http://mjmec.ir

مجله علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

خرداد ۱۳۹۲، دوره ۱۳ شماره ۳ ص‌ص ۱۴۶-۱۵۲

مقاله پژوهشی کامل
تاریخ دریافت ۹۱/۶/۱۸
تاریخ پذیرش ۹۱/۱۱/۲۶
ارائه در سایت ۹۱/۱۲/۳۰

# مقایسه ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال آلیاژ آلومینیم به روش اصطکاکی اغتشاشی در هوا و زیرآب

**سلمان نوروزی[۱*]، محسن شاکری[۲]، نامدار کریمی[۳]**

۱- استادیار مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بابل، بابل
۲- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بابل، بابل
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی ساخت و تولید، دانشگاه صنعتی بابل، بابل
* بابل، صندوق پستی ۴۸۴، s-nourouzi@nit.ac.ir

**چکیده-** جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به عنوان یک فرایند اتصال در حالت جامد به طور گسترده در جوشکاری آلیاژهای مختلف فلزی به ویژه آلیاژهای آلومینیم بکار می‌رود. اگرچه حرارت کم تولید شده در طول این فرایند باعث ذوب فلز پایه نمی‌شود ولی سیکل حرارتی اعمالی روی نمونه، سبب کاهش خواص مکانیکی ناحیه اتصال می‌شود. اخیراً در این روش از جوشکاری، از روش‌های خنک‌کاری در حین فرایند استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر ریزساختار و خواص مکانیکی ناحیه جوش آلیاژ الومینیم ۵۰۵۰ در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی زیرآب مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج آن با نمونه جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی در هوا مقایسه شد. نتایج حاصل نشان داد که ساختار جوشکاری شده در زیرآب به مقدار ۳۶٪ نسبت به ساختار جوشکاری شده در هوا ریزدانه‌تر بوده و استحکام کششی آن حدود ۶٪ ارتقا یافت. همچنین ناحیه اغتشاشی در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی زیرآب دارای سختی بیشتری نسبت به جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی در هوا است.

**کلیدواژگان:** جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، جوشکاری زیرآب، خواص مکانیکی جوش، جوشکاری آلیاژ آلومینیم.

# Comparison of microstructure and mechanical properties of aluminum alloy joining by friction stir welding in air and underwater

**S. Nourouzi[1*], M. Shakeri[2], N. Karimi[3]**

1- Assis. Prof., Materials Eng., Mech. Eng. Faculty, Babol Univ. of Tech., Babol, Iran
2- Assoc. Prof., Mech. Eng., Mech. Eng. Faculty, Babol Univ. of Tech., Babol, Iran
2- MSc. Student, Mech. Eng., Babol Univ. of Tech., Babol, Iran
* P. O. B. 484, Babol, Iran. s-nourouzi@nit.ac.ir

**Abstract-** Friction stir welding as a joining process in solid state welding various alloys widely used metal, particularly aluminum alloys. Although the low heat generated during the process does not melt the base metal, but the thermal cycle applied to the sample, which reduces the mechanical properties of the junction. Recently, this method of welding process is used in the cooling methods. In this study the microstructure and mechanical properties of 5050 aluminum alloy weld in two conditions: with friction stir welding in the air and on underwater friction stir welding was studied.The results of underwater friction stir welding were compared with samples of friction stir welding in the air. Results showed that the structure of the underwater welding was 36% more finely than welded structures in air and its tensile strength was improved about 6%. Also, the SZ zone in underwater friction stir welding has a higher hardness than friction stir welding in air.

**Keywords:** Friction Stir Welding, Underwater Welding, Mechanical Properties of The Weld, Welding of Aluminum Alloys.

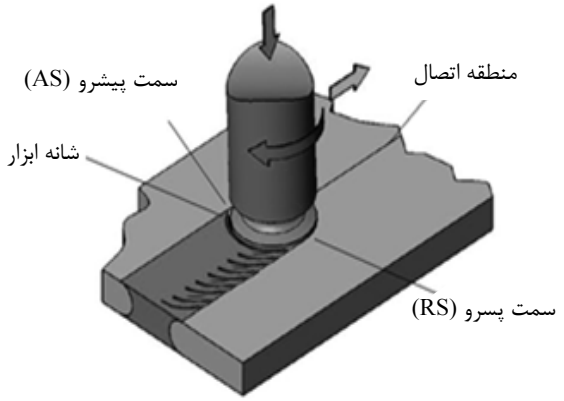
[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.3.1.7 ]

## ۱- مقدمه

امروزه آلیاژهای آلومینیم به علت نسبت استحکام به وزن و مقاومت به خوردگی بالا نسبت به فولادها، به طور وسیعی در صنایع هوافضا، حمل و نقل و شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با گسترش استفاده از آلومینیم در صنایع مختلف، موضوع اتصالات در آلیاژهای آلومینیم بیش از پیش مورد توجه قرار گرفت. جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی[1] از فرایندهای جوشکاری حالت جامد است که به طور موفقیت‌آمیزی در اتصال آلیاژهای فلزی به ویژه آلیاژهای آلومینیم مورد استفاده قرار گرفت. در این روش، عملیات جوشکاری توسط ابزاری متشکل از دو بخش پین و شانه صورت می‌گیرد. ابزار با سرعت دورانی مناسب وارد فصل مشترک بین دو قطعه شده و با ایجاد حرارت ناشی از اصطکاک بین ابزار و قطعات، تغییر شکل مواد را به دنبال دارد که با پیشروی آن، اتصال دو نمونه به یکدیگر صورت می‌گیرد [۲،۱]. در شکل ۱ طرح‌واره فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نشان داده شده است.

در طول فرایند FSW اگرچه حرارت کم ایجاد شده منجر به ذوب فلز پایه نمی‌شود، ولی سیکل حرارتی اعمال شده روی نمونه‌ها سبب کاهش خواص مکانیکی ناحیه اتصال می‌شود [۴،۳]. استحکام اتصال های FSW می‌تواند با کنترل دما در حین جوشکاری بهبود یابد. یکی ازاین روش‌ها، استفاده از سیستم خنک‌کاری در حین فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی می‌باشد.




**شکل ۱** طرح‌واره فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

1. Friction Stir Welding (FSW)

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی زیرآب[2] یکی از زیر شاخه‌های FSW است که برای ارتقا و بهبود کیفیت جوش‌ها از طریق کنترل حرارت ورودی به ناحیه جوش و پایین نگه داشتن دمای ابزار در حین فرایندانجام می‌شود. به‌طور کلی روش UFSW به دو صورت انجام می‌شود. در روش اول کل مجموعهٔ ابزار و قطعه در زیر آب قرار دارند و در روش دوم آب با دبی معین روی سطح قطعه کار جریان دارد [۵].

خنک‌کاری با مایع خارجی در چندین فرایند اتصال در حالت جامد جهت بهبود عملکرد اتصال بکار برده شد. سروکادا و همکاران [۶] جوشکاری اصطکاکی زیرآب آلیاژ آلومینیم ۶۰۶۱ از طریق فشردن یک نمونه استوانه‌ای دوار با سرعت بالا بر روی یکدیگر را مطالعه کردند. این محققان اعلام کردند که استحکام خستگی اتصال در این حالت بیشتر از مقدار آن در حالت جوشکاری در هوا بوده است. فاراتینی و همکاران [۷] گزارش کردند که با استفاده از جریان آب روی ورق ها در طول FSW، بهبود قابل توجهی در استحکام کششی نهایی به وسیله کنترل حرارت ورودی توسط پارامترهای جوشکاری مختلف مشاهده شد. آنان اعلام کردند که تغییر ریزساختار نواحی جوش به وسیله خنک‌کاری آب، عامل بهبود در خواص مکانیکی بود. مفید و همکاران [۸] تاثیر خنک کنندگی آب را بر خواص اتصال آلیاژ آلومینیم به منیزیم در جوشکاری اصطکاکی مورد مطالعه قرار دادند. این محققان گزارش کردند که در جوشکاری اصطکاکی زیر آب به دلیل دمای پایین و حرارت ورودی کمتر، ترکیبات بین فلزی کمتری نسبت به جوشکاری در هوا در ناحیه اغتشاش ایجاد می‌شود.

درتحقیق حاضر، عملیات جوشکاری ورق‌های آلومینیم ۵۰۵۰ نورد سرد شده به روش اصطکاکی اغتشاشی در زیرآب و در هوا انجام شد. سپس ریزساختار و خواص مکانیکی ناحیه جوش نمونه‌های جوشکاری شده در این دو روش مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- فلز پایه

در این پژوهش عملیات جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی روی ورق‌های نورد سرد شده آلومینیم۵۰۵۰ به ضخامت ۳ میلی‌متر

2. Underwater Friction Stir Welding (UFSW)



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.3.1.7 ]

در دو حالت در هوا و در زیر آب انجام شد. در شکل ۲ فرایند FSW انجام شده در زیر آب نشان داده شده است. ترکیب شیمیایی ورق آلیاژ آلومینیم مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. ورق‌ها با استفاده از دستگاه گیوتین به ابعاد ۳×۱۰۰×۱۵۰ میلی‌متر به گونه‌ای که جهت نورد در عرض ورق واقع شود برش زده شدند. نمونه‌ها بعد از برش لبه آنها ماشین‌کاری شده و سپس به وسیله سوهان تمیز شدند و در ادامه دو ورق به صورت لب به لب در داخل قیدی محکم ثابت شدند. فرایند جوشکاری در جهت طولی نمونه‌ها (عمود بر جهت نورد) با استفاده از یک ماشین فرز سه محور در سرعت‌های دورانی و پیشروی مختلف انجام شد.

در این تحقیق ابزاری از جنس فولاد ابزار HSS با پین مخروطی شکل استفاده شد. در جدول ۲ ترکیب شیمیایی فولاد ابزار HSS مورد استفاده، درج شده است. این ابزار دارای طول پین ۲/۷ میلی‌متر و قطر شانه ۲۰ میلی‌متر بود. همچنین شانه ابزار یک زاویه ۶ درجه به سمت داخل داشت تا مواد به واسطه چرخش پین وارد محفظه حاصل از این زاویه شده و در هنگام عبور ابزار با نیروی زیاد به سمت پایین فورج شوند. شکل ۳ هندسه ابزار HSS حاوی پین مخروطی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

## ۲-۲- متالوگرافی و مطالعه ریزساختاری

بعد از انجام جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، ورق‌ها در جهت عمود بر راستای فرایند بریده شدند. نمونه‌های تهیه شده پس از سنباده‌کاری برای دستیابی به صافی سطح بالا توسط خمیر الماسه ۱۵ و ۳ میکرون صیقل کاری شدند. برای بررسی ریزساختاری و تعیین اندازه دانه، نمونه‌ها در محلول پولتون اصلاح شده به مدت ۴۵ ثانیه حکاکی شدند. مطالعه ریزساختاری نمونه‌های تهیه شده در بزرگنمایی‌های مختلف با استفاده از میکروسکوپ نوری مجهز به نرم‌افزار تحلیل تصاویر صورت گرفت و برای بررسی دقیق‌تر و بزرگنمایی‌های بالاتر از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد.

## ۲-۳- آزمون کشش

نمونه‌های آزمون کشش بر اساس استاندارد ASTM- E8 [۹] توسط دستگاه وایرکات برش خورده و آماده‌سازی شدند. برای این آزمون از یک دستگاه آزمایش کشش با ظرفیت ده تن استفاده شد. سرعت حرکت فکهای دستگاه ۲mm/min تنظیم شد. شکل ۴ نقشه ابعادی نمونه‌های کشش را نشان می‌دهد.

**شکل ۲** تصویر فرایند FSW در زیر آب مورد استفاده در تحقیق

**شکل ۳** ابزار HSS حاوی پین مخروطی مورد استفاده در تحقیق

**جدول ۱** ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۰ مورد استفاده

| عناصر | Al | Ti | V | Cr | Ni | Zn | Cu | Mn | Si | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درصد | بقیه | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۱۰ | <۰/۰۰۵ | <۰/۰۰۸ | ۰/۰۴۳ | ۰/۲۲۴ | ۰/۱۲۰ | ۱/۷۲۰ |

