تولید کامپوزیت های نانوساختار آلومینیوم- کاربید بور به روش اتصال تجمعی نورد علی یزدانی⁽

چکیدہ

کامپوزیتهای Al/B4C توجه بسیاری از پژوهشگران و صنعتگران حوزههای نظامی، هستهای، حمل و نقل و رایانه را به خود جلب کرده است. در این پژوهش، ساختار ورقهای این مواد کامپوزیتی تولید شده با روشی بر پایه اتصال تجمعی نورد مورد توجه قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با بکارگیری کاهش سطح مقطع نوردی ۶۶ درصد در مراحل افزودن لایهی تقویت کننده و پس از آن با کاهش سطح مقطع ۵۰ درصد، جوش سردی مناسب بین ورقها ایجاد میشود. تجزیه و تحلیل اشعهی ایکس و میکروسکوپ الکترونی عبوری نشان داد که پس از ۷ سیکل اتصال تجمعی نورد، دانههایی نانوساختار و کشیده شده در جهت نورد توسعه می ایند. افزون بر این، پس از ۷ سیکل اتصال تجمعی نورد، توزیعی مناسب از ذرات تقویت کننده ی کاربید بور در زمینهی نانوساختار آلومینیوم بدست آمد که بیانگر کارایی مناسب این روش تولید است.

واژههای کلیدی: کامپوزیتهای زمینه فلزی، مواد نانوساختار، اتصال تجمعی نورد، ریزساختار.

۱- نویسنده ی مسئول، مربی و عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، Aliyazdani165@yahoo.com

ييشگفتار

کامپوزیتهای زمینه فلزی با داشتن نسبت استحکام به وزن، سفتی و مقاومت به سایش بالا در صنایع گوناگون بسیار مورد توجه هستند. آلومینیوم به واسطهی دانسیتهی کم، قابلیت تولید آسان و ویژگیهای مهندسی مناسب، رایج ترین زمینهی فلزی در ساخت این کامپوزیتها بویژه در صنایع نظامی، حمل و نقل و هوافضا بشمار میرود [۲ و ۱]. تقویت کنندههای رایج در ساخت کامپوزیتهای زمينه آلومينيوم، سراميكهاى TiC ،SiC ،Al₂O₃ و B4C مى باشند. در حالى كه Al₂O₃ و SiC تقويت کنندههای رایج در این موادند، پژوهشهای محدودی بر B4C انجام شده است. B4C دارای پایداری شیمیایی و حرارتی قابل توجهی است و مهمتر از آن، دارای دانسیتهی کمتر و سختی بالاتر نسبت به SiC و Al₂O3 است و قابلیت زیادی در جذب نوترون دارد [۳ و ۲]. استحکام کامپوزیتهای Al/B4C مرهون ذرات B4C و وزن سبک و تافنس آنها مرهون زمینهی Al میباشد. کاربردهای شاخص کامپوزیتهای Al/B₄C در زیر بیان شده اند که البته با بهبود ویژگیها از راه بهینه سازی فرآیند تولید قابل گسترش نیز میباشند:

الف) کاربردهای نظامی (Military): کامپوزیتهای Al/B4C در انواع زره پوشهای نظامی بسیار مورد توجهاند. به گونهی ویژه، در ساخت جلیغهی ضد گلوله انعطاف پذیر نرم، زره سینه صلب، کلاه خود بالیستیک و کلاه جنگی مشبک و وسایل حمل و نقل نظامی زمینی، دریایی و هوایی نظیر هواپیما و بالگرد بکار میروند [۴]. مزیت کامپوزیتهای Al/B4C در ساخت زره پوشهای نظامی نسبت به فلزات و آلیاژهای سنتی وزن سبک و حد بالیستیک ۸۰ تا ۹۰ درصدی آنهاست. شایان ذکر است که بازدهی بالیستیک رابطهی مستقیم با درصد Al/B دارد. مزیت زره پوشهای کامپوزیتی Al/B4C نسبت به مزیت زره پوشهای کامپوزیتی Al/B4C نسبت به سرامیکها تافنس بالاتر است [۵].

ب) کاربردهای هستهای (Nuclear): یکی از دغدغههای صنعت هستهای کنترل و حفاظت از نشر ذرات مخرب و خطرناک نوترون میباشد. در این زمینه، موادی ائدهآل هستند که ظرفیت بالایی برای جذب نوترون داشته و بر اثر برخورد نوترون با آنها، ایزوتوپهای رادیواکتیو ساتع نکنند

[۶]. B₄C با داشتن این ویژگی، یکی از کاربردهای مهم کامپوزیتهای Al/B₄C را به عنوان جاذب نوترون در صنعت هستهای، القا می کند. این کامپوزیتها در حمل و نقل و انبار ذخیرهی سوختهای هسته ای مصرف شده (Spent) و مصرف نشده و تازه (Fresh) بکار می رود [۷ و ۸].

ج) صنعت حمل نقل (Transportation): کامپوزیتهای Al/B4C به واسطهی نسبت استحکام به وزن بالا در صنایع حمل و نقل زمینی، دریایی و هوایی کاربرد دارند [۱۰ و ۹]. به گونهی خاص، در پیستون موتور و درام/ دیسک ترمز بخاطر وزن سبک، استحکام ، مدول ویژه و مقاومت به سایش بالا و ضریب انبساط حرارتی کم بکار میروند [۱۰].

د) صنعت کامپیوتر: کامپوزیتهای Al/B4C بخاطر وزن سبک و ضریب انبساط حرارتی کم به عنوان زیرلایه (Substrate) در ساخت دیسکهای سخت کامپیوتر بکار می روند.

تاکنون پژوهشهای قابل توجهی بر ویژگیهای کامپوزیتهای Al/B4C تولید شده به روشهای ریخته گری [۹ و ۲] و متالورژی پودر [۳] گزارش شده است. متغیر اصلی پژوهشهای انجام شده اندازه و درصد نسبی تقویت کننده B4C و اثر آن بر ساختار و ویژگیهای مکانیکی و سایشی بوده است. در فرآیند ریختهگری، تمرکز بر بهبود ویژگی ترشوندگی زمینه تقویت کننده است، ولی در فرآیند متالورژی پودر بر بهینه سازی فرآیند جهت دستیابی به کمترین تخلخل و اندازهی دانه تمرکز شده است. در این رابطه، روشهای نوینی مانند فرآيند اتصال تجمعي نورد (ARB) [11] جهت توليد ورقهای کامپوزیتی زمینه فلزی قابل اجرا میباشند که در آن از مذاب یا روشهای متالورژی پودر استفاده نمیشود. تاکنون گزارشهای قابل توجهی مبنی بر تولید کامپوزیتهای Al/B₄C با فرایند اتصال تجمعی نورد که موضوع این پژوهش میباشد، منتشر نشده است. روی هم رفته، مزایای روش ARB در قیاس با روشهای رقیب عبارتند از: امکان تولید ورقهای کامپوزیتی با طول دلخواه، امکان ایجاد ساختارهای ریز و فرا ریز، بهبود ویژگیهای مکانیکی با دستیابی به ساختار ریز و فرا ریز،

ارزانی نسبی فرآیند و عدم وجود مشکل تخلخل (که در متالورژی پودر رایج است) و تر شوندگی ذره- زمینه (که در ریخته گری مطرح است). در این مقاله، ساختار و ویژگیهای مکانیکی کامپوزیتهای Al/B₄C تهیه شده با فرآیند اتصال تجمعی نورد ارزابی میشوند.

مواد و روشها

مواد اولیهی این پژوهش، ورق آلومینیوم ۱۰۵۰ با ضخامت ۴/۴ میلیمتر و با ترکیب ارایه شده در جدول ۱ و یودر B₄C با اندازهی ذرات ۳ میکرون بود. ورق هایی با طول ۲۰ و عرض ۳ سانتی متر بریده و در دمای ۳۵۰ درجهی سانتیگراد در اتمسفر هوا به مدت نیم ساعت، جهت تنش گیری آنیل شدند. جهت ساخت کامپوزیت، ابتدا ورقها با استون شسته و با برس فولادی آماده سازی سطحی گردیدند. بین ۸ ورق ذکر شده ۷ لایه پودر B4C (هر لایه ۱/۱ درصد حجمی) با الک به گونه ی یکنواخت پراکننده شد. سپس دو انتهای مجموعهی ورقها با سیم مسی به هم بسته شدند تـا حـین نـورد روی هـم نلغزنـد سپس ورقها با یک کاهش سطح ۶۶ درصد نورد (جوش سرد) و ورق حاصل از طول به ۳ بخش مساوی بریده شد. ۳ ورقهای بدست آمده دوباره آماده سازی سطحی شدند و ۲ لایهی دیگر پودر B₄C (هر لایه ۱/۱ درصد حجمے) با الک به گونهی یکنواخت بین آنها پراکننده و فرآورده پس از مهار شدن با سیم مسی در دو انتها و کاهش سطح ۶۶ درصد نورد شدند. در نهایت، ورق ایجاد شده به دو نیم بریده و با کاهش سطح مقطع ۵۰ درصد نورد و این کار تا ۸ مرحله (سیکل ARB) تکرار شