جنس استالایت ۶ اعمالی بر روی فولاد کم آلیاژ فوق مستحکم 35NiCrMoV123

بهنام دهقانزاده^۱، حجت اله منصوری^۲

چکیده

از فولاد کم آلیاژ فوق مستحکم 35NiCrMoV123 (DIN 1.6959) برای ساخت تسلیحات نظامی مانند لوله توپ‌های جنگی استفاده می‌شود. چون این تسلیحات در شرایط سرویس در شرایط فشار، خوردگی داغ و اکسیداسیون قرار می‌گیرند، به تدریج قطر داخلی آن‌ها زیاد شده، ترک‌های مویی بر روی سطح داخلی آن‌ها تشکیل می‌شود و سبب از رده خارج شدن این قطعات می‌شود. روکش کاری با جوشکاری فرایند مناسبی برای تعمیر چنین قطعاتی است. در این تحقیق با استفاده از فرایند جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود تنگستن و گاز محافظ و دردمای پیشگرم 200°C ، بر روی نمونه‌های آزمایشی از جنس این فولاد، روکشی از جنس استالایت ۶ ایجاد شد. سپس ساختار میکروسکوپی نواحی مختلف جوش و مقاومت خوردگی این نواحی با آزمون‌های پلاریزاسیون خوردگی بررسی گردید. نتایج نشان می‌دهد که با انجام جوشکاری تیگ پالسی ضخامت ناحیه امتزاج فلز جوش با فلز پایه حدود ۴۵٪ کاهش یافته است و سختی فلز پایه مجاور فلز جوش بین ۵۷ الی ۵۰ راکول C و سختی فلز جوش ۴۳ الی ۴۵ راکول C بدست آمده است. کاهش نرخ خوردگی در نمونه‌های پوشش داده شده در مقایسه با فلز پایه بدون پوشش، قابل توجه است. پتانسیل خوردگی نمونه‌های روکشکاری شده نسبت به نمونه پایه بیشتر است. ساختار فلز پایه ساختار مارتنزیتی تمپر شده است که ریز ساختار به صورت یکنواخت است و تیغه‌های خشن مارتنزیتی در ساختار مشاهده نشده است. همچنان مذاب جوش استالایت ۶ تا عمق ۱۱۰ الی ۱۳۰ میکرومتر در فلز پایه نفوذ داشته است.

کلمات کلیدی: فولاد کم آلیاژ فوق مستحکم 35NiCrMoV123 (DIN 1.6959)، استالایت ۶، فرایند TIG، ساختار میکروسکوپی، مقاومت خوردگی.

مقدمه

فولاد کم آلیاژ 35NiCrMoV123 (DIN 1.6959) دارای کربن متوسط و حاوی مقادیر مختلف کروم، مولیبدن، نیکل و وانادیوم می‌باشد. این فولاد در خانواده فولادهای کم آلیاژ بوده و دارای ساختار میکروسکوپی مارتنزیتی است و ترکیب عالی از استحکام، انعطاف پذیری و چقرمگی دارد. استحکام تسلیم این فولاد 1400MPa و بالاتر است و لذا جز فولادهای کم آلیاژ فوق مستحکم می‌باشد. فولاد کم آلیاژ فوق مستحکم 35NiCrMoV123 (DIN 1.6959) در قطعاتی

مانند لوله‌های توپ‌های جنگی و همچنین برای ساخت مخازن تحت فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. از طرفی به علت حجیم بودن و دقیق بودن ابعاد قطعات از جنس این فولاد، به علت اجتناب از پیچیدگی ابعادی قطعات در حین فرایند جوشکاری، امکان انجام عملیات حرارتی بعد از روکشکاری بر روی این قطعات وجود نداشته یا مستلزم صرف هزینه‌های بسیار زیاد می‌باشد. لذا بایستی فرایند جوشکاری طوری تنظیم شود که در ناحیه مجاور به فلز جوش، ساختار میکروسکوپی ترد به وجود نیاید. همچنین باید از یک فرایند جوشکاری محافظت شده در برابر هیدروژن و با تمرکز حرارتی بالا نظیر جوشکاری قوسی تنگستن (TIG) و لیزر استفاده نمود [۲ و ۳].

استالایت ۶ پرکاربردترین پوشش در بین سوپر آلیاژهای پایه کبالت است که بازدهی مناسبی در بازه‌های دمایی گسترده که دارای مقاومت عالی در برابر انواع تخریب‌های مکانیکی و شیمیایی است و تا دمای 500°C تا حدود زیادی سختی خود را حفظ می‌کند. پوشش این آلیاژ در برابر ضربه و خوردگی حفره‌های مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد [۴]. استالایت ۶ مبتنی بر سوپر آلیاژ پایه کبالت حاوی کربن، مولیبدن، تنگستن و کروم می‌باشد. سوپر آلیاژهای استالایت برای تغذیه دیگ بخار در نیروگاه‌ها و همچنین پالایشگاه‌هایی که از ترکیباتی ناخواسته که باعث جذب گاز محلول می‌شود قابل استفاده قرار می‌گیرد [۵]. فرایندهای متالورژی سطح به صورت گسترده در روش‌های مختلف صورت می‌گیرد. یکی از این روش‌ها، جوشکاری می‌باشد. تغییر ترکیب شیمیایی در فصل مشترک فلز جوش - فلز پایه و اثر سرعت سرد شدن بر روی ریز ساختارهای فلز پایه و لایه‌های روکشکاری شده در اثر جوشکاری، باعث ایجاد تغییرات در رفتار مکانیکی و متالورژیکی در لایه‌های روکشکاری شده است. پس از آن مکانیزم‌های خوردگی و تاثیر دما بر رفتار خوردگی فولادهای کم آلیاژ فوق مستحکم و سوپر آلیاژهای پایه کبالت پرداخت شده است. هدف بررسی خواص روکش‌های جوشی سوپر آلیاژ استالایت ۶ بر روی فولاد کم آلیاژ فوق مستحکم 35NiCrMoV123 (DIN 1.6959) می‌باشد و برای ایجاد پوشش استالایت ۶ بر روی سطح فولاد از فرایندهای جوشکاری GTAW استفاده شده است. با استفاده از نمودارهای تافل، شیب آندی ($\alpha\beta$) و شیب کاتدی ($c\beta$) محاسبه شد و برای بدست آوردن سرعت خوردگی از رابطه پلاریزاسیون خطی استفاده شده است [۶].

$$\frac{\Delta E}{\Delta i_{app}} = \frac{\beta_a \beta_c}{2.3 i_{corr} (\beta_a + \beta_c)} \quad (1)$$

روش تحقیق

در این تحقیق نمونه‌های آزمایش به ابعاد $15 \times 15 \times 15$ mm

در شکل (۶) آورده شده است. مشاهده می شود که در قسمت فصل مشترک جوشکاری با قطب منفی (DCEN) تیغه های خشن مارتنزیتی داریم ولی در حالت تیگ پالسی تیغه های مارتنزیتی متعادل تر هستند تراکم تیغه های مارتنزیتی در فصل مشترک DCEN بیشتر از حالت تیگ پالسی مشاهده می شود. همچنان با استفاده از لاینر اسکن ۱ در شکل (۷) مشاهده می شود که ۲ الی ۴ درصد وزنی عنصر Co از سوپر آلیاژ استتالایت ۶ تا عمق ۱۲۰ میکرومتر در فلز پایه نفوذ داشته است.

- آزمون پلاریزاسیون تافل

نمودارهای پلاریزاسیون تافل نمونه های روکشکاری شده با استتالایت ۶ بر روی فلز پایه DIN 1.6959 در شکل (۸) نشان داده شده است. کاهش جریان خوردگی در نمونه های پوشش داده شده در مقایسه با فلز پایه بدون پوشش، قابل توجه است. پتانسیل نمونه های روکشکاری شده نسبت به نمونه پایه بیشتر است. نتایج محاسبات سرعت خوردگی و چگالی جریان خوردگی در جدول (۳) نشان داده شده است. داده ها به وضوح نشان می دهد که حفاظت از خوردگی با روکشکاری استتالایت ۶ افزایش یافته است. همانطور که ملاحظه می شود جریان خوردگی در نمونه (ب) نسبت به بقیه نمونه ها کمتر است. این نشان دهنده این است که با تغییر نوع پارامتر جوشکاری مقاومت خوردگی تغییر کرده و باعث می شود تا مقاومت خوردگی بیشتر گردد.

نتیجه گیری

- به علت کارکرد قطعات در شرایط شدید تنش ناشی از انفجار، اکسیداسیون و خوردگی داغ، در سطح نمونه توزیعی از ترک های سطحی به عمق متوسط ۲۰۰ mm وجود دارد.

- در ساختار میکروسکوپی فصل مشترک و ناحیه متأثر از حرارت جوش در شرایطی که پارامتر جوشکاری با تغییر فرایند از حالت DCEN به TIG، تیغه های خشن مارتنزیتی مشاهده نمی شود ولی در حالت DCEN تیغه های خشن مارتنزیتی در فصل مشترک فشرده بالتری دارد.

- با انجام جوشکاری در شرایط یکسان پیشگرم کردن در دمای ۲۰۰°C، تیغه های خشن مارتنزیتی در حالت DCEN با حالت TIG یکسان نیست.

- با تغییر پارامترهای جوشکاری میزان سرعت خوردگی تغییرات چشمگیری نداشت. روکشکاری با سوپر آلیاژ استتالایت ۶ مقاومت خوردگی و جریان خوردگی را در فولاد فوق مستحکم DIN 1.6959 را بهبود بخشیده است.

منابع

1- Y. Tomita, Development of fracture toughness of ultrahigh strength low alloy steels for aircraft and aerospace applications, Materials science and technology 7 (1991) 481-489.

قطعات کار کرده از جنس فولاد فوق مستحکم DIN 1.6959 تهیه شده و سطح و مقطع نمونه ها که در شرایط اکسیداسیون، خوردگی داغ و تنش های ناشی از انفجار قرار گرفته بود، با میکروسکوپ نوری مطالعه شد، عمق ترک های سطحی به طور متوسط 200 μm اندازه گیری شدند. برای انجام روکشکاری بلوک های به ابعاد 10 * 70 * 70 mm برش داده شدند و بعد از عملیات پیشگرم کردن در دمای ۲۰۰°C، با فرایند TIG با استفاده از سیم جوش استتالایت ۶ به قطر ۴/۳ mm و با استفاده از گاز محافظ آرگون انجام شد. ترکیب شیمیایی فولاد فوق مستحکم DIN 1.6959 و استتالایت ۶ در جدول (۱) ارائه شده است. طرح شماتیک ابعادی از این نمونه ها را در شکل (۱) آورده شده است و فرایند جوشکاری با پارامترهای مختلف در جدول (۲) ارائه شده است.

پس از انجام عملیات روکشکاری نمونه ها جهت انجام آزمون خوردگی به ابعاد 10 * 30 * 30 mm و برای عملیات متالوگرافی مقاطع عرضی نمونه ها را به ابعاد 15 * 15 * 15 mm با برش سیمی ۱ تهیه شده است. شماتیک ابعادی این نمونه ها در شکل (۲) آورده شده است. جهت انجام آزمون خوردگی روی نمونه ها را بعد سنگ زنی با سنباده های شماره ۱۸۰ الی ۸۰۰، انجام شد و آزمون خوردگی الکتروشیمیایی با محلول 3/5% آب نمک NaCl در دمای محیط انجام شده است. همچنین بررسی مقاومت خوردگی بر روی نمونه های پلاریزاسیون شده مورد بررسی قرار گرفته است. برای عملیات متالوگرافی نمونه ها را از سنباده های شماره ۱۸۰ الی ۳۰۰۰ و سپس پولیشکاری سطوح با خمیر الماسه انجام شد و در پایان با محلول نایتال ۲% سطح مقطع نمونه ها را حک کاری (چ) شد و ساختار میکروسکوپی مناطق مختلف جوش با میکروسکوپ های نوری (OM) و الکترونی روبشی (FE-SEM) بررسی گردید.

نتایج و بحث

- بررسی ساختار میکروسکوپی ناحیه متأثر از حرارت جوش ساختار میکروسکوپی فلز پایه در شکل (۴) و ساختار میکروسکوپی فلز جوش در شکل (۵) نشان داده شده است. وقتی به ساختار فلز پایه نگاه می کنیم ساختار مارتنزیتی تمپر شده مشاهده می کنیم که ریزساختار به صورت یکنواخت است و تیغه های خشن مارتنزیتی در ساختار مشاهده نشده است.

همانطور که در بررسی نمونه ها پیش از عملیات روکشکاری شده، به علت اینکه این قطعات کار کرده فولاد در معرض شرایط شدید تنش ناشی از انفجار، اکسیداسیون و خوردگی داغ، در سطح نمونه توزیعی از ترک ها وجود دارد، که در شکل (۳) نشان داده شده است.

همانگونه که در شکل (۶) مشاهده می شود، نفوذ مذاب فلز جوش در فلز پایه صورت گرفته است و میزان این نفوذ در پارامترهای مختلف یکدیگر متفاوت می باشد.

تصاویر ساختار میکروسکوپی در فصل مشترک و ناحیه متأثر از حرارت جوش در نمونه های پیشگرم شده برای پارامترهای مختلف

Corrosive environment, Materials Science Forum, Trans Tech Publ, 2018, pp. 117-123.

6-M.G. Fontana, Corrosion Engineering (Third Edition), University of Isfahan Industrial Branch, 1999.

بی نوشت

1- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان
2- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان

2-N. Bailey, Welding steels without hydrogen cracking, Woodhead Publishing, 1993.

3-B. Irving, The challenge of welding heat-treatable alloy steels, Welding journal 74(1995)43-48.

4- [Www.deloro.com](http://www.deloro.com).

5-R. Liu, Y. Li, G. McRae, Electrochemical investigation of stellite 6 alloy in morpholine

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاد فوق مستحکم DIN 1.6959 و استالایت ۶ (برحسب درصد وزنی)

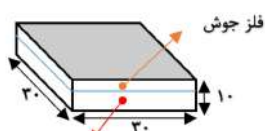
عناصر	Fe	P	N	Si	C	Mn	Mo	Cr	Ni
SUS316	۶۲	۰/۰۴۵	۰/۱	۰/۷۵	۰/۰۸	۳	۳	۱۸	۱۴

جدول ۲- پارامترهای جوشکاری

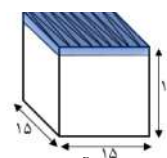
نمونه اول	نمونه دوم	
DCEN	TIG	نوع فرایند جوشکاری
۱۶۰	۱۶۰	آمپر اول (A) Pa
-	۸۰	آمپر دوم (A) Pb
-	۰/۵	سرعت جوشکاری (mm/S)
۱۲	۱۲	عرض پالس (mm)
۶۰	۶۰	فرکانس (Hetz)

جدول ۳- نتایج خوردگی نمونه های روکش کاری شده و فلز پایه

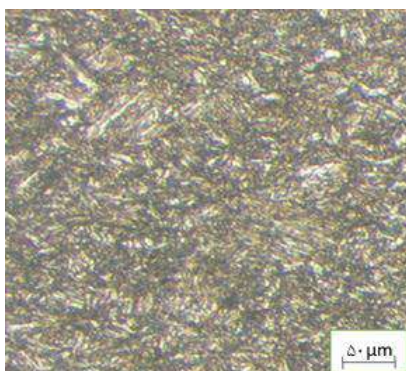
شماره نمونه	شیب آندی (β_a)	شیب کاتدی (β_c)	جریان خوردگی (A/cm^2)	چگالی جریان خوردگی (A/cm^2)	پتانسیل خوردگی (V vs.SCE)	مقاومت خوردگی (Ω/cm^2)
الف	۱/۰۸	۰/۱۴۱	$۱۰^{-۴۸}$	$۱,۵۸ \times ۱۰^{-۵}$	-۰,۵۹	$۹,۳۸ \times ۱۰^۲$
ب	۰/۰۶۴	۰/۰۶۳	$۱۰^{-۴۹}$	$۱,۲۶ \times ۱۰^{-۵}$	-۰,۳۸	$۱۰/۴۴ \times ۱۰^۲$
ج	۰/۰۶۵	۰/۰۵۸	$۱۰^{-۴۶}$	$۲,۵۱ \times ۱۰^{-۵}$	-۰,۳۹	$۵,۵۰ \times ۱۰^۲$



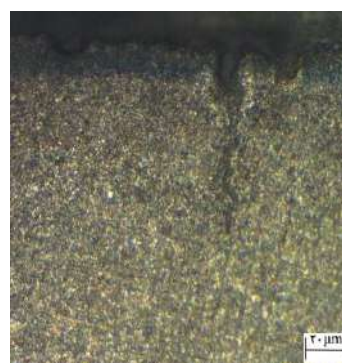
شکل ۲- شماتیک از نمونه تهیه شده برای بررسی خوردگی (ابعاد برحسب mm)



شکل ۱- شماتیک ابعادی از نمونه های آزمایشی مورد استفاده برای بررسی ساختار میکروسکوپی نواحی جوش (ابعاد برحسب mm)

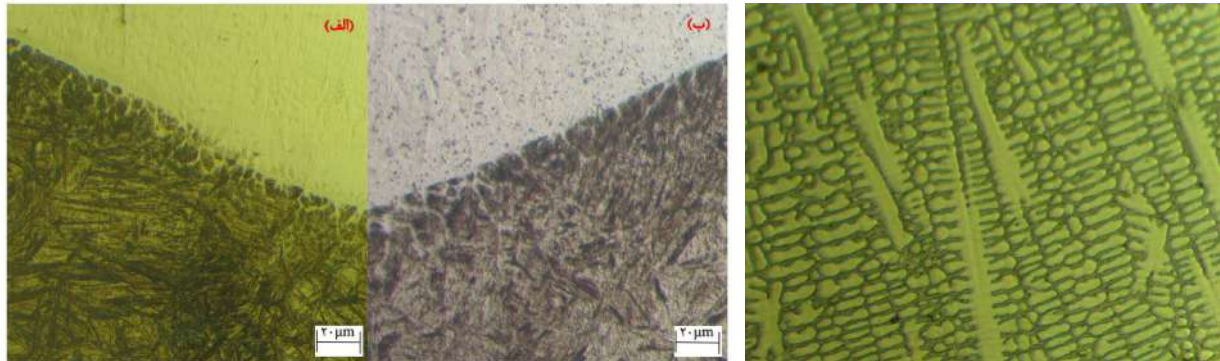


شکل ۴- تصویر میکروسکوپی نوری فلز پایه فولاد کم آلیاژ فوق مستحکم DIN 1.6959 با بزرگنمایی 20x.

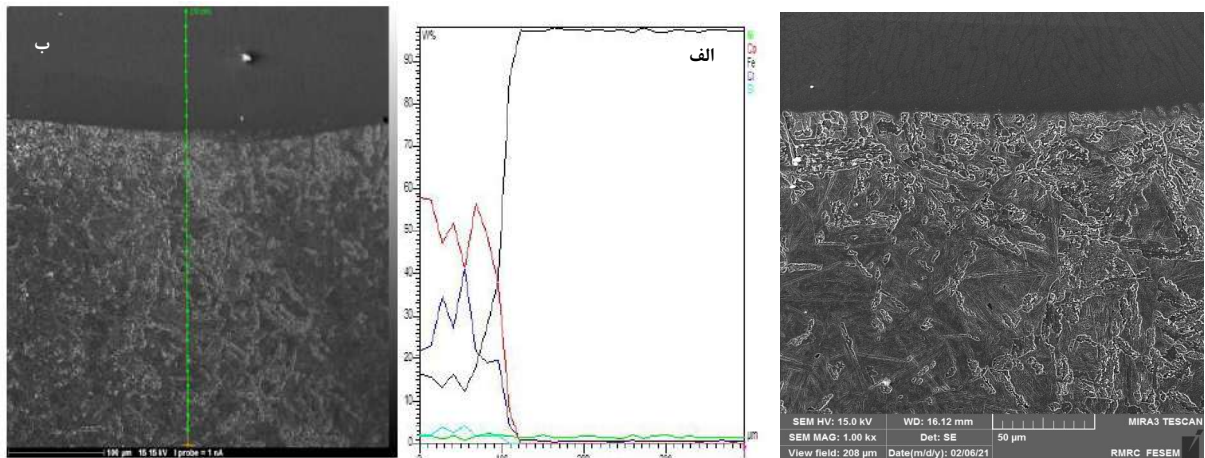


شکل ۳- تصویر میکروسکوپی نوری از ترک سطحی موجود در سطح فولاد DIN 1.6959 که تا عمق ۲۰۰ m در داخل فولاد گسترش یافته است. با بزرگنمایی ۵۰x

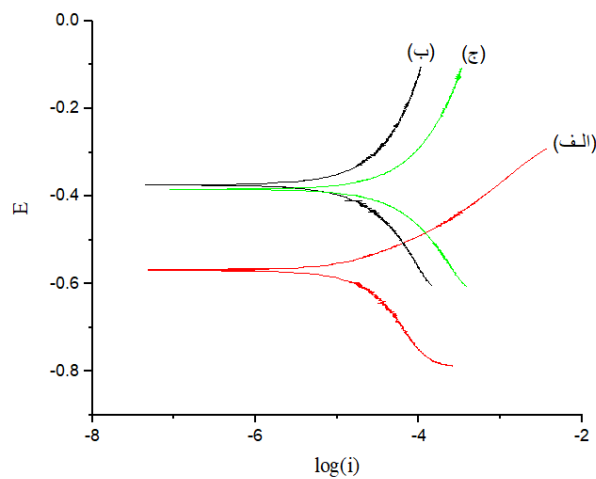
Welding Research



شکل ۵- تصویر میکروسکوپی نوری فلز جوش سوپر آلیاژ استالایت ۶
 شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ نوری از فصل مشترک نمونه ها الف- جریان الکتریکی ثابت ۱۶۰A
 ب- جریان الکتریکی پالسی (آمپر پالس ۱۶۰A - آمپر زمینه ۸۰A) با بزرگنمایی ۵۰x.



شکل ۷- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) از فصل مشترک جریان الکتریکی پالسی (آمپر پالس ۱۶۰ A - آمپر زمینه ۸۰ A) با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰x.
 شکل ۸- الف- لاینر اسکین از سطح فلز جوش تا ناحیه متأثر از حرارت جوش برای جریان الکتریکی پالسی (آمپر پالس ۱۶۰A-آمپر زمینه ۸۰A) و ب- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی (FESEM) از سطح فلز جوش تا ناحیه متأثر از حرارت



شکل ۹- نمودارهای پلاریزاسیون Tafel نمونه های روکش کاری شده و فلز پایه الف- نمونه DCEN با جریان 160A
 ب- نمونه TIG با جریان Pa=160A و Pb=80A ج- فلز پایه DIN 1.6959

اثر ترکیب شیمیایی فلز پرکننده بر خواص ریزساختاری و خوردگی ناحیه اتصال فولاد زنگ نزن AISI 316L

صادق ورمزیار^۱، مسعود عطاپور^۲

چکیده

فولاد زنگ نزن AISI 316L یکی از رایج ترین فولادهای زنگ نزن آستنیتی است که در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. در این مطالعه به اثر ترکیب شیمیایی بر تغییرات ریزساختاری، سختی و خواص خوردگی ناحیه اتصال با استفاده از فرایند قوس تنگستنی (GTAW) پرداخته شده است. به همین منظور از دو فلز پرکننده ER 316L و ER 312 استفاده گردیده است. سختی ناحیه فلز جوش حاصل از فلز پرکننده ER 312 به دلیل وجود ساختار دندردی، مقادیر بالاتر کربن و رسوبات کاربیدی بیشتر، بالاتر از فلز جوش ER 316L و همچنین سختی فلز جوش فلز پرکننده ER 316L و مناطق متأثر از حرارت دو نمونه جوشکاری شده بالاتر با توجه به رسوب ذرات کاربیدی و کرنش پلاستیک در اثر بارهای حرارتی حین عملیات جوشکاری بالاتر از میزان آن برای فلز پایه است. همچنین آزمون پلاریزاسیون پتانسیو دینامیکی در محلول 3/5 درصد NaCl جهت مطالعه خواص خوردگی ناحیه اتصال دو نمونه جوشکاری شده و فلز پایه مورد استفاده قرار گرفته است. مقاومت به خوردگی ناحیه اتصال فلز ER 312 با توجه به مقادیر بالاتر کروم در این فلز پرکننده بالاتر از فلز جوش حاصل از فلز پرکننده ER 316L و فلز پایه است.

کلمات کلیدی: فولاد زنگ نزن، فلز جوش، فلز پرکننده، ریزساختار، مقاومت به خوردگی.

مقدمه

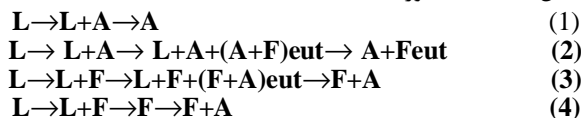
فولادهای زنگ نزن دسته مهمی از مواد مهندسی را تشکیل می دهند که به صورت گسترده در صنایع مختلفی چون صنایع لوله های فشار بالا، هسته ای، شیمیایی، پتروشیمی، نفت، گاز و ساخت تجهیزات پزشکی؛ به دلیل خواص بسیار مطلوب آن ها از جمله مقاومت به خوردگی بالا و خواص مکانیکی خوب مورد استفاده قرار می گیرند [۱]. این دسته از مواد معمولاً دارای بیش از ۱۲٪ وزنی کروم هستند که سبب تشکیل یک لایه اکسیدی محکم با قابلیت بازسازی خود به خودی گردیده که مقاومت به خوردگی بالایی را به ارمغان می آورد. ترکیب شیمیایی این دسته از فولادها می توانند تنوع مطلوبی داشته باشند و عناصر آلیاژی نظیر نیکل، منگنز و مولیبدن معمولاً با اهداف مشخصی بر اساس کاربرد آن ها اضافه شود [۲]. همچنین میزان کربن کمتر و اضافه کردن تیتانیوم، نیوبیوم یا تانتالیوم جهت جلوگیری از تشکیل کاربید کروم به کار گرفته می شود

و اضافه کردن مولیبدن جهت افزایش مقاومت به خوردگی حفره دار شدن مورد استفاده قرار می گیرد. آلیاژهای آستنیتی به عنوان بزرگترین گروه فولادهای زنگ نزن مورد استفاده شناخته شده که ۶۵ تا ۷۰ درصد آن ها را شامل می شود. علت این امر نه تنها مقاومت به خوردگی بالای این فولادها بلکه به دلیل وجود گسترده ای از خواص جانبی شامل استحکام در دماهای بالا و سهولت در قابلیت ساخت قطعات به ویژه جوشکاری است [۳-۴]. از میان فولادهای زنگ نزن آستنیتی فولادهای ۳۰۴ و ۳۱۶ کاربرد بسیار زیادی در صنایع مختلف دارند [۵]. جوشکاری یکی از رایج ترین فرایندهایی است که در اتصال مواد جهت ساخت و تولید قسمت های مختلف در صنایع استفاده می شود [۶]. اولین مسئله ای که در جوشکاری فولادهای زنگ نزن بایستی مورد توجه قرار گیرد، شرایط کاری است که قطعه پس از جوشکاری در آن قرار دارد. این مسئله به خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی قطعه وابسته است، زیرا عوامل تعیین کننده نوع و روش جوشکاری هستند. فولادهای زنگ نزن آستنیتی با روش های جوشکاری قوس الکتریکی، مقاومتی، شعله و لحیم کاری قابل متصل شدن می باشند. از روش های متداول در جوشکاری فولادهای زنگ نزن آستنیتی روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز است [۷]. خواص مربوط به منطقه جوشکاری به دلیل ترکیبی از اثر ریزساختار و تنش پسماند نسبت به فلز پایه ضعیف تر است [۸]. در ناحیه ذوبی که منطقه ای حاصل از نفوذ فلز پایه و فلز پرکننده است. چرخه گرمایش و خنک شدنی که در حین فرایند جوشکاری اتفاق می افتد ریزساختار و ترکیب شیمیایی فلز جوش و فلز پایه هم جوار آن را تحت تاثیر قرار می دهد [۹]. علاوه بر آنکه ترکیب شیمیایی ناحیه ی ذوبی با فلز پایه متفاوت است، در خود ناحیه جوش نیز به دلیل جدایش های ریزساختاری حاصل از انجماد اثرات میکرو-گالوانیکی مشاهده می شود که این خود عامل مضعفی برای تشدید خوردگی در ناحیه جوش است [۱۰-۱۲]. کاهش خواص خوردگی در ناحیه جوشکاری گاهی سبب از رده خارج شدن کامل تجهیزات می شود، اما با استفاده روش جوشکاری و فلز پرکننده مناسب می توان میزان کاهش خواص را تقلیل داد و یا حتی آن خواص را بهبود بخشید. در این پژوهش جوشکاری فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 316L با استفاده از روش GTAW و دو فلز پرکننده ER 316L و ER 312 با هدف بررسی اثر به کارگیری هر کدام از فلزهای پرکننده بر خواص ریزساختاری و خوردگی ناحیه جوشکاری شده صورت پذیرفته است.

- ریزساختار

شکل (۱) ریزساختار فلز پایه (فولاد **AISI 316L**) را نشان می دهد. این فولاد از دسته فولادهای زنگ نزن آستنیتی است که در تصویر به وضوح یک ساختار آستنیتی با دانه های هم محور به همراه دوقلوبی ها نشان داده شده است. در شکل (۲) ریزساختار فلز جوش حاصل از فلز پرکننده **ER 316L** نشان داده شده است. این فلز پرکننده پایه آهنی، دارای ۱۲ درصد وزنی نیکل است و ۱۸/۲ درصد وزنی کروم است. اضافه کردن نیکل به یک سیستم آهن-کروم سبب افزایش پایداری فاز آستنیت در دمای اتاق می شود [۱۳].

در شکل نیز بخش عظیمی از ریزساختار را فاز آستنیت تشکیل داده است. به طور کلی بررسی ها نشان از آن دارد که در فلزات جوش حاصل از فلزات پرکننده آستنیتی چهار نوع انجماد و استحاله ممکن است رخ دهد و این واکنش ها مربوط به نمودار فازی آهن-کروم-نیکل است که به صورت (۱)



می باشند [۱۳]. همانطور که در شکل مشخص است ساختار به صورت آستنیتی و همراه با مقداری فریت است. طبیعت ریختگی ساختار در ناحیه جوش فلز پرکننده **ER 316L** مشخص است و ساختار متشکل از دو فاز آستنیت (زمینه روشن) و فریت (تیره) دلتا با مورفولوژی اسکلتی است [۱۴].

بنابراین ابتدا ساختار به صورت فریت دلتا منجمد شده و با کاهش دما با توجه به ناپایداری این فاز در دماهای پایین به آستنیت تجزیه شده است و ساختار نشان داده شده به وجود آمده است. در شکل ۳- ریزساختار ناحیه جوش فلز پرکننده **ER 312** نشان داده شده است. این فلز پرکننده نیز از نوع فلزات پرکننده پایه آهنی و آستنیتی بوده و دارای ۸/۸ درصد وزنی نیکل و ۳۰/۷ درصد وزنی کروم است. همانطور که مشخص است فاز آستنیت (تیره) و فریت (روشن) با یک ساختار دندربتی در زمینه کاملاً مشهود است. فاز آستنیت و فریت به طور یکنواخت در زمینه توزیع گردیده و ترکیبات بین فلزی و فاز دیگری در ساختار دیده نمی شود، اما با توجه به وجود کربن و برخی عناصر کاربیدساز مانند کروم در این ناحیه وجود رسوبات کاربیدی در این ناحیه اجتناب ناپذیر است و با توجه به کربن بالاتر فلز پرکننده **ER 312** نسبت به فلز پرکننده **ER 316L** میزان ذرات کاربیدی به وجود آمده در این ناحیه بالاتر است [۱۶، ۱۵].

- سختی

آزمون ریزسختی افقی برای فلز پایه و فلزهای پرکننده مختلف در ناحیه فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت با اندیکاتور ویکرز صورت پذیرفته است که نمودار نتایج به دست آمده در شکل (۴) نشان داده شده است. لازم به ذکر است مقادیر گزارش شده میانگین اعداد به دست آمده از سه نقطه آزمون ریز سختی در هر ناحیه است. همانطور که مشخص است سختی فلز پایه از تمامی مناطق پایین تر

در جدول (۱) ترکیب شیمیایی فلز پایه فولاد **AISI 316L** که در این پژوهش با ابعاد $200 \times 100 \times 2 \text{ mm}$ تحت عملیات جوشکاری قرار گرفته است، نشان داده شده است. نمونه ها پس از آماده سازی تحت بازرسی نهایی قرار گرفت و پس از تمیزکاری نهایی برای جوشکاری آماده شدند. هنگام بررسی خصوصیات فلز جوش باید به این نکته توجه داشت که پارامترهای مختلفی از جمله اندازه الکتروود، ولتاژ و امپراژ مورد استفاده، نوع و میزان گاز محافظ، دمای پیش گرم و دمای بین پاسی، رسانایی الکتریکی، ضخامت و ترکیب شیمیایی فلز پایه و همچنین ترکیب فلز پایه با فلز پرکننده و حالت خواص ناحیه اتصال را تحت تاثیر قرار می دهد. در این پژوهش از دو فلز پرکننده مختلف **ER 316L** و **ER 312** جهت اتصال فلز پایه مذکور استفاده گردیده است. استفاده از فلزهای پرکننده مختلف به منظور رسیدن به بهترین انتخاب از نظر اقتصادی و خواص خوردگی در ناحیه ذوبی است که ترکیب شیمیایی هر کدام در جدول ۱- نشان داده شده است. بنابراین به منظور مقایسه خواص مکانیکی این چهار فلز پرکننده با ترکیب شیمیایی مختلف دیگر پارامترها به صورت یکسان اعمال گردید. به همین منظور جوشکاری قوسی تنگستن تمامی نمونه ها با استفاده از جریان **DCEN** و با دمای بین پاسی ۱۰۰ درجه سانتی گراد اعمال گردید، همچنین جوشکاری تمامی نمونه ها در حالت تخت $1G$ و بدون آماده سازی لبه صورت پذیرفت و از گاز محافظ آرگون با خلوص ۹۹/۹۹ با دبی L/min ۸ درصد استفاده شده است. سرعت جوشکاری در حدود $2-1/5 \text{ mm/s}$ و ولتاژ جوشکاری قطعات در یک پاس انجام گرفت. شدت جریان و ولتاژ اعمال شده برای هر دو فلز پرکننده یکسان بوده تا شرایط جوشکاری و حرارت ورودی تقریباً یکسان به دست آید.

نمونه ها برای مطالعات ریزساختاری و ارزیابی تحولات فازی در جهت طولی از ناحیه ذوبی و ۵۰ میلی متر قبل از پایان جوش تهیه گردید تا اثرات احتمالی مناطق پایانی جوش در نظر گرفته نشود. آماده سازی نمونه ها و پولیش کاری آن ها براساس استاندارد **ASTME 3-11standard** صورت پذیرفت و با استفاده از محلول ترکیبی $HCl \cdot HNO_3$ و آب مقطر با نسبت های مساوی عملیات اچ صورت پذیرفت و با استفاده از میکروسکوپ نوری تصاویر ریزساختاری گرفته شد. سختی فلز پایه به همراه سختی ناحیه اتصال و ناحیه **HAZ** دو نمونه جوشکاری شده با استفاده از آزمون ریز سختی و یک دستگاه ریزسختی سنج با ایندنتور الماسی ویکرز با بار ۱۰۰ گرم و زمان اعمال بار ۱۰ ثانیه اعمال گردید. جهت اندازه گیری ریز سختی در هر نمونه از سه نقطه استفاده شد و محل فرود ایندنتور به گونه ای تنظیم شد که از اثرات کرنش سختی اجتناب شده و در نهایت میانگین این سه نقطه گزارش گردید. همچنین جهت مطالعه خواص خوردگی از فلز پایه و ناحیه جوش دو نمونه جوشکاری شده با ابعاد $10 \times 10 \text{ mm}$ تهیه گردید و سطح مورد آزمایش با سنباده کاغذی تا گرید ۱۲۰۰ مورد آماده سازی گردید، سپس با استفاده از آزمون پتاسیل پتانسیو دینامیکی در محلول **NaCl** ۳/۵% مقاومت خوردگی آن ها با هم مورد مقایسه قرار گرفته است.

-جمع بندی و نتایج

-فلز پایه دارای ساختاری آستنیتی بوده و فلز جوش هر دو فلز پرکننده ریزساختاری متشکل از فریت و آستنیت دراز می باشد.
-سختی فلز جوش فلز پرکننده ER 312 با توجه به مقادیر بالاتر کربن و رسوبات کاربیدهای فلزی بیشتر از فلز جوش حاصل از فلز پرکننده ER 316L بالاتر است.
-مقاومت به خوردگی فلز جوش فلز پرکننده ER 312 با توجه به مقادیر بالاتر کروم در این فلز پرکننده نسبت به فلز پایه و فلز جوش ER 316L بالاتر است.

منابع

- 1-J. R. Davis, *Stainless steels*. ASM international, 1994.
- 2-S. Kou, "Welding metallurgy," New Jersey, USA, pp. 431-446, 2003.
- 3-H. Khatak and B. Raj, *Corrosion of austenitic stainless steels: mechanism, mitigation and monitoring*. Woodhead publishing, 2002.
- 4-V. G. Rivlin and G. V. Raynor, "1: Critical evaluation of constitution of chromium-iron-nickel system," *Int. Met. Rev.*, vol. 25, no. 1, pp. 21-40, Jan. 1980.
- 5-N. Kumar, M. Mukherjee, and A. Bandyopadhyay, "Comparative study of pulsed Nd: YAG laser welding of AISI 304 and AISI 316 stainless steels," *Opt. Laser Technol.*, vol. 88, pp. 24-39, 2017.
- 6-R. Unnikrishnan et al., "Effect of heat input on the microstructure, residual stresses and corrosion resistance of 304L austenitic stainless steel weldments," *Mater. Charact.*, vol. 93, pp. 10-23, 2014.
- 7-کوکبی، "تکنولوژی جوشکاری"، انتشارات آزاده، ۱۳۸۲.
- 8-J. Cng *metallurgy and weldability*. Wiley Online Library, 2015.
- 9-J. R. Davis, *Corrosion of weldments*. ASM international, 2006.
- 10-R. G. Buchheit Jr, J. P. Moran, and G. E. Stoner, "Localized corrosion behavior of alloy 2090-the role of microstructural heterogeneity," *Corrosion*, vol. 46, no. 8, pp. 610-617, 1990.
- 11-L. V Jin-Long and L. Hong-Yun, "Influence of tensile pre-strain and sensitization on passive films in AISI 304 austenitic stainless steel," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 135, no. 2-3, pp. 973-978, 2012.
- 12-D. N. Wasnik, V. Kain, I. Samajdar, B. Verlinden, and P. K. De, "Resistance to sensitization and intergranular corrosion through extreme randomization of grain boundaries," *Acta Mater.*, vol. 50, no. 18, pp. 4587-4601, 2002.
- 13-J. C. Lippold and D. J. Kotecki, *Welding metallurgy and weldability of stainless steels*. 2005.
- 14-K. Ferjutz and R. D. Joseph, "ASM Handbook Welding, Brazing and Soldering, vol. 6," ASM Int. Mater. Park, 1993.
- 15-M. Sadeghian, M. Shamanian, and A. Shafyei, "Effect of heat input on microstructure and mechanical properties of dissimilar joints between super duplex stainless steel and high strength low

پایین تر است. ریزساختار فولاد AISI 316L این فولاد به صوت آئیل شده و با دانه های هم محور کاملاً مشهود است. با توجه به شکل افزایش سختی به ترتیب در ناحیه HAZ و بالاتر از آن در ناحیه ذوبی در دو نمونه جوشکاری شده نسبت به فلز پایه مشخص است. این افزایش سختی در این دو ناحیه در اثر رسوب ذرات کاربیدی و ترکیبات بین فلزی است که این موضوع سبب جلوگیری از لغزش نابه جایی ها در طول مرزهای دانه شده و در نتیجه سختی افزایش می یابد. با توجه به میزان بالاتر کربن در فلز پرکننده ER 312 پیش بینی می شود رسوب ذرات کاربیدی در فلز جوش حاصل از این فلز پرکننده بیشتر بوده و سختی بالاتر به دست آمده در ناحیه ذوبی آن نسبت به ناحیه ذوبی فلز پرکننده ER 316L بدین علت است. از طرفی دیگر علاوه بر ذرات کاربیدی در دو ناحیه HAZ و فلز جوش دو نمونه جوشکاری شده در اثر بارهای حرارتی تنش باقی مانده در این نواحی القا گردیده که می تواند سبب کرنش پلاستیک، افزایش نابه جایی ها و در نتیجه افزایش سختی گردد [۱۷].

- خواص خوردگی

نمودار پلاریزاسیون تافل برای فلز پایه و فلز جوش حاصل از دو فلز پرکننده ER 316L و ER 312 در شکل (۵) نشان داده شده است. از آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک به منظور ارزیابی شدت جریان خوردگی و مقاومت به خوردگی هر یک از نمونه های نام برده استفاده شد. چگالی جریان خوردگی (I_{corr})، پتانسیل خوردگی در نمونه های مختلف (E_{corr})، شیب شاخه کاتدی (β_c) و شیب شاخه آندی (β_a) حاصل از منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیکی با استفاده از روش برون یابی در جدول (۲) گزارش گردیده است. علاوه بر این مقاومت پلاریزاسیون خطی (R_p) به طور تقریبی از معادله استرن-گری به دست آمده است [۱۸].

$$R_p = \frac{\beta_a \times \beta_b}{2.303 I_{corr} (\beta_a + \beta_b)}$$

مقاومت به پلاریزاسیون خطی

با توجه به اطلاعات به دست آمده مقاومت پلاریزاسیون خطی فلز جوش حاصل از فلز پرکننده ER 312 از دو نمونه دیگر بالاتر بوده و این مقدار برای فلز جوش حاصل از فلز پرکننده ER 316L از فلز پایه بالاتر است. با توجه به میزان بالاتر کروم (۳۰/۷ درصد وزنی) در فلز پرکننده ER 312 بالاتر بودن مقاومت به پلاریزاسیون خطی در فلز جوش این فلز پرکننده توجیه پذیر است. همچنین جریان خوردگی در این نمونه پایین تر دو نمونه دیگر است. همچنین مقاومت به پلاریزاسیون خطی برای فلز جوش فلز پرکننده ER 316L بالاتر از فلز پایه است. با توجه به پایین تر بودن جریان خوردگی در هر دو فلز جوش ثابت می شود که پیل گالوانیکی احتمالی میان منطقه HAZ و فلز جوش با توجه به تفاوت ریزساختاری و ترکیب شیمیایی در این دو ناحیه سبب تحت تاثیر قرار گرفتن مقاومت به خوردگی فلز جوش با توجه به افزایش کروم در هر دو نمونه جوشکاری شده نگردیده است [۱۹].

18-M. Stern and A. L. Geary, "Electrochemical polarization I. A theoretical analysis of the shape of polarization curves," J. Electrochem. Soc., vol. 104, no. 1, pp. 56-63, 1957.

19-A. R. Kannan, N. S. Shanmugam, and G. Sreedhar, "Studies on corrosion behavior of AISI 316L cold metal transfer weldments in physiological solutions," Proc. Inst. Mech. Eng. Part E J. Process Mech. Eng., vol. 234, no. 6, pp. 644-656, 2020.

بی نوشت

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان؛

2- دانشیار، دانشگاه صنعتی اصفهان

Lloy steel," Mater. Des., vol. 60, pp. 678-684, 2014.

16-A. B. Ba?yi?it and M. G. Murat, "The Effects of TIG Welding Rod Compositions on Microstructural and Mechanical Properties of Dissimilar AISI 304L and 420 Stainless Steel Welds," Metals (Basel), vol. 8, no. 11, p. 972, 2018.

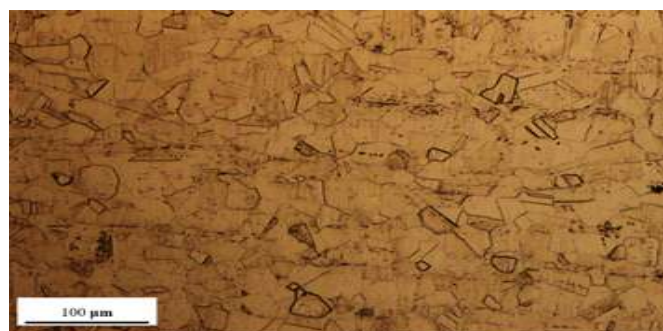
17-B. A. Kessal, C. Fares, M. H. Meliani, A. Alhussein, O. Bouledroua, and M. Francois, "Effect of gas tungsten arc welding parameters on the corrosion resistance and the residual stress of heat affected zone," Eng. Fail. Anal., vol. 107, p. 104200, 2020.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فلز پایه و فلزهای پرکننده.

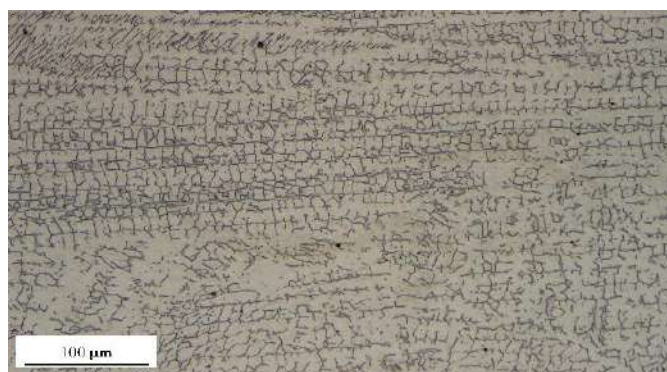
نمونه	Fe	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	N
AISI 316L	Bal.	۰/۰۲	۱/۳	۰/۵	۱۶/۹	۱۰/۲	۲/۰	۰/۲	۰/۰۵
ER 316	Bal.	۰/۰۱	۱/۷	۰/۴	۱۸/۲	۱۲	۲/۶	۰/۱۰	۰/۰۴
ER 312	Bal.	۰/۱۵	۱/۶	۰/۴	۳۰/۷	۸/۸	۰/۲	۰/۱۴	-

جدول ۲-اطلاعات و پارامترهای خوردگی فلز پایه و فلز جوش نمونه های جوشکاری شده

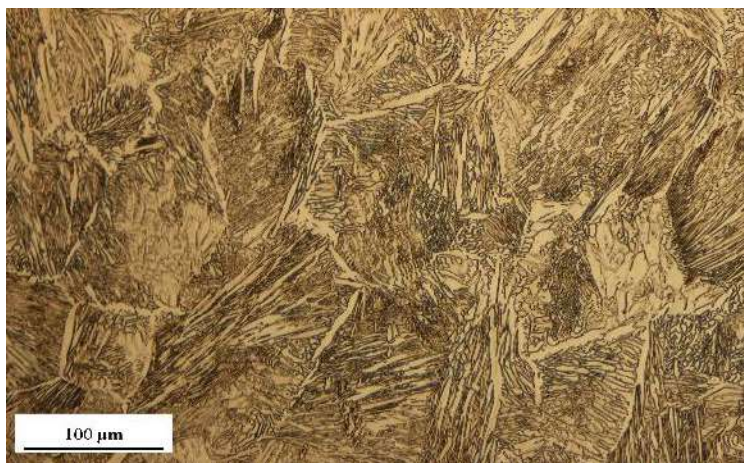
نمونه	E(mV)	I _c (A.cm ⁻²)	β _c	β _a	R _p
AISI 316L	-۱۵۶/۴۷	۳/۷۹×۱۰ ^{-۶}	۱۰۶/۲	۱۱۹/۳	۶/۴۴×۱۰ ^{-۶}
ER 316L	-۵۴/۹۲	۲/۲۸×۱۰ ^{-۶}	۱۴۱/۷	۱۰۷/۰	۱/۱۶×۱۰ ^{-۷}
ER 312	-۱۶۸/۳۷	۶/۸۲×۱۰ ^{-۷}	۱۲۰/۹	۲۱۷/۸	۴/۹۷×۱۰ ^{-۷}



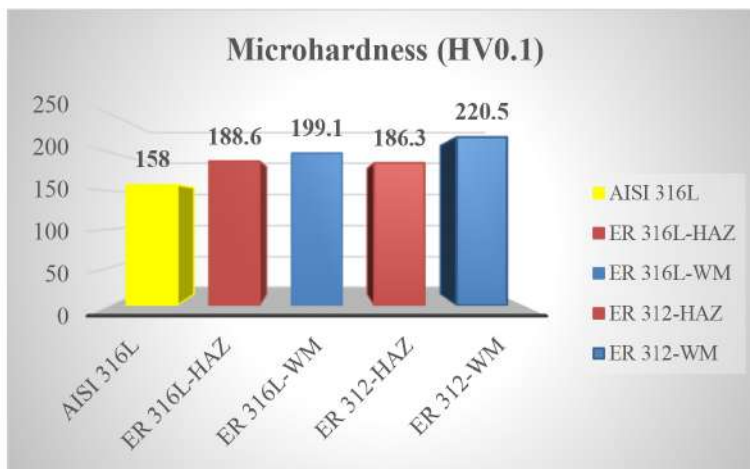
شکل ۱- ریزساختار فلز پایه فولاد AISI 316L.



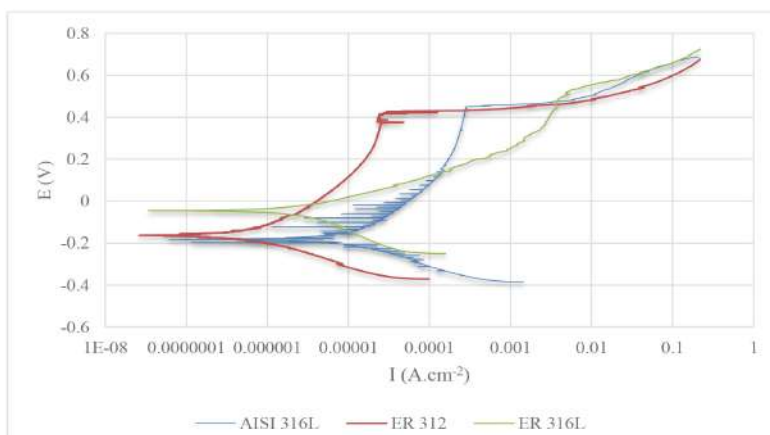
شکل ۲- ریزساختار فلز جوش فلز پرکننده ER 316L.



شکل ۳- ریزساختار فلز جوش فلز پرکننده ER 312.



شکل ۴- نمودار ریز سختی (ویکرز) اندازه گیری در مقاطع مختلف نمونه های جوشکاری شده و فلز پایه.



شکل ۵- نمودار پلاریزاسیون پتانسیودینامیکی تافل برای فلز جوش نمونه های جوشکاری شده و فلز پایه.

بررسی ریزساختار و استحکام TLP دمای پایین در اتصال آلیاژهای AA2024-T4 به AA6061-T6 با استفاده از لایه واسط Sn-2.4Bi

امین عنبرزاده^۱، حامد ثابت^۲، عبدالرضا گرانمایه ارومیه^۳

چکیده

در این تحقیق آلیاژهای AA6061-T6 و AA2024-T4 به روش فاز مایع گذرا به یکدیگر لحیم نرم شدند. ورق لایه واسط Sn-Bi با ضخامت ۵۰ میکرومتر مورد بررسی قرار گرفت. سطوح فلزات پایه با سمیاده کاربید سیلیسیم با مش ۸۰ آماده سازی سطحی شدند. سطوح آلیاژهای فلز پایه و لایه واسط پیش از مونتاژ به مدت 10 دقیقه با امواج اولتراسونیک با فرکانس ۳۵ کیلوهرتز در محلول استون در دمای محیط پاکسازی سطحی شدند. نمونه ها در محیط کوره اتمسفر کنترل با فشار ۲ اتمسفر گاز آرگون و با سرعت گرمایش ۵ درجه سانتیگراد بر دقیقه به دمای ۲۵۳ درجه سانتیگراد رسیدند؛ سپس به مدت ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ در دمای ۲۵۳ درجه سانتیگراد نگهداری شدند و پس از آن تا دمای محیط در در کوره سرد شدند. استحکام لحیم نرم حاصل پس از ۲۱۰ دقیقه برای لایه واسط با ضخامت ۷۰ میکرومتر ۱۲/۳ مگاپاسکال بدست آمد. محل اتصال با میکروسکپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. عنصر بیسموت به صورت همگن در فلزات پایه نفوذ کرد. عنصر مس در مرز دانه های آلومینیم تجمع نکرد. عناصر مس و منیزیم به مراتب بیشتر از آلومینیم در لایه واسط نفوذ کردند.

کلمات کلیدی: فاز مایع گذرا، لحیم کاری نرم، پیوند نفوذی، آلیاژهای هوافضا.

مقدمه

اتصال آلیاژهای ناهمسان از نظر دستیابی به نسبت استحکام به وزن بهتر همواره در صنایع خودروهای الکتریکی و هوافضا مورد توجه بوده است [۱]. آلیاژ AA2024 آلیاژی است با ۴ درصد وزنی مس و چگالی ۲/۷ گرم بر سانتی متر مکعب است که مقاومت به خوردگی مطلوب و قابلیت رسوب سخت پذیری دارد [۲]. استحکام تسلیم آلیاژ AA2024-O 75 مگاپاسکال و استحکام آلیاژ رسوب سخت شده آن AA2024-T4 معادل ۳۲۴ مگاپاسکال است [۳]. دمای سالیدوس 502 AA2024-T4 درجه سانتیگراد و دمای انحلال رسوبات این آلیاژ ۲۵۶ درجه سانتیگراد است [۴]. دمای انحلال پایین رسوبات استحکام بخش، اصلی ترین عاملی است که اتصال نفوذی این آلیاژ را محدود کرده و راه را برای تحقیقات بیشتر در دمایی کمتر ۲۵۶ درجه سانتیگراد باز گذاشته است.

پیش از این استفاده از لایه واسط مس به ضخامت ۲۲ میکرومتر برای ایجاد اتصال نفوذی AI7075 به Ti-6Al-4V با روش فاز مایع گذرا،

توسط Al. Hazza و همکارانش مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش بعد از ۳۰ دقیقه حداکثر استحکام ۱۹/۵ مگاپاسکال بدست آمد [۱]. بعد همین تیم تحقیقاتی لایه واسط Sn-3.6Ag-1Cu را مورد بررسی قرار داد [۵]. فرایند فاز مایع گذرا برای اتصال آلیاژهای AI7075 به Ti-6Al-4V با لایه واسط های از جنس 10Zn-3.5Bi و Sn-4Ag-3.5Bi با ضخامت ۵۰ میکرومتر توسط M.S Kenevisi و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت که به ترتیب برای این آلیاژهای لایه واسط حداکثر استحکام ۳۰ مگاپاسکال و 36 مگاپاسکال را حاصل کرد [۶]. پیوند نفوذی AI2024 به Ti-6Al-4V با لایه واسط متناوب Cu/Sn/Cu در محیط خلاء در دمای ۵۱۰ درجه سانتیگراد حداکثر استحکام ۳۷ مگاپاسکال را حاصل کرد [۸]. Samavatian و همکارانش در محیط خلاء و در دمای ۵۱۰ درجه سانتیگراد، آلیاژ لایه واسط Cu-22Zn را برای اتصال AI2024 به Ti-6Al-4V مورد استفاده قرار دادند که بعد از مدت یک ساعت حداکثر استحکام ۳۷ مگاپاسکال برای آن بدست آمد [۹]. فرایند فاز مایع گذرای مرحله ای برای اتصال آلیاژهای AI2024 به Ti-6Al-4V با لایه واسط Sn-5.3Ag-4.2Bi بعنوان لایه واسط، با ضخامت ۵۰ میکرومتر و با دمای مرحله دوم ۴۵۳ درجه سانتیگراد نیز بررسی شده است که استحکام ۶۲ مگاپاسکال را حاصل کرده است [۱۰]. استحکام مطلوب در تحقیقات قبلی به دو عامل مهم و اساسی باز می گردد. اول این نکته که شرایط فلزات پایه امکان تحمل حرارتی به مراتب بیشتر از دمای ۲۵۶ درجه سانتیگراد را داشتند و این افزایش دما امکان دستیابی به نرخ نفوذ اتمی سریع تر را فراهم می کند. دومین عامل این است که سمت دیگر این اتصال ها یک آلیاژ حاوی تیتانیوم بود که نفوذ این عنصر به درون لایه واسط خود به استحکام این اتصال ها می افزود. حال آن که در آلیاژ رسوب سخت شده AA2024-T4 امکان افزایش دما تا بیش از ۲۵۶ درجه سانتیگراد وجود ندارد و برای طراحی سخت ترین شرایط ممکن، آلیاژ AA6061-T6 بعنوان فلز پایه سمت مقابل آن انتخاب شده است. آلیاژ AA6061 با داشتن عنصر مس کمتر نسبت به AA2024 نمی تواند منبع قابل اتکابی برای ورود مس به لایه واسط تلقی شود. حال آنکه نفوذ عنصر مس به درون لایه واسط اثر استحکام بخش دارد. با اینکه آلیاژ AA2024-T4 استحکام بیشتری نسبت به AA7075 دارد اما بخاطر دمای پایین انحلال رسوبات به شدت استفاده از آن در صنایع هوافضا و خودروهای الکتریکی محدود و بعضاً حذف شده است. کاربرد سازه های متصل شده به روش پیوند نفوذی برای آلیاژ AA2024-O که تحمل حرارتی بالاتر دارد از آن بیشتر

است. لذا بر آن شدیم تا برای رفع این مشکل گامی هر چند آغازین برداریم.

فرایند آزمایش

- روش ساخت نمونه های اصلی

ترکیب شیمیایی فلزات پایه در جدول (۱) آمده است. آزمایشات اصلی برای ورق **Sn-2.4Bi** انجام شده است اما ضخامت 70 میکرومتری از همین آلیاژ برای ساخت نمونه های شاهد و مقایسه نتایج نیز تهیه شده است. استحکام کششی آلیاژ لایه واسط ساخته شده **Sn-2.4Bi** بطور میانگین ۳۷ مگاپاسکال است. دمای لیکوئیدوس آن در محیط گاز آرگون با فشار ۲ اتمسفر حدود ۸۸ درجه سانتیگراد و دمای سالییدوس آن حدود ۲۱۸ درجه سانتیگراد بر اساس آزمایش آنالیز خواص گرمایی به روش سنجش گرمایی تفاضلی (در گرم کردن) بدست آمد. فلزات پایه برای ساخت نمونه تست کشش به ابعاد $3 \times 32 \times 130$ میلیمتر و برای ساخت نمونه های متالوگرافی در ابعاد $3 \times 25 \times 16$ میلیمتر برش زده شد. سطوح فلزات پایه با سمباده کاربید سیلیسیم با مش ۸۰ آماده سازی سطحی شدند. سطوح آلیاژهای فلز پایه و لایه واسط پیش از مونتاژ به مدت ۱۰ دقیقه با امواج اولتراسونیک با فرکانس ۳۵ کیلوهرتز در محلول استون در دمای محیط پاکسازی سطحی شدند. سیکل عملیات حرارتی مورد استفاده در شکل (۱) ارائه شده است. آزمایش در دمای ۲۵۳ درجه سانتیگراد برای زمان های ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ دقیقه و برای هر کدام با دوبار تکرار انجام شد. سطح مقطع اتصال با محلول شامل $1/5$ میلی لیتر **HCl**، $5/5$ میلی لیتر **NHO₃**، 1 میلی لیتر **HF** و ۹۵ میلی لیتر آب مقطر حکاکی شد. میکروساختار با میکروسکوپ الکترونی مدل **seron AIS2300C** مورد بررسی قرار گرفت.

- روش ساخت نمونه شاهد

تمام مراحل ساخت نمونه های شاهد از برش زدن تا عملیات حرارتی مشابه نمونه های اصلی است. در مجموع دو نمونه شاهد یکی برای بررسی ساختار و دیگری برای بررسی استحکام تهیه شد. ضخامت لایه واسط در نمونه های شاهد ۷۰ میکرومتر و جنس لایه واسط مشابه آزمایشات اصلی **Sn-2.4Bi** انتخاب شد. نمونه شاهد اول برای مقایسه استحکام با نمونه های اصلی به مدت ۱۵۰ دقیقه در دمای ۲۵۳ درجه سانتیگراد و با شرایط مشابه با نمونه های اصلی تست استحکام برشی تهیه شد. نمونه متالوگرافی با شرایط کاملاً مشابه اما به مدت ۲۱۰ دقیقه در کوره در دمای ۲۵۳ درجه سانتیگراد نگهداری شد.

نتایج آزمایش ها و بحث

شکل (۲)، میکروساختار محل اتصال را برای نمونه اصلی و شاهد بعد ۲۱۰ دقیقه ماندن در دمای ۲۵۳ درجه سانتیگراد نشان می دهد.

نقشه توزیع عناصر برای همین نمونه ها در شکل (۳ و ۴) ارائه شده است. اسکن خطی چهار عنصر آلومینیم، قلع، مس و بیسموت نیز برای همین مقاطع اتصال در شکل های (۵ و ۶) آمده است. با توجه به نقشه های توزیع عناصر و اسکن های خطی، عنصر بیسموت توانسته است از لایه واسط به درون فلزات پایه نفوذ کند. نقش این عنصر در آلیاژ لایه واسط بهبود ترشوندگی اتصال، جلوگیری از ایجاد آفت قلع و همچنین بهبود استحکام لایه واسط از طریق ایجاد محلول جامد است. عنصر آلومینیم و همچنین قلع، نفوذ متقابل را به صورت محسوس در این دما نشان نمی دهند. اما نفوذ عنصر مس از فلزات پایه به درون لایه واسط قابل توجه است. با توجه به نقشه های توزیع عناصر در شکل (۳ و ۴)، عنصر منیزیم نیز از فلزات پایه به درون آلیاژ لایه واسط نفوذ کرده است. از آنجایی که در این دما نفوذ عنصر مس و منیزیم از فلزات پایه به آلیاژ لایه واسط به مقدار قابل توجه بیشتر از نفوذ عناصر لایه واسط به فلزات پایه است، لایه واسط شروع به ضخیم شدن کرده است. با توجه به نقشه های توزیع عناصر و همچنین شکل (۳)، واضح است که با کاهش ضخامت لایه واسط از 70 میکرومتر به ۵۰ میکرومتر، میزان امتزاج بیشتر و مرز بین لایه واسط و فلزات پایه نازک تر شده است. این مساله به این ریشه باز می گردد که با کاهش ضخامت لایه واسط، فاصله ای که عناصر مس و منگنز برای رسیدن به غلظت یکنواخت طی می کنند کمتر می شود. بنابراین با کاهش ضخامت لایه واسط، میزان امتزاج و نفوذ اتمی بیشتر و یقیناً استحکام افزایش می یابد. افزایش ضخامت لایه واسط زمانی در فرایند فاز مایع گذرا اتفاق می افتد که میزان نفوذ عناصر از فلزات پایه به آلیاژ لایه واسط بیشتر از میزان نفوذ عناصر از آلیاژ واسط به سمت فلزات پایه باشد.

این چنین حالتی عمدتاً در دماهایی کمتر از دمای تبلور مجدد فلزات پایه و یا دماهای انحلال رسوبات اتفاق می افتد. لازم به ذکر است که برعکس این حالت، در دماهای بالا که نفوذ اتمی شدت می یابد لایه واسط شروع به نازک شدن و در واقع انحلال در فلزات پایه می کند که در آن صورت فرآیند از حالت لحیم کاری خارج و به سمت جوش شدن پیش می رود. در دماهای بالاتر از ۲۵۶ درجه سانتیگراد عنصر مس در مرز دانه های آلومینیم شروع به تجمع می کند که با توجه به انتخاب صحیح دمای فرآیند، نقشه های توزیع عناصر این مورد را نشان نمی دهد (تجمع عنصر مس در مرز دانه های آلومینیم منجر به تشکیل فاز تنا ترد و پیوسته در مرز دانه آلومینیم می شود که عاملی برای ایجاد ترک مرز دانه ای است). با توجه به توزیع عناصر و آنالیز خطی بدست آمده وجود دو ترکیب Cu_6Sn_5 و $Mg_{15}Al_{40}Ag_{15}$ در لایه واسط بسیار محتمل است اما بطور یقین نمی توانیم وجود این رسوبات را تایید کنیم. با افزایش زمان اتصال، استحکام اتصال افزایش یافته است و میزان خطای اندازه گیری استحکام کاهش. به گونه ای که استحکام دو نمونه تهیه شده در زمان ۲۱۰ دقیقه با ضخامت ۵۰ میکرومتر بسیار نزدیک به هم و حدود $12/3$ مگاپاسکال حاصل شده است. در زمان ۱۵۰ دقیقه استحکام نمونه شاهد با ضخامت ۷۰ میکرومتر در بازه خطای

3- ASTM - Designation: B209M - 14, "Standard Specification for Aluminum and Aluminum", Alloy Sheet and Plate (Metric), 2014.

<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=B209M>

4- Aerospace Specification Metals Inc (ASM), "ASM Material Data Sheet", 1987, 800 398-4345. Aluminum 6061-O.

<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061O>.

5-A.N. Alhazaa, T.I. Khan. "Diffusion bonding of Al7075 to Ti-6Al-4V using Cu coatings and Sn-3.6Ag-1Cu interlayers", Journal of Alloys and Compounds, 2010, 494: 351-358.

<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.01.037>

6-M.S.Kenevisi, S.M.Mousavi Khoie. "A study on the effect of bonding time on the properties of Al7075 to Ti-6Al-4V diffusion bonded joint", Materials Letters, 2012, 76: 144-146.

<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.02.104>

7-M.S.Kenevisi, S.M.Mousavi Khoie. "An investigation on microstructure and mechanical properties of Al7075 to Ti-6Al-4V Transient Liquid Phase (TLP) bonded joint", Materials and Design, 2012, 38: 19-25.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.01.046>

8-Majid Samavatian, Ayoub Halvae, Ahmad Ali Amadeh, Alireza Khodabandeh- "An investigation on microstructure evolution and mechanical properties during liquid state diffusion bonding of Al2024 to Ti-6Al-4V". Materials Characterization, 2014, 98: 113-118.

<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2014.10.018>

9-Majid Samavatian, Ayoub Halvae, Ahmad Ali Amadeh, Alireza Khodabandeh "Transient liquid phase bonding of Al 2024 to Ti-6Al-4V alloy using Cu-Zn interlayer", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015, 25: 770-775.

[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(15\)63662-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(15)63662-7)

10-Amin Anbarzadeh, Hamed Sabet, Mehrdad Abbasi, "Effects of Successive- Stage Transient Liquid Phase (S-TLP) on Microstructure and mechanical properties of Al2024 to Ti-6Al-4V joint", Materials Letters, 1 September 2016- 178: 280-283.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2016.04.071>

پی نوشت

- 1- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مواد و متالورژی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- 2- دانشیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- 3- استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

نمونه های اصلی قرار گرفته است. حال آنکه با توجه به شرایط نفوذ واسط ۵۰ میکرومتر باشد و با افزایش زمان فرایند این مورد محسوس تر خواهد شد. بنابراین زمان ۱۵۰ دقیقه هنوز برای بروز اختلاف جدی در استحکام کافی نیست و نتیجه نزدیک بودن استحکام اتصال نمونه های با لایه واسط ۵۰ و ۷۰ میکرومتر برای زمان های فرایند بیشتر قابل تعمیم نیست. وجود مرز به مراتب عریض تر میان لایه واسط و فلزات پایه در نمونه شاهد با ضخامت لایه واسط 70 میکرومتر بعد از ۲۱۰ دقیقه، نسبت به نمونه اصلی در همین زمان (شکل ۳ و ۴) درستی این تحلیل را نشان می دهد.

جمع بندی نتایج

- عنصر بیسموت از آلیاژ لایه واسط به صورت همگن به درون فلزات پایه نفوذ کرده است اما نفوذ عنصر قلع به درون فلزات پایه در این دما قابل توجه نیست.

- نفوذ عناصر مس و منیزیم از فلزات پایه به درون آلیاژ لایه واسط، نسبت به نفوذ ناچیز آلومینیم به درون لایه واسط، قابل توجه است.

- با کاهش ضخامت لایه واسط از ۷۰ میکرومتر به ۵۰ میکرومتر میزان امتزاج، پیوستگی و استحکام اتصال بهبود می یابد.

- با افزایش زمان فرایند، میزان امتزاج و در نتیجه استحکام اتصال افزایش می یابد، حداکثر استحکام ۱۲/۳ مگاپاسکال برای آلیاژ لایه واسط به ضخامت ۵۰ میکرومتر بعد از ۲۱۰ دقیقه بدست آمد (استحکام آلیاژ لایه واسط انتخاب شده ۳۷ مگاپاسکال است).

- دمای فرایند فاز مایع گذرا برای ایجاد لحیم نرم ۲۵۳ درجه سانتیگراد انتخاب و اجرا شد (دمای انحلال رسوبات در آلیاژ AA2024-T4 معادل ۲۵۶ درجه سانتیگراد است). این مورد در جلوگیری انحلال رسوبات و تجمع عنصر مس در مرز دانه های آلومینیم و همچنین کاهش استحکام فزات پایه نقش اساسی دارد.

منابع

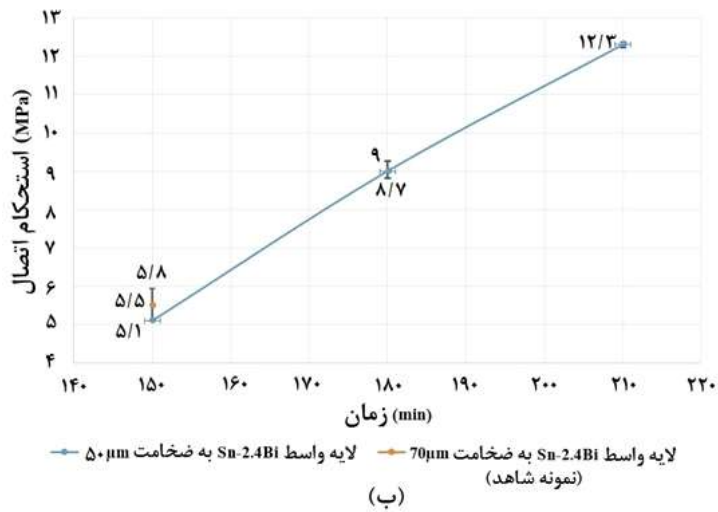
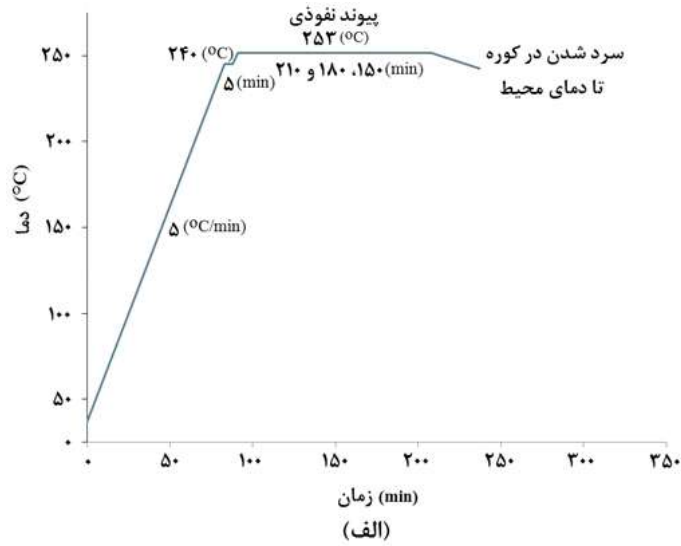
1-A.Alhazaa, T.I.Khan, I.Haq. "Transient liquid phase (TLP) bonding of Al7075 to Ti-6Al-4V alloy", Materials Characterization, 2010, 61: 312-317. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2009.12.014>

2-Aerospace Specification Metals Inc (ASM), "ASM Material Data Sheet", 1987, 800 398-4345. Aluminum 2024-O. <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2024O>.

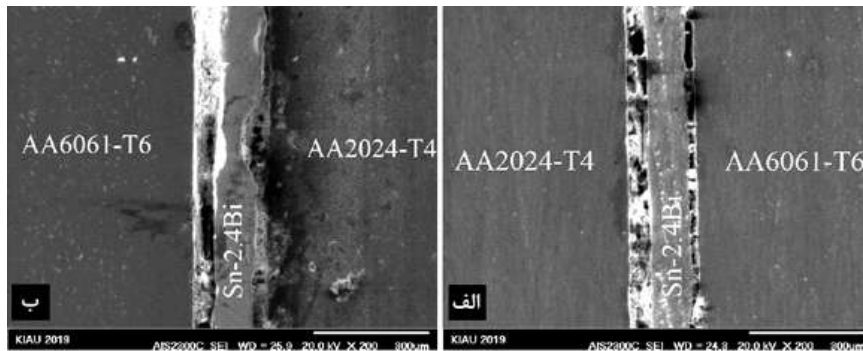
جدول ۱- ترکیب شیمیایی فلزات پایه.

درصد وزنی عناصر						آلیاژها	
Si	Fe	Cr	Mn	Mg	Cu	Al	
۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۵	۱/۴	۴/۱	زمینه	AA2024-T4
۰/۶۲	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۹۲	۰/۲۳	زمینه	AA6061-T6

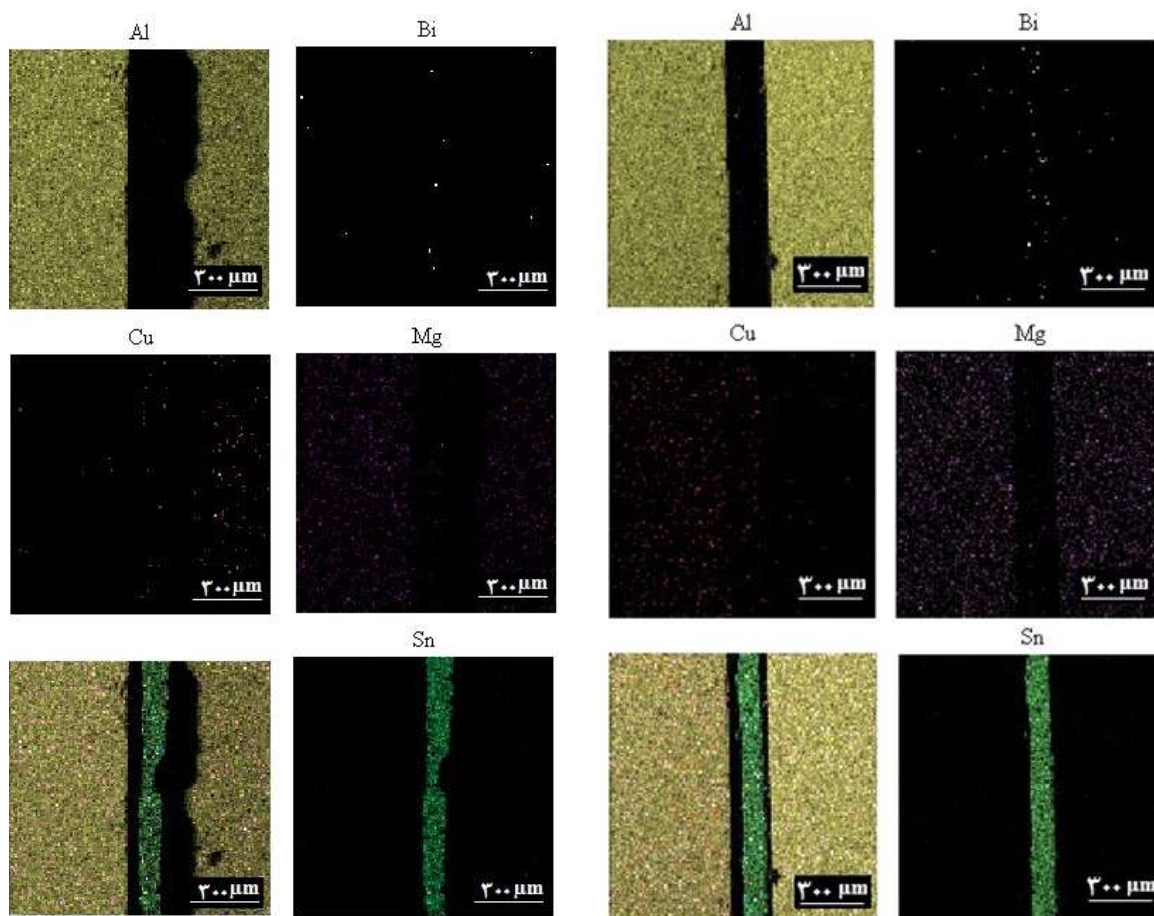
Welding Research



شکل ۱- الف - سیکل حرارتی، ب - استحکام نمونه‌ها.

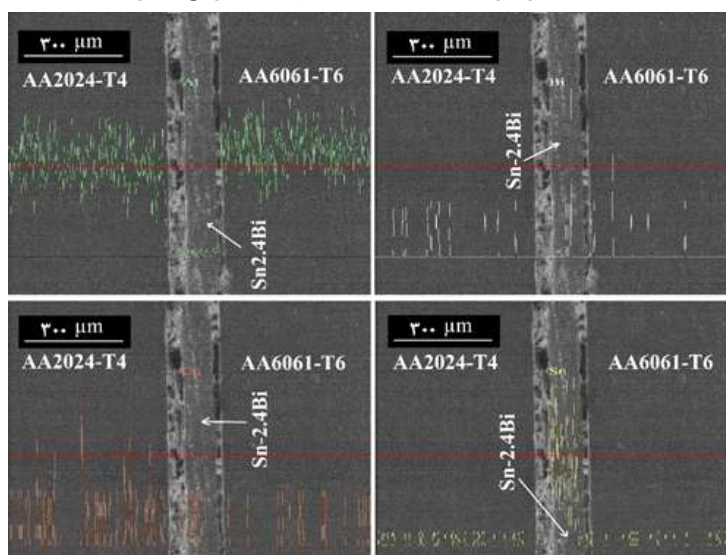


شکل ۲- الف - لایه واسط ۵۰ میکرومتر، ب - لایه واسط ۷۰ میکرومتر.

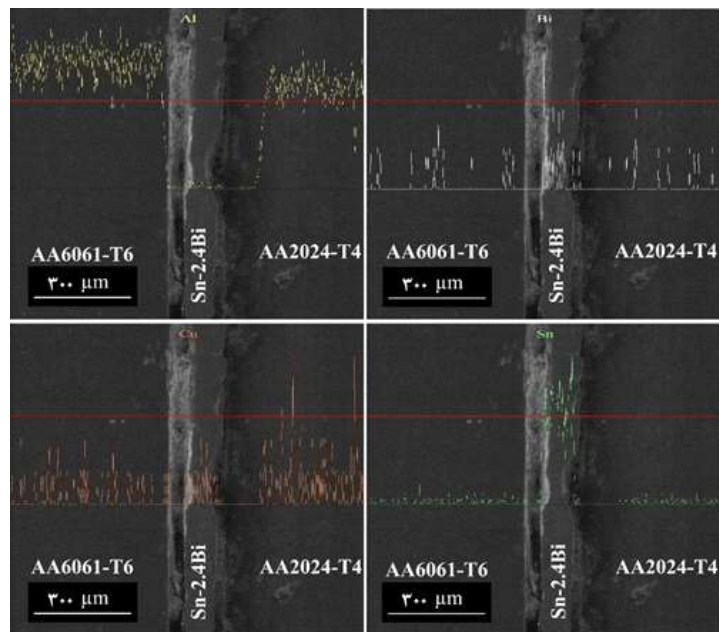


شکل ۴- نقشه توزیع عناصر - ضخامت لایه واسط ۷۰ میکرومتر.

شکل ۳- نقشه توزیع عناصر - ضخامت لایه واسط ۵۰ میکرومتر.



شکل ۵- آنالیز عنصری خطی - ضخامت لایه واسط ۵۰ میکرومتر.



شکل ۶- آنالیز عنصری خطی - ضخامت لایه واسط ۷۰ میکرومتر.

نشریه علم پژوهش و فناوری جوشکاری ایران


انستیتو ملی پژوهش و فناوری جوشکاری ایران
 علم و فناوری جوشکاری ایران

دانش زمان انقلاب بر روی ساختار و خواص مکانیکی بر پایه اصول ۳۹ ماده ۳۴۱ جمهوری اسلامی ایران...
 دانش زمان انقلاب بر روی ساختار و خواص مکانیکی بر پایه اصول ۳۹ ماده ۳۴۱ جمهوری اسلامی ایران...
 دانش زمان انقلاب بر روی ساختار و خواص مکانیکی بر پایه اصول ۳۹ ماده ۳۴۱ جمهوری اسلامی ایران...

شماره ۱۰، شماره ۱۴۰۱، پاییز و زمستان، شماره پیاپی: ۱۵
 ISSN: 2797-674X
 شابک: 978-964-9547-67-4

Journal of Welding Science and Technology of Iran
 Volume 10, Number 3, 2022
Effect of diffusion bonding temperature on microstructure properties of Zn702/Ti interlayer in the diffusion bonded joints of Zn702 to A516 steel
 A. Pourjafar¹, R. Dehmoaei^{1*}, S.R. Alavi Zaree², Kh. Rangbar², M. Tavakoli Shoushtar²
 1- Department of Materials Science & Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chaharmahal University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
 2- Steel Research Center, Shahid Chaharmahal University of Ahvaz, Chaharmahal Univ. Steel Co.
 Received 19 Nov 2022 - Accepted 11 October 2023

Abstract
 In this study, the effect of temperature on the microstructure and reactive layer at the interface between the Ti interlayer and the base metal related to the diffusion bonding of Zn702 to A516 low alloy steel was investigated. The joining was done using the spark plasma sintering technique at temperatures of 900, 950 and 1000°C for 30 minutes. Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) equipped with EDS analysis was used to investigate the microstructure of the interface in various joints. Investigations showed that at all temperatures, with the diffusion of atoms and the formation of a reactive layer between the Ti interlayer and Zn702, no intermetallic phases, cracks, porosity and discontinuities were formed at their interfaces. Three solid solution phases were detected in the bonding interface: α -Zn, β -Zn and δ -Zn. It was found that increasing the bonding temperature did not cause the formation of new phases and compounds in the interface and only increased the thickness of the reaction layer. The measurement of the thickness of the reaction layer showed that the maximum and minimum amounts of diffusive were 80 microns at 1000 °C and 64 microns at 900 °C, respectively.

Keywords: Diffusion bonding, hot-chamber, reaction layer, Zn702, SPIN technique.
 © Copyright by Author. All rights reserved.

۱۰ نشریه علمی و فناوری جوشکاری ایران، پاییز و زمستان، ۱۴۰۱، شماره ۱۰

مقصود از این مقاله بررسی اثر دما بر روی خواص میکرو ساختاری و خواص مکانیکی در مفاصل جوشکاری شده از فولاد Zn702 به فولاد A516 با استفاده از روش پخت در پلاسما است. این مطالعه در دماهای ۹۰۰، ۹۵۰ و ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۳۰ دقیقه انجام شد. از میکروسکوپ الکترونی پرتو میدانی مجهز به آنالیز طیف انرژی پراکنده (FESEM) برای بررسی میکروساختار مفاصل در نقاط مختلف استفاده شد. نتایج نشان داد که در تمام دماها، با انتشار اتم‌ها و تشکیل یک لای واکنشی بین لای میانی Ti و فولاد Zn702، هیچ فاز یا ترکیب بین‌فلزی، ترک، تخلخل یا ناهمگونی در مفاصل تشکیل نشد. سه فاز محلول جامد در مفاصل شناسایی شد: α -Zn، β -Zn و δ -Zn. مشخص شد که با افزایش دمای پخت، تشکیل فازها و ترکیب‌های جدید در مفاصل رخ نداد و تنها ضخامت لای واکنشی افزایش یافت. اندازه‌گیری ضخامت لای واکنشی نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار نفوذ ۸۰ میکرون در ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد و ۶۴ میکرون در ۹۰۰ درجه سانتیگراد به ترتیب است.

کلیدواژه‌ها: جوشکاری با پلاسما، لای واکنشی، Zn702، تکنیک SPIN.
 © حق نشر با نویسنده. کلیه حقوق محفوظ است.

همچنین با افزایش دما در مفاصل جوشکاری شده از فولاد Zn702 به فولاد A516، هیچ فاز یا ترکیب بین‌فلزی، ترک، تخلخل یا ناهمگونی در مفاصل تشکیل نشد. سه فاز محلول جامد در مفاصل شناسایی شد: α -Zn، β -Zn و δ -Zn. مشخص شد که با افزایش دمای پخت، تشکیل فازها و ترکیب‌های جدید در مفاصل رخ نداد و تنها ضخامت لای واکنشی افزایش یافت. اندازه‌گیری ضخامت لای واکنشی نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار نفوذ ۸۰ میکرون در ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد و ۶۴ میکرون در ۹۰۰ درجه سانتیگراد به ترتیب است.

<https://jwsti.iut.ac.ir>

نشانی دبیرخانه: اصفهان - خیابان شمس آبادی - ساختمان شمس - طبقه ۴- واحد ۴۱۳- کدپستی ۸۱۳۴۶۵۳۳۸۱
 تلفن: ۰۳۱۳۲۲۴۰۳۲۵ شماره: ۰۳۱۳۲۲۳۱۷۶۵ Email: info@iwnt.com
 تارنما: www.iwnt.com سامانه عضویت: www.iwnt-membership.ir سامانه گواهینامه‌ها: https://iwntcs.ir