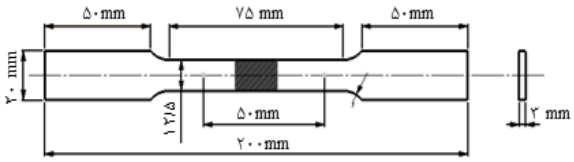
**جدول ۲** ترکیب شیمیایی فولاد ابزار HSS

| عناصر | Fe | Cu | S | P | V | W | Co | Ni | Mo | Cr | Mn | Si | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درصد | ۷۵/۵۰ | ۰/۱۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۷ | ۱/۹۰ | ۷/۳۲ | ۴/۳۳ | ۰/۱۶ | ۵/۲۷ | ۳/۵۷ | ۰/۲۵ | ۰/۳۲ | ۰/۸۸ |



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.3.1.7 ]




**شکل ۴** ابعاد نمونه کشش مطابق با استاندارد ASTM- E8

### ۲-۴- آزمون سختی سنجی

ریزسختی ویکرز روی سطح مقطع نمونه‌ها (عمود بر مسیر جوشکاری) و عمق ۱/۵ میلی‌متری زیر سطح انجام شد و میزان بار دستگاه ۱۰۰ گرم و مدت زمان اعمال بار ۱۵ ثانیه تنظیم شد. فواصل انجام آزمون روی هر نمونه ۱/۵ میلی‌متر انتخاب گردید.

## ۳- نتایج و بحث

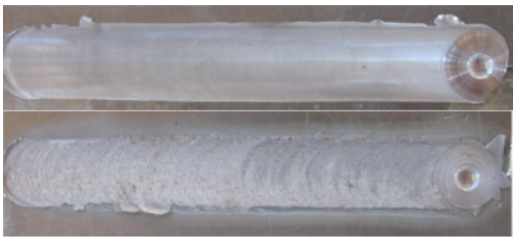
### ۳-۱- کیفیت ظاهری

ابتدایی‌ترین روش ارزیابی نمونه جوشکاری شده بازرسی چشمی است که از طریق آن می‌توان به بسیاری از عیوب نمونه جوشکاری شده پی برد. به طور کلی سطح ظاهری جوش‌ها از کیفیت بالایی برخوردار بود. عیوبی مانند حفره و ترک بر روی سطح نمونه‌ها مشاهده نشد. پس از اتمام فرایند در محل خروج ابزار اثر دایروی پین بر روی قطعه‌کار باقی ماند. این پدیده یکی از معایب جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی است که در صورت کم بودن عمق نفوذ این اثر دایره‌ای شکل ابزار بر روی قطعه‌کار به صورت ناقص خواهد بود. سطح ظاهری نمونه‌های جوشکاری شده به روش FSW و UFSW به ترتیب در شکل‌های ۵- الف و ۵- ب نشان داده شده است. با بررسی شکلهای ۵- الف و ۵- ب مشاهده می‌شود که سطح نمونه جوشکاری شده به روش FSW از کیفیت بالاتری در مقایسه با نمونه جوشکاری شده به روش UFSW برخوردار است. کیفیت سطحی پایین‌تر نمونه جوشکاری شده در UFSW نسبت به نمونه FSW را می‌توان ناشی از حرارت ورودی کم در اثر نرخ سرد شدن بالای ناحیه جوش در این روش در نظر گرفت.

تصویر درشت ساختاری مقطع در نمونه‌های جوشکاری شده به روش FSW و UFSW به ترتیب در شکل‌های ۶- الف و ۶- ب نشان داده شده است. همان‌گونه که از شکل‌ها مشاهده می‌شود هیچ‌گونه عیوب و ناپیوستگی در ناحیه اغتشاشی[1] (SZ) مشاهده نمی‌شود. این موضوع حاکی از اتصال سالم و عاری از عیب در شرایط اعمالی جوشکاری این دو روش می‌باشد.

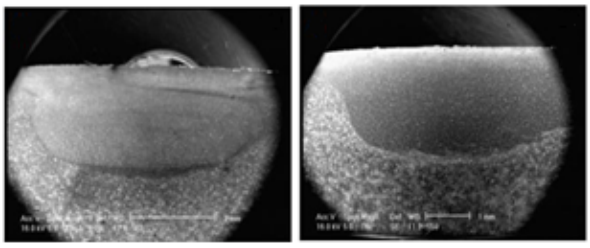
### ۳-۲- ریزساختار

از آنجا که بررسی نتایج حاصل از آزمون کشش، ریزسختی نمونه‌های جوشکاری شده به روش اصطکاکی اغتشاشی بدون در نظر گرفتن تحولات ریزساختاری به وجود آمده میسر نمی‌باشد، لذا در ابتدا به بررسی تأثیر جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی بر ریزساختار اتصال آلومینیم ۵۰۵۰ پرداخته شد. شکل ۷ ریزساختار نمونه جوشکاری شده به روش اصطکاکی اغتشاشی زیرآب را نشان می‌دهد. در این شکل، سه ناحیهٔ (۱) ناحیه اغتشاشی (SZ)، (۲) متأثر ترمومکانیکی[2] و (۳) متأثر از حرارت[3] دیده می‌شود. در ناحیهٔ اغتشاشی اندازهٔ دانه در مقایسه با فلز پایه به شدت ریز و همگن شده‌اند. این پدیده ناشی از اثر تبلور مجدد است که به دنبال تغییر شکل پلاستیکی شدید در این منطقه رخ داده است. دانه‌ها در ناحیهٔ TMAZ مشابه فرایندهای شکل‌دهی سرد، دارای جهت‌گیری خاصی هستند که در مرز بین ناحیهٔ اغتشاشی و ناحیه HAZ به شکل طولی کشیده شده‌اند.



(الف)
(ب)

**شکل ۵** تصویرسطح نمونه‌های جوشکاری شده به روش الف- FSW، ب- UFSW



الف- FSW
ب- UFSW

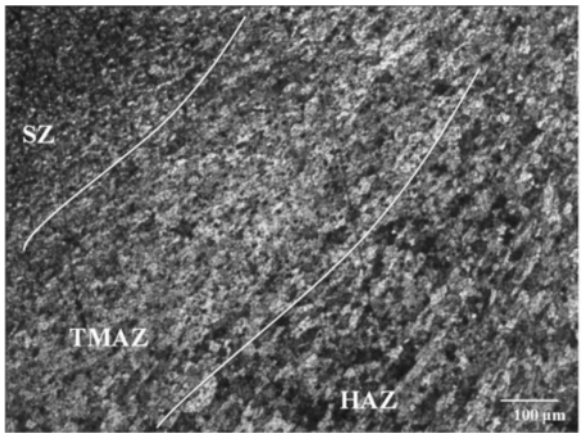
**شکل ۶** تصویر درشت ساختار نمونه‌های جوشکاری شده به روش

1. Stir Zone (SZ)

2. Thermal Mechanical Affected Zone (TMAZ)
3. Heat Affected Zone (HAZ)



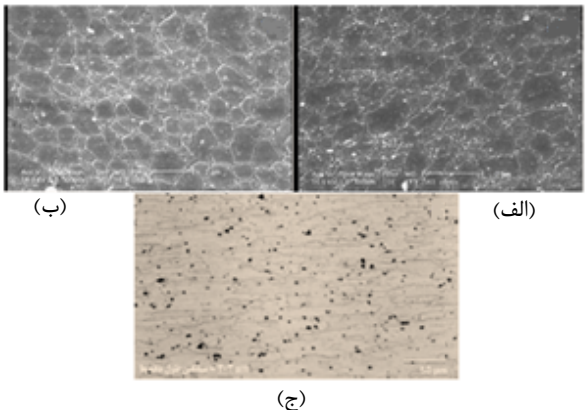
[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.3.1.7 ]




**شکل ۷** ریزساختار نواحی مختلف ناحیه جوش در نمونهUFSW شامل نواحی SZ، TMAZ و HAZ

ریزساختار آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۰ و منطقه اغتشاش یافته ( SZ) نمونه های جوشکاری شده در هوا و در زیر آب در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود ریزساختار ورق نورد شده اولیه دارای دانه‌های کشیده و خشن است که میانگین اندازه دانه آن ۲۰۳ میکرومتر می‌باشد. اندازه دانه نمونه‌های جوشکاری شده به وسیله FSW و UFSW به ترتیب در حدود ۱۷/۴ و ۱۱/۱ میکرومتر اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه در حین انجام جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ماده دچار تغییر شکل پلاستیکی شدید می‌شود، این عمل باعث افزایش عیوب کریستالی خواهد شد. اصطکاک بین ابزار و قطعه‌کارها باعث افزایش دما در ناحیه اغتشاش می‌شود که این پدیده موجب تبلور مجدد شدید می‌گردد. نتیجه آن کاهش چگالی نابجائی‌ها، رشد و افزایش اندازه دانه خواهد بود که در نهایت کاهش سختی و استحکام را در این ناحیه را به دنبال دارد [۱۰-۱۲].

تغییر شکل پلاستیک مواد در جوشکاری زیر آب اگر چه تقریباً شبیه به جوشکاری در هوا است ولی به دلیل خنک کنندگی آب، دمای قطعه در اثر اصطکاک افزایش زیادی پیدا نکرد لذا این عمل باعث تبلور مجدد ضعیف در ناحیه اغتشاش می‌شود. به عبارت دیگر این پدیده سبب می‌شود که چگالی عیوب کاسته نشده و دانه ها رشد نکرده و ریز باقی بمانند. حاصل آن افزایش سختی و استحکام این نمونه‌های نسبت به نمونه‌های جوشکاری شده در هوا می‌باشد [۱۴،۱۲].




**شکل ۸** ریزساختار نمونه‌های الف- FSW، ب- UFSW، ج- BM[1]

### ۳-۳- خواص کششی

در جدول ۳ نتایج استحکام کششی نمونه‌های حاصل از فرایند UFSW در سرعت‌های دورانی و پیشروی مختلف آمده است. همان‌گونه که مشاهده می شود بالاترین استحکام کششی معادل ۲۰۱MPa است که در سرعت‌های دورانی و پیشروی به ترتیب ۸۰rpm و ۴۰mm/min حاصل شد.

استحکام کششی نمونه جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی در هوا در شرایط مشابه یعنی با سرعت‌های دورانی و پیشروی به ترتیب ۸۰rpm و ۴۰mm/min برابر با ۱۹۵MPa و استحکام کششی فلز پایه ۲۰۴/۹MPa اندازه‌گیری شد. با مقایسه نتایج استحکام کششی مشاهده می‌شود که استحکام کششی نمونه FSW معادل ٪۹۵ فلز پایه است. درحالی که استحکام نمونه حاصل از فرایند UFSW معادل ٪۹۸ فلز پایه است. این نتایج نشان می‌دهد که اولاً اتصال از طریق جوشکاری اصطکاکی از استحکام بالایی برخوردارند ثانیاً اتصال توسط فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی در زیرآب نسبت به نمونه مشابه در هوا دارای خواص مطلوب‌تری است.

موقعیت دقیق شکست جوشها در ازمون کشش در شکل ۹ نشان داده شده است که سطح پسرونده[2] و سطح پیشرونده[3] به ترتیب با RS و AS مشخص شده‌اند. از مقایسه نتایج جدول ۳ با شکل ۹ مشاهده می‌شود که مقدار استحکام کششی جوشکاری زیر آب با محل شکست آن هم خوانی کامل ندارد که دلیل آن می تواند ناشی از خطاهای اندازه‌گیری باشد.

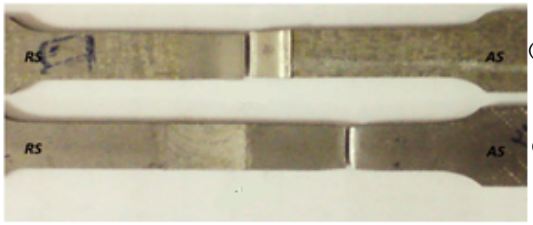
1. Base Metal (BM)
2. Retreating Side
3. Advancing Side



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.3.1.7 ]

**جدول ۳** استحکام کششی نمونه‌های UFSW در سرعت‌های دورانی و پیشروی مختلف

| سرعت دورانی (rpm) | سرعت پشروی (mm/min) | استحکام کششی (MPa) |
|---|---|---|
| ۶۱۰ | ۳۱/۵ | ۱۹۲/۳ |
| ۶۱۰ | ۴۰ | ۵۴/۰ |
| ۶۱۰ | ۶۳ | ۵۰/۶ |
| ۸۰۰ | ۳۱/۵ | ۷۹/۷ |
| ۸۰۰ | ۴۰ | ۲۰۱/۱ |
| ۸۰۰ | ۶۳ | ۱۸۷/۶ |
| ۱۰۰۰ | ۳۱/۵ | ۳۸/۴ |
| ۱۰۰۰ | ۴۰ | ۱۹۱/۰ |
| ۱۰۰۰ | ۶۳ | ۱۸۶/۰ |



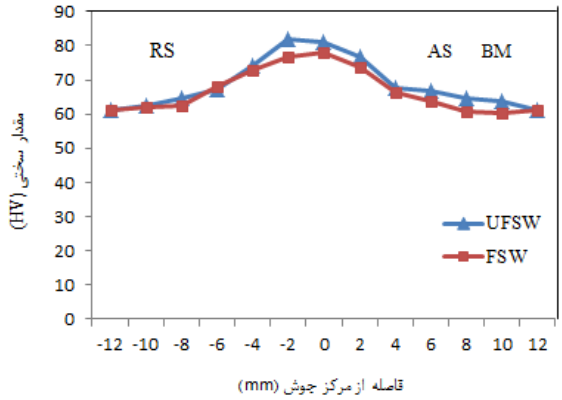

(الف)
(ب)

**شکل ۹** موقعیت وقوع شکست نمونه‌های جوشکاری شده به روش الف- FSW، ب- UFSW

### ۳-۴- ریزسختی

قبل از بررسی نتایج ریزسختی سنجی لازم به ذکر است که در آلیاژهای آلومینیم عملیات حرارتی‌ناپذیر، عامل مهمی که می‌تواند موجب افزایش سختی شود کار سختی است که وابستگی زیادی به سطح مرزدانه‌ها دارد. پدیده اخیر به عنوان مانع مؤثر در مقابل نابجایی‌های متحرک عمل می‌کند. در نتیجه کاهش شدید اندازه دانه در اثر جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی می‌تواند منجر به افزایش سختی در محل اتصال آلیاژهای آلومینیم شود. منحنی توزیع سختی روی مقطع نمونه‌های جوشکاری شده در شکل ۱۰ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که میانگین سختی اندازه‌گیری شده ورق آلومینیم اولیه برابر ۶۱ ویکرز بوده است.

با توجه به شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که سختی در هر دو نمونه جوشکاری شده نسبت به فلز پایه افزایش پیدا کرده است که علت آن تحولات ریزساختاری صورت گرفته در حین فرایند جوشکاری می‌باشد که سبب کاهش شدید اندازه دانه در ناحیه جوش شده است.




**شکل ۱۰** منحنی سختی نمونه‌های جوشکاری شده به روش FSW و UFSW

در اتصال ایجاد شده به روش FSW، حداقل محدوه سختی (۵۹-۶۲ HV) در منطقه TMAZ در قسمت AS اندازه‌گیری شد که با موقعیت شکست اتصال در آزمون کشش مطابقت دارد (شکل ۹). همچنین در نمونه جوشکاری شده به روش UFSW حداقل محدوه سختی (۶۰-۶۲ HV) در منطقه BM در قسمت AS تعیین شد که با محل شکست نمونه در آزمون کشش همخوانی دارد (شکل ۹). علت حصول سختی بالاتر در جوشکاری در زیر آب نسبت به نمونه مشابه در هوا می‌تواند مربوط به ایجاد ساختار ریزدانه‌تر در این روش باشد که در اثر سریع سرد شدن ناحیه جوش در حین فرایند به وقوع می‌پیوندد. در نهایت لازم به ذکر است که با انجام جوشکاری در زیرآب، میانگین سختی در ناحیه جوش نسبت به سختی ماده اولیه به مقدار ۳۰ درصد افزایش یافته است.

## ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش شد مقایسه‌ای بین تغییرات ریزساختاری و خواص مکانیکی ناحیه جوشکاری آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۰ به روش اصطکاکی اغتشاشی در هوا و در زیرآب بعمل آمد. با توجه به بررسی‌های انجام گرفته نتایج زیر حاصل شد:

۱- در اثرجوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیم اولیه که دارای دانه‌های کشیده و خشن به طول متوسط ۲۰۳ میکرومتر ناشی از کارسرد بود به ریزساختاری شامل دانه‌های ریز و هم محور تبدیل شده است.

۲- نمونه جوشکاری شده در هوا نسبت به زیرآب از کیفیت و صافی سطح بالاتر برخوردار است.



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.3.1.7 ]

۳- با انجام فرایند جوشکاری در زیرآب اندازه دانه به میزان ۳۶ درصد نسبت به جوشکاری در هوا کاهش بیشتری یافت.

۴- انجام جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی در زیر آب نسبت به حالت آن در هوا سبب ارتقای خواص کششی اتصال می‌شود.

۵- نمونه جوشکاری شده در زیرآب در آزمون کشش از فلز پایه، و نمونه جوشکاری شده در هوا از منطقه TMAZ شکسته شدند که حاکی از بالاتر بودن خواص کششی اتصال نمونه جوشکاری شده در زیر آب می باشد.

۶- نمونه جوشکاری شده در زیر آب از سختی بالاتری نسبت به نمونه جوشکاری شده در هوا برخوردار است که کاهش اندازه دانه این موضوع را تأیید می‌کند.

## ۵- مراجع


[1] Matrukanitz R.P., "Selection and Weldability of Heat treatable Aluminum Alloys", *ASM Handbook, Welding, Brazing and Soldering,* Vol.6, 1990, pp 528-536.

[2] Mishra R.S., Ma Z.Y, Friction Stir Welding and Processing", *Materials Science and Engineering* R: Vol. 50, 2005, pp. 1-78

[3] Svensson L.E, Karlsson L., Larsson H., Karlsson B., Fazzini M., "Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Aluminium Alloys with Special Reference to AA 5083 and AA 6082". *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol.5, No.5, 2000, p.p 285-296.

[4] Starink J., Seschamps M.A., Wang S.C., "The Strength of Friction Stir Welded and Friction Stir Processed Aluminium Alloys", *Journal of Scripta Materialia*, Vol. 58, No. 5, 2008, pp. 377-382.

[5] Hofmann D. C., Vecchio K. S., "Submerged Friction Stir Processing (SFSP), an Improved Method for Creating Ultra-fine-grained Bulk Materials", *Materials Science & Engineering* A 402, 2005, pp. 234-241.

[6] Sarukada D., Katoh K., Tokisue H., "Underwater FrictionWelding of 6061 Aluminum Alloy", *Journal of Japan Institute of Light Metals*, Vol. 52, No. 1, 2002, pp. 2-6.

[7] FratiniL., BuffaG., ShivpuriR., "In-process Heat Treatments to Improve FS-Welded Butt Joints," International *Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 10, No. 3, 2008, pp. 42-53.

[8] Mofid, M.A, Abdollah-zadel,A., MalekGhaini, "The effect of water cooling during dissimilar friction stir welding of Al alloy to Mg alloy", *Materials and Design,* Vol. 36, 2012, pp. 161-167.

[9] ASTM, "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material", E8, Vol. 03.01, 2004

[10] Li Y., Murr L.E., McClure J.C. "Low Temperature Friction Stir Welding of 2024Aluminum",. *Mater. Sci. Eng*. A 271, 1999, pp. 213-220.

[11] Murr L.E., Li Y., Flores R.D., Trillo E.A., "Intercalation Vorticesand Related Microstructural Features inthe Friction-Stir Welding of Dissimilar", *Metals Mater. Res. Innovat*. Vol. 2, 1998, pp. 150-163.

[12] Kwon, Y.J., I. Shigematsu, N. S. "Mechanical Properties of Fine-Grained Aluminum Alloy Produced by Friction Stir Process", *Scripta Mater*. Vol. 49, 2003, pp. 785-789.

[13] Jata K.V., SemiatinS.L. "Continuous Dynamic Recrystallization During Friction StirWelding of High Strength Aluminum Alloy", *Scripta Mater*. Vol. 43, No. 743, 2000.

[14] Su J.Q., Nelson W.T., SterlingC.J."Microstructure Evolution during FSW/FSP of High Strength Aluminum Alloys", *Mater.Sci. Eng*.A 405, 2005, pp. 277-286.

[15] Bauri R., Yadav D., Suhas G., "Fabrication of Metal Particles Embedded Aluminum Matrix Composite by Friction Stir Processing. Materials", *Science and Engineering* A 528, 2011, pp. 4732-4739.

[16] Bloodworth T., Cook G., Strauss A., "Properties and Forces of Immersed Iriction Stir Welded AA6061-T6", *8th International Conference of Trends in Welding Technology, Pine Mountain*, GA., 2008, pp. 1-5.


[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.3.1.7 ]