

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



تأثير هندسه پين بر ريزساختار و خواص مكانيكي كامپوزيت نانوساختار Al/B_4C جوشكاري شده به روش اصطكاكي اغتشاشي

عليرضا مرادي فرادنبه^۱، مرتضي شمعيان اصفهاني^۲، حسين اديريس^۳

چكیده

در اين تحقيق، جوشكاري اصطكاكي اغتشاشي كامپوزيت نانوساختار زمينه آلومينيومي تقويت شده با ذرات كاربيد بور مورد بررسی قرار گرفت. كامپوزيت مورد نظر به روش نورد تجمعي و پس از ۱۰ سيكل توليد شد. سپس نمونه های كامپوزيتي با استفاده از روش جوشكاري اصطكاكي اغتشاشي و با در نظر گرفتن سه هندسه مختلف پين شامل استوانه ای، مربعي و مثلثي به يكدیگر متصل شدند. ارزيابي ريزساختاري جوش با استفاده از ميكروسكوپ الكتروني روبشي انجام شد و نشان داد كه پين مربعي در مقايسه با دو پين ديگر باعث خردشدن و توزيع بهتر ذرات تقويت كننده در زمينه شده است. تست كشش عرضي اتصالات نيز جهت ارزيابي خواص مكانيكي نمونه ها انجام شد. نتايج نشان داد كه نمونه های جوشكاري شده توسط پين مربعي دارای بالاترين استحكام و بيشترين ميزان ازدیاد طول در مقايسه با پين مثلثي و استوانه ای بوده است.

واژه‌های کلیدی: نورد تجمعي، كامپوزيت نانوساختار، جوشكاري اصطكاكي اغتشاشي، پين جوشكاري، ريزساختار، خواص مكانيكي

^۱ دانشجوي كارشناسي ارشد مهندسي مواد(گرايش جوشكاري)، دانشكده مهندسي مواد دانشگاه صنعتي اصفهان

A.moradifaradonbeh@ma.iut.ac.ir

^۲ دانشيار دانشكده مهندسي مواد دانشگاه صنعتي اصفهان

^۳ استاد دانشكده مهندسي مواد دانشگاه صنعتي اصفهان

۱- مقدمه

کامپوزیت‌های با زمینه فلزی آلومینیمی به علت ویژگی‌هایی چون وزن سبک، استحکام بالا، مدول ویژه بالا، ضریب انبساط حرارتی کم و مقاومت سایشی خوب، به عنوان گروهی از مواد توسعه یافته جدید مورد توجه قرار گرفته اند. SiC ، Al_2O_3 ، TiC و B_4C به عنوان ذرات تقویت کننده سرامیکی در کامپوزیت‌های زمینه فلزی به کار برده می‌شوند. از مزایای کاربید بور (B_4C) که کاربرد آن را گسترش داده است می‌توان به ذوب آن در دمای بالا، خواص مکانیکی عالی و مقاومت شیمیایی بالا اشاره کرد [۱ و ۲].

اخیرا یک روش جدید حالت جامد با عنوان اتصال نورد تجمعی^۱ (ARB) برای تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی پیشنهاد شده است. در روش ARB دو ورق از آلیاژهای مختلف پس از قرار گرفتن بر روی هم، چندین مرحله تحت فرایند نورد قرار می‌گیرند. تغییر شکل‌های مختلفی که در اثر فرایند ARB ایجاد می‌شود، در نهایت منجر به ایجاد ساختاری با دانه‌های بسیار ریز با استحکام و انعطاف پذیری بالا می‌شود. تولید کامپوزیت به شکل ورق، تولید کامپوزیت با ساختار نانو کریستال و دانه‌های بسیار ریز^۲ (UFG)، عدم نیاز به امکانات و تجهیزات گران بها، نرخ تولید بالا و محدودیت کم در اندازه مواد مورد استفاده برای تولید، از جمله مزایای روش ARB می‌باشد [۳].

یکی از مواردی که پس از تولید مواد پیشرفته باید مورد توجه قرار گیرد، امکان انجام فرایندهای مختلفی از جمله شکل دهی، آسیاب کاری، جوشکاری و غیره بر روی این گونه مواد می‌باشد. چنانچه ماده مورد نظر به لحاظ توانایی انجام چنین فرایندهایی با محدودیت مواجه شود، ماده تولید شده از دیدگاه صنعتی ارزش چندانی نخواهد داشت. برای مثال فرایند جوشکاری مواد کامپوزیتی می‌تواند مشکلات خاص خود را داشته باشد. آگلومره شدن ذرات تقویت کننده و همچنین امکان تشکیل فازهای بین فلزی که در پاره‌ای از موارد می‌تواند به کیفیت جوش حاصله آسیب وارد کند مواردی هستند که باید در جوشکاری این مواد لحاظ شوند. از این رو برای جوشکاری کامپوزیت‌ها از روش‌های جوشکاری حالت جامد می‌توان استفاده نمود. در این حالت حرارت ورودی به قطعه جوشکاری شده کاهش می‌یابد و بنابراین میزان تغییرات فازی و آگلومره شدن ذرات کاهش می‌یابد. یکی از روش‌های جوشکاری حالت جامد، جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی^۳ (FSW) می‌باشد. این روش مزایای زیادی را در پی دارد که از آن جمله می‌توان به حفظ خواص مکانیکی، اعوجاج کمتر، تنش‌های پسماند کمتر و عیوب کمتر جوشکاری اشاره نمود [۴].

در مورد FSW آلیاژهای غیر کامپوزیتی که بوسیله فرایندهای تغییر شکل پلاستیکی شدید نظیر ARB استحکام یافته اند، افت استحکام، انعطاف پذیری و سختی در منطقه جوش گزارش شده است که به دلیل ناپایداری ساختار فوق ریز دانه در محصولات ARB شده و نیز حساسیت بالای ساختار به نوسانات دمایی در اثر فرایند FSW روی می‌دهد [۵-۷]. تا کنون تحقیق زیادی در خصوص FSW کامپوزیت‌های زمینه فلزی تقویت شده با ذرات که با روش‌های تغییر شکل پلاستیکی شدید تولید شده باشند، صورت نگرفته است. مقاله حاضر به جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نمونه‌های کامپوزیتی زمینه آلومینیمی خالص تقویت شده با ذرات B_4C می‌پردازد که با روش ARB پس از ۱۰ سیکل تولید شده اند، می‌پردازد.

¹ Accumulative Roll Bonding

² Ultrafine Grain

³ Friction Stir Welding

همچنين تحولات ريزساختاری و خواص مکانیکی نمونه‌ها در اثر هندسه پين ابزار جوشکاری متفاوت (شامل پين استوانه‌ای، مثلثی و مربعی) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

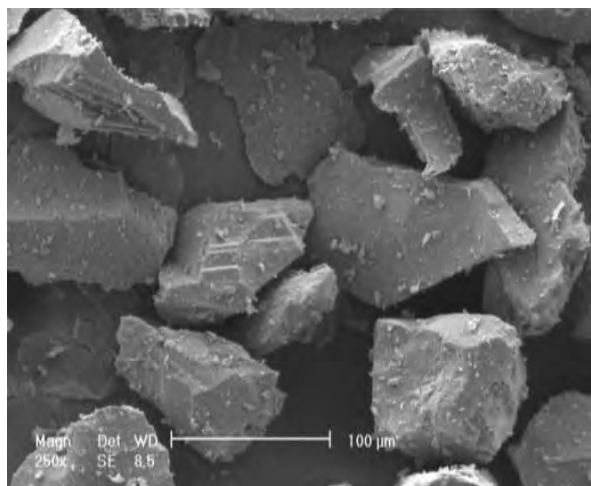
۲- مواد و روش تحقيق

۲-۱- مواد

در اين تحقيق، آلومينيم خالص تجاری ۱۰۵۰ با تركيب نشان داده شده در جدول ۱ به عنوان ماده اوليه مورد استفاده قرار گرفت. برای توليد کامپوزيت، ابتدا نوارهایی به ابعاد $2\text{ mm} \times 60\text{ mm} \times 250\text{ mm}$ در جهت نورد آلومينيم تهيه شده و سپس نوارها در دمای 375°C آنیل کامل شدند. همچنين از ذرات B_4C با اندازه ۵۰ تا ۷۰ میکرون به عنوان تقويت کننده استفاده شد که در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. تركيب شیمیایی ورق‌های آلومينيم مورد استفاده در تحقيق

ماده	تركيب شیمیایی (wt.%)
آلومينيم ۱۰۵۰	۹۹/۵Al, ۰/۲۵Si, ۰/۴۰Fe, ۰/۰۵Cu, ۰/۰۵Mn, ۰/۰۵Mg, ۰/۰۵Zn, ۰/۰۳Ti, ۰/۰۵V, بقیه ۰/۰۳

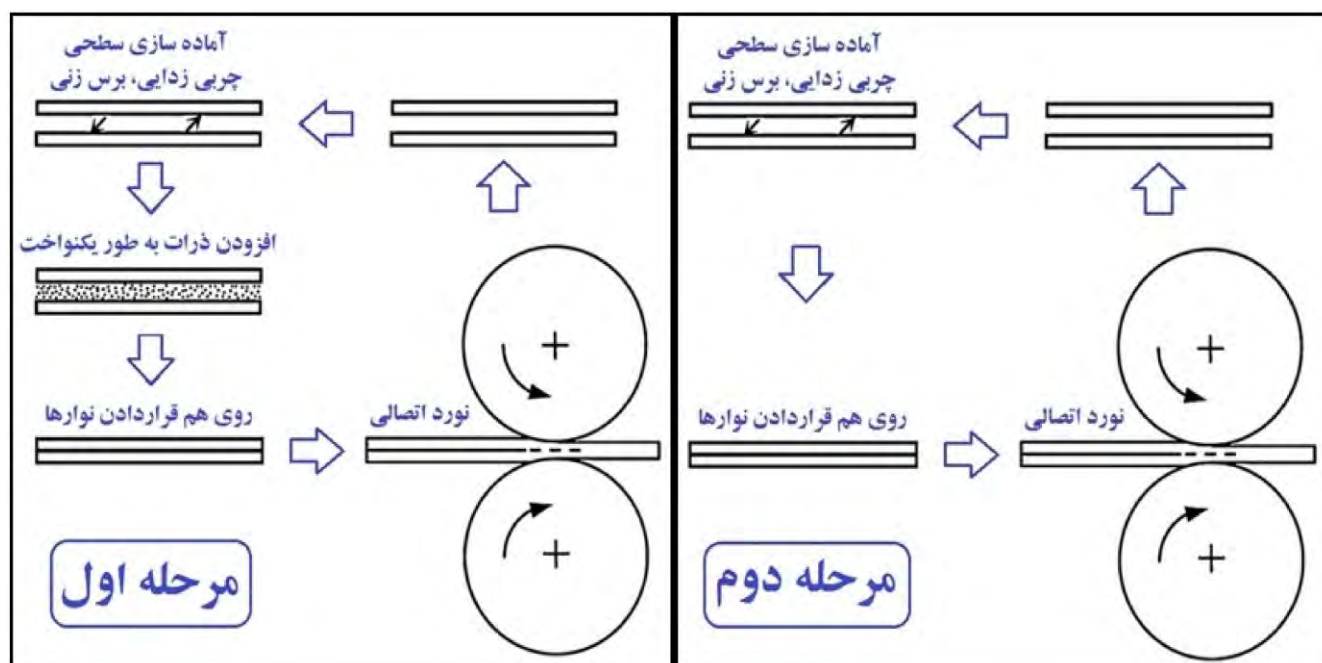


شکل ۱. ريزنگار ذرات B_4C مورد استفاده به عنوان تقويت کننده

۲-۲- تولید کامپوزیت Al/B₄C به روش ARB

برای ایجاد پیوند متالورژیکی مناسب بین لایه‌های آلومینیومی توسط فرایند نورد تجمعی، ابتدا باید عملیات آماده‌سازی سطحی بر روی لایه‌هایی انجام گیرد که قرار است به هم اتصال یابند. بدین منظور پس از چربی‌زدایی لایه‌ها در حمام استن، سطح نوارها پیش از آنکه روی هم قرار بگیرند بوسیله برس سیمی فولادی برس‌زنی شدند. پس از آماده‌سازی سطح، ذرات B₄C به طور یکنواخت بین دو نوار توزیع شدند. نوارها روی یکدیگر قرار گرفته و از هر دو انتها بوسیله سیم‌های فولادی محکم بسته شدند. فرایند نورد اتصالی بوسیله یک دستگاه نورد با ظرفیت ۲۰ ton و قطر غلتک ۱۲۵ mm بدون حضور روان کار انجام شد.

پس از اعمال ۵۰٪ کاهش سطح مقطع، نوارهای نورد شده توسط برش عرضی به دو قسمت مساوی بریده شدند. این روند (آماده‌سازی، افزودن ذرات B₄C و عملیات نورد) تا ۴ سیکل در دمای اتاق تکرار شد (مرحله اول). به منظور دستیابی به توزیع یکنواخت ذرات تقویت‌کننده در زمینه و نیز حذف تداخل در فصل مشترک بین لایه‌ها و بین ذرات تقویت‌کننده و زمینه، روند مذکور تا سیکل دهم ادامه یافت بدون آنکه ذرات تقویت‌کننده اضافه شوند (مرحله دوم). شمایی از نحوه تولید کامپوزیت زمینه آلومینیومی تقویت شده با ذرات بوسیله فرایند ARB در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. تصویر شماتیک از مراحل فرایند ARB برای تولید کامپوزیت Al/B₄C.

۲-۳- جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی کامپوزیت‌های تولید شده

به منظور جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی کامپوزیت Al/B₄C تولید شده به روش ARB، نوارهایی با ابعاد ۲mm × ۳۰mm × ۱۵۰mm از ورق‌های کامپوزیتی تهیه شدند. پیش از انجام عملیات جوشکاری، مقطع اتصال نمونه‌های کامپوزیتی بوسیله استن کاملاً تمیز شده و سمباده نرم زده شدن تا محل اتصال عاری از هر گونه آلودگی،

چربي و اكسيد باشد. تحقيقات نشان داده است كه حضور لايه های اكسیدی در مقاطع جوش باعث بوجود آمدن عيوب در محل اتصال شده و بدین ترتیب خواص مکانیکی اتصال به شدت تحت تاثیر قرار می گیرد [۸]. نمونه ها با نحوه اتصال سر به سر^۱ و بوسیله يك دستگاه فرز و در جهتی همراستا با جهت نورد در فرایند ARB، جوشکاری اصطكاکی اغتشاشی شدند.

سرعت چرخش ابزار ۷۱۰ rpm و سرعت جوشکاری ۱۰۰ mm/min در نظر گرفته شدند. ابزار جوشکاری مورد استفاده از جنس فولاد خشكه هوایی یا تندبر^۲ (HSS) انتخاب شد كه پس از عملیات حرارتی مناسب بر روی آن، سختی معادل ۶۳ HRC بدست آمد. به منظور بررسی تاثیر هندسه پین بر شكل گیری و نحوه توزیع ذرات تقویت كننده، پین ابزارهایی با هندسه استوانه ای، مثلثی و مربعی به قطر ۴ mm و شانه^۳ به صورت تخت به قطر ۱۲ mm ساخته شدند. گزارش شده است كه معمولاً بیشترین استحکام اتصال در آلیاز ۱۰۵۰ زمانی بدست خواهد آمد كه نسبت قطر پین به قطر شانه ابزار ۳:۱ باشد [۹]. علاوه بر این زاویه انحراف ابزار از خط نرمال^۴ بوده در حالیکه طول پین و عمق نفوذ به ترتیب ۱/۵ و ۱/۷ mm در نظر گرفته شدند. شکل ۳، تصاویر مربوط به پین های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد.



شکل ۳. پین ابزار جوشکاری با هندسه مختلف مورد استفاده در این تحقیق

۲-۴- ارزیابی ریزساختاری و خواص مکانیکی

برای مشاهده ریزساختار جوش و بررسی چگونگی توزیع ذرات تقویت كننده در منطقه اغتشاش، از میکروسکوپ الکترونی روشی استفاده شد. نمونه های تست کشش عرضی از نوارهای کامپوزیتی جوشکاری شده، مطابق استاندارد ASTM E8M با طول و پهنای گیج^۴ به ترتیب ۲۵ و ۶ mm تهیه شدند. تست کشش در دمای اتاق بوسیله دستگاه کشش Hounsfield H50KS و با نرخ کرنش اولیه^۱ $10^{-4} \times 1/67$ انجام شد.

^۱ Butt Joint

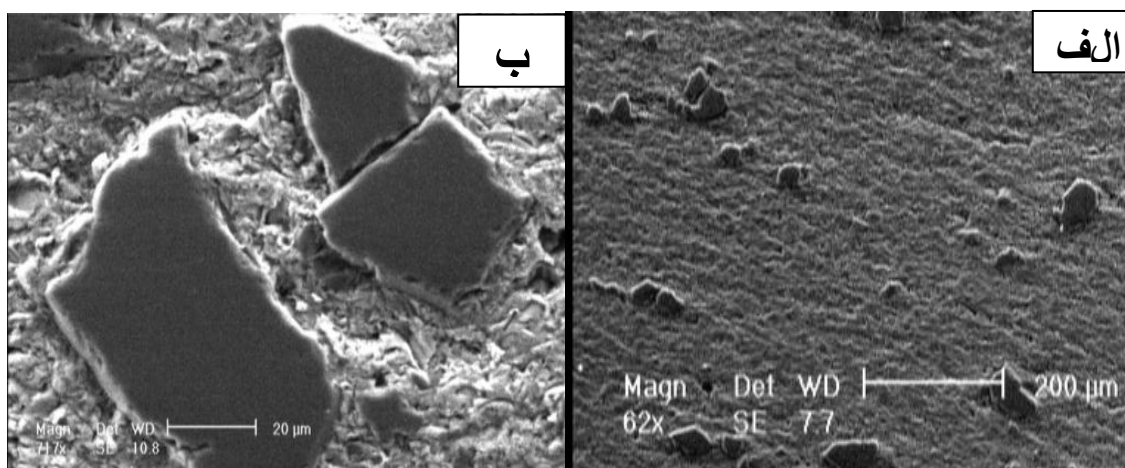
^۲ High Speed Steel

^۳ Shoulder

^۴ Gauge

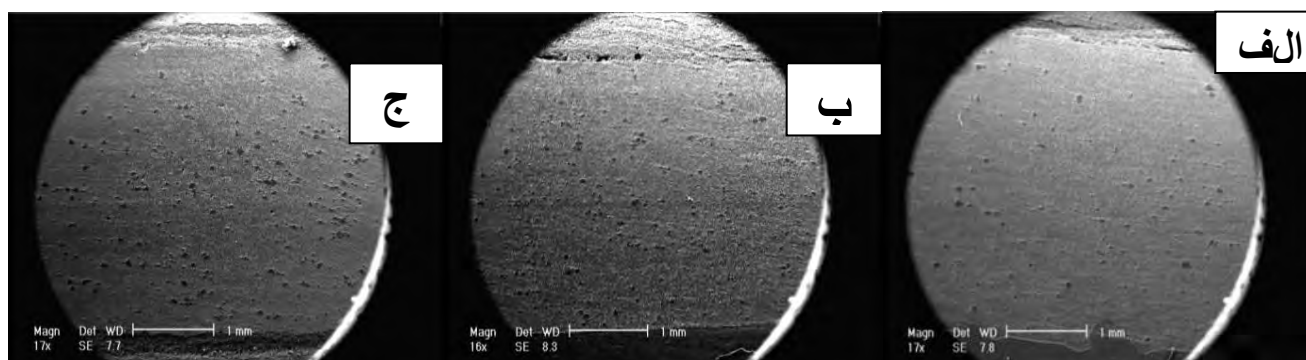
۳- نتایج و بحث

بعد از انجام جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نمونه‌های کامپوزیتی بوسیله ابزارهایی با هندسه پین‌های مختلف و سرعت چرخش ۷۱۰ rpm و سرعت پیشروی ۱۰۰ mm/min، اتصالاتی کامل و بدون عیب حاصل شدند. شکل ۴ تصاویر SEM از کامپوزیت اولیه تولید شده به روش ARB را نشان می‌دهد.



شکل ۴. ریزساختار کامپوزیت Al/B₄C (الف) توزیع ذرات پودر در زمینه، (ب) چسبندگی ذرات B₄C به زمینه.

ملاحظه می‌شود که توزیع ذرات تقویت کننده در زمینه یکنواخت بوده و هیچگونه تخلخل و ناپیوستگی در فصل مشترک ذرات و زمینه دیده نمی‌شود. در واقع انجام ۱۰ پاس نورد در طی فرایند ARB برای تولید کامپوزیت مورد نظر، سبب چسبندگی مناسب ذرات در زمینه و از بین رفتن هرگونه تخلخل شده است (شکل ۴-ب). شکل ۵ تصاویر مربوط به نواحی اغتشاش نمونه‌های جوشکاری شده با پارامترهای ۷۱۰ rpm و ۱۰۰ mm/min و همچنین با هندسه پین‌های مختلف را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که ابزار مربعی باعث خرد شدن بیشتر و توزیع مناسب تر ذرات تقویت کننده در منطقه اغتشاش شده است؛ در حالیکه جوش‌های به دست آمده از هندسه‌ی پین مثلثی و استوانه‌ای نسبت به هندسه پین مربعی، توزیع نامناسب تر و میزان خرد شدن ذرات کمتری را از خود نشان می‌دهند که در شکل ۵ (ب،ج) به وضوح قابل مشاهده است.



شکل ۵. توزیع ذرات پودر در ناحیه اغتشاش، (الف) پین مربعی، (ب) پین مثلثی و (ج) پین استوانه‌ای.

با توجه به ثابت بودن پارامترهای جوشکاری برای تمام هندسه پین‌های مذکور، علت توزیع مناسب‌تر ذرات در حالت استفاده از پین مربعی و پس از آن پین مثلثی در مقایسه با پین استوانه‌ای را می‌توان به دو عامل نسبت داد. از یک طرف، نیروی گریز از مرکز خاصی که در حالت استفاده از پین‌هایی با وجوه صاف مانند پین مربعی و مثلثی ایجاد می‌شود، منجر به جریان یافتن بهتر مواد در اطراف پین می‌گردد. نیروی گریز از مرکز ابزارچرخان، مدار دینامیکی را حاصل می‌کند که بخشی از فرایند FSW می‌باشد و برای هندسه پین‌های مختلف، دارای مقادیر متفاوتی است. در واقع رابطه بین حجم دینامیک با حجم استاتیک، می‌تواند مسیر ماده نرم‌شده از طرف پیش‌رو به طرف پس‌رو را به هنگام چرخش ابزار تعیین نماید. این رابطه به صورت نسبت حجم دینامیک به حجم استاتیک تعریف می‌شود که این نسبت برای پین استوانه‌ای، مربعی و مثلثی به ترتیب برابر ۱، ۱/۵۶ و ۲/۳ می‌باشد و لذا بیشترین مقدار این نسبت مربوط به پروفیل‌های مربعی و مثلثی است [۸].

از طرف دیگر، پین‌های با هندسه مربعی و مثلثی یک رفتار اغتشاشی ضربانی^۱ در مواد خمیری در حال گردش ایجاد می‌کنند که علت این امر به وجوه صافی مربوط می‌شود که در این پین‌ها می‌باشد؛ در حالیکه چنین رفتاری در پین استوانه‌ای مشاهده نمی‌شود. پروفیل مربعی ۴۷/۳ ضربه در ثانیه (۴۷/۳ pulses/sec) و پروفیل مثلثی ۳۵/۵ ضربه در ثانیه (۳۵/۵ pulses/sec) را به ازای سرعت چرخش ۷۱۰ rpm (۱۱/۸۳ rps) ایجاد می‌کنند. محاسبه این مقدار برای هر پروفیل از طریق ضرب سرعت چرخش ابزار (rps) در تعداد وجوه تخت پروفیل انجام می‌گردد. مقادیر مربوط به حجم دینامیک به حجم استاتیک و همچنین مقادیر تعداد ضربان بر ثانیه برای پین‌های مربعی، مثلثی و استوانه‌ای در جدول ۲ نشان داده شده است. تعداد ضربان اغتشاشی بیشتر در ثانیه به وسیله پین مربعی باعث خردایش بیشتر و توزیع بهتر ذرات تقویت‌کننده و در نهایت ایجاد ریزساختاری ریزتر و همگن‌تر در منطقه اغتشاشی جوش می‌گردد. این رفتار در پین با هندسه استوانه‌ای وجود نداشته و به ماده نرم شده تنها اجازه داده می‌شود که در مناطق اطراف پین اکستروود یابد [۸ و ۹].

جدول ۲. نسبت حجم دینامیک به حجم استاتیک و تعداد ضربان بر ثانیه برای پین‌های مختلف

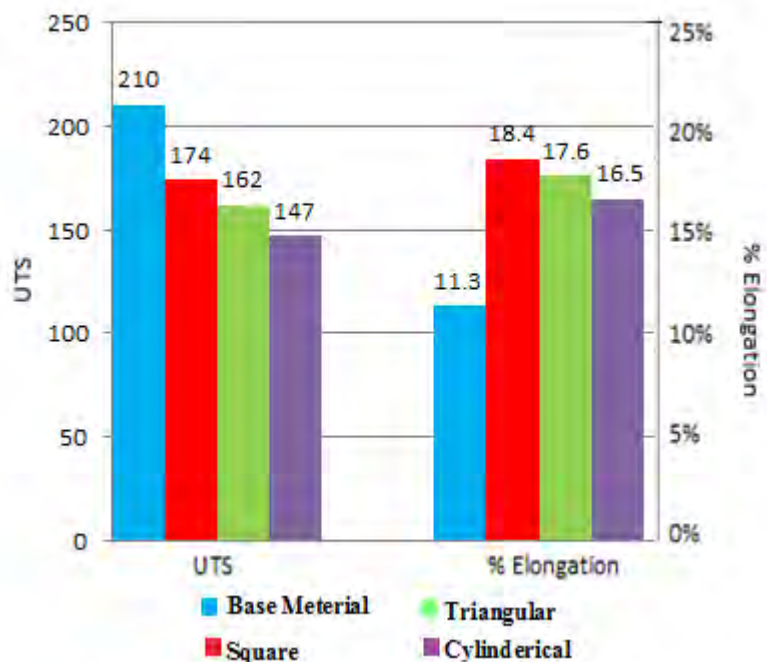
	مربعی	مثلثی	استوانه‌ای
حجم دینامیک/حجم استاتیک	۱/۵۶	۲/۳	۱
تعداد ضربان بر ثانیه	۴۷/۳	۳۵/۵	ندارد

شکل ۶ نتایج حاصل از آزمایش کشش مربوط به نمونه‌های اولیه و نمونه‌های جوشکاری شده با هندسه پین‌های مختلف را نشان می‌دهد. خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها متأثر از (۱) مورفولوژی و اندازه دانه زمینه، (۲) همگن بودن و یکپارچگی ساختار بدون تخلخل در زمینه و نیز در فصل مشترک زمینه-ذرات، (۳) اندازه و شکل ذرات تقویت‌کننده و (۴) نحوه توزیع ذرات در زمینه می‌باشد. جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی کامپوزیت‌های تولیدشده به روش‌هایی غیر از فرایندهای تغییرشکل پلاستیکی شدید، افزایش استحکام و نیز انعطاف‌پذیری اتصال را به همراه دارد. تشکیل دانه‌های هم‌محور و ساختار ریزدانه‌ی زمینه در منطقه اغتشاش ناشی از تبلور مجدد دینامیکی، همچنین شکسته شدن و گردش^۲ ذرات

^۱ Pulsing stir

^۲ Round

تقویت کننده در عین توزیع همگن آن‌ها در زمینه که ناشی از تغییر شکل و کرنش پلاستیکی شدید در اثر چرخش ابزار می‌باشد، باعث بهبود استحکام کششی و انعطاف پذیری اتصالات این دسته از کامپوزیت‌ها می‌شود.



شکل ۶. خواص مکانیکی کامپوزیت Al/B_4C جوشکاری شده با هندسه پین‌های مختلف.

نتایج تحقیقات [۷ و ۶] نشان داده است که دگرگونی ساختار دانه در منطقه اغتشاش در حین جوشکاری بستگی به ساختار مرزدانه، اندازه دانه و دانسیته نابجایی‌های ریزساختار در ماده اولیه دارد. معمولاً به هنگام جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژهای معمولی، ساختار دانه در منطقه اغتشاش از طریق تبلور مجدد دینامیکی پیوسته به وجود می‌آید که مشخصه آن، چرخش فزاینده ناشی از کرنش در دانه‌های فرعی به همراه جابجایی جزئی مرز در حین فرایند FSW است. این روند سرانجام منجر به ریزشدن قابل ملاحظه‌ی دانه و در نتیجه افزایش خواص مکانیکی منطقه اغتشاش نسبت به سایر مناطق ماده پایه می‌شود.

این در حالی است که جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نمونه‌های آلومینیومی ARB شده، اثرات قابل ملاحظه‌ای را بر ریزساختار و خواص مکانیکی جوش به همراه خواهد داشت. نمونه‌های آلومینیومی ARB شده دارای ساختار فوق ریزدانه و مورفولوژی دانه‌های کشیده شده هستند که با مرزدانه‌های زاویه بزرگ محصور شده‌اند [۶]. وجود تعداد بسیار زیادی از نقایص شبکه‌ای نظیر جای خالی و نابجایی در ساختار دانه پس از چند سیکل از فرایند ARB، سبب حساسیت بالای محصولات ARB شده به نوسانات دمایی می‌شود [۱۰].

از این‌روست که بازیابی می‌تواند در دماهای نسبتاً کمتری روی داده و دانسیته نقایص درون دانه‌ها را کاهش دهد. در همان زمان، رشد پیوسته دانه اتفاق افتاده و اندازه دانه میانگین افزایش می‌یابد که به دنبال آن کاهش خواص مکانیکی را به دنبال خواهد داشت. در دمای کمتر، سرعت رشد دانه نسبتاً پایین است و سرعت حرکت و جابجایی مرزدانه در هر دو

جهات موازی با جهت نورد و عمود بر آن یکسان می باشد تا آنکه دانه ها به صورت هم محور برسند. اما اگر دما بیشتر باشد مثلاً از 200°C تا 250°C برای آلومینیم خالص تجاری، رشد دانه بسیار سریع تر خواهد بود [۱۱].

در حین جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی این نمونه ها، حرارت ناشی از اصطکاک میان ابزار و ماده به همراه حرارت ناشی از تغییر شکل پلاستیکی شدید در اثر اغتشاش ناشی از چرخش ابزار، سبب رشد دانه در منطقه اغتشاش و نیز مناطق اطراف جوش خواهد شد. باید توجه داشت که چون ماکزیمم حرارت حاصل از چرخش ابزار در منطقه اغتشاش وجود دارد لذا در این شرایط، شکسته شدن فوق ریزدانه ها در اثر تنش برشی در حین فرایند FSW قابل ملاحظه نمی باشد در حالیکه رشد سریع دانه در ریزساختار ناپایدار حاصل از فرایند ARB، در نهایت دانه های درشت را می دهد [۱۰].

از سوی دیگر اگرچه پس از جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی کامپوزیت های تولید شده به روش ARB، شکسته شدن و گرد شدن ذرات تقویت کننده علاوه بر توزیع همگن آن ها در زمینه می تواند باعث بهبود خواص مکانیکی در منطقه اغتشاش شود اما حساسیت بالای ریزساختار به نوسانات دمایی در کنار حرارت ناشی از فرایند FSW به گونه ای است که بر اثر مثبت اندازه، شکل و نحوه توزیع ذرات غالب شده و در نهایت کاهش استحکام کششی و افزایش انعطاف پذیری را به همراه دارد.

با توجه به نکات ذکر شده، هندسه پین مربعی در مقایسه با هندسه پین های مثلثی و استوانه ای، کمترین میزان کاهش استحکام کششی را نشان داد که علت اصلی این موضوع را می توان چنین بیان کرد که پین مربعی به دلیل ایجاد اغتشاش ضربانی بیشتر موجب خرد شدن و توزیع یکنواخت تر و همگن تر ذرات تقویت کننده در زمینه شده است. علاوه بر آن، بررسی های ریزساختاری بر منطقه اغتشاش حاکی از آن است که چرخش پین ابزار و ایجاد اغتشاش ضربانی بالاتر، نه تنها باعث شکسته شدن ذرات تقویت کننده می شود بلکه گرد شدن ذرات تقویت کننده را نیز به همراه دارد که از این حیث بر انعطاف پذیری ماده جوشکاری شده اثر مثبت می گذارد زیرا در این صورت با نزدیک شدن فاکتور شکل ذرات به عدد یک، فاکتور شدت تنش کاهش خواهد یافت؛ [۱۲] لذا میزان استحکام و ازدیاد طول مربوط به هندسه ی ابزار مربعی از دو هندسه دیگر بیشتر است.

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نمونه های کامپوزیتی $\text{Al/B}_4\text{C}$ تولید شده به روش ARB، با استفاده از هندسه پین های مختلف (مربعی، مثلثی و استوانه ای) انجام گرفت و اتصالات سالم و بدون عیبی حاصل شد. در بین پین های مورد استفاده، پین مربعی به علت ایجاد اغتشاش ضربانی بالاتر باعث خرد شدن بیشتر ذرات تقویت کننده و توزیع مناسب تر آن ها در زمینه شد که همین امر سبب ایجاد استحکامی بالاتر در اتصالات جوش داده شده با استفاده از این پین شد. همچنین در حالت استفاده از پین مربعی نسبت به دو پین دیگر، به علت ریز کردن ذرات تقویت کننده، شکستن ذرات تیز و گرد کردن آن ها و توزیع مناسب ذرات در زمینه، درصد ازدیاد طول بالاتری حاصل شد.

۵- مراجع

1. Tjong, S.C. and Ma, Z.Y., "Microstructural and mechanical characteristics of in situ metal matrix composites", Materials Science and Engineering R, 29, 2000, 49-113.
2. M. Alizadeh, "Comparison of nanostructured Al/B₄C composite produced by ARB and Al/B₄C composite produced by RRB process", Material Science and Engineering, 528,2010, 578-582.
۳. روح الله جماعتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۹
4. R.S. Mishra and Z.Y. Ma, "Friction stir welding and processing", Materials Science and Engineering, 50, 2005, 1-78.
5. Y.S. Sato, Y. Kurihara, S.H.C. Park, H. Kokawa, N. Tsuji, "Friction Stir Welding of Ultrafine Grained Al Alloy 1100 Produced By Accumulative Roll-Bonding", Scripta Materialia, 50, 2004, 57-60.
6. Y. Suna, H. Fujii, Y. Takada, N. Tsuji, K. Nakata, K. Nogi, "Effect Of Initial Grain Size on The Joint Properties of Friction Stir Welded Aluminum", Materials Science and Engineering A, 527, 2009, 317-321.
7. M. Hosseini, H. Danesh Manesh, "Immersed Friction Stir Welding of Ultrafine Grained Accumulative Roll-Bonded Al Alloy", Materials and Design, 31, 2010, 4786-4791.
8. K. Elangovan and V. Balasubramanian, "Influences of tool pin profile and welding speed on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminum alloy", Journal of Materials Processing Technology, 200, 2008, 163-175.
9. S. J. Vijay and N. Murugan, Influence of tool pin profile on the metallurgical and mechanical properties of friction stir welded Al-10 wt.% TiB₂ metal matrix composite, Materials and Design, 31, 2010, 3585-3589.
10. C. Kwan and Z. Wang, "Microstructure Evolution upon Annealing of Accumulative Roll Bonding (ARB) 1100 Al Sheet Materials: Evolution of Interface Microstructures", Journal of Materials Science, 43(15), 2008, 5045-5051.
11. Y.S. Sato, H. Takauchi, S.C. Park, H. Kokawa, "Characteristics of The Kissing-Bond in Friction Stir Welded Al Alloy 1050", Materials Science and Engineering A, 405, 2005, 333-338.
12. L.M. Marzoli, A.V. Strombeck, J.F. Dos Santos, C. Gambaro and L.M. Volpone, "Friction Stir Welding of An AA6061/Al₂O₃/20p Reinforced Alloy", Composites Science and Technology, 66, 2006, 363-371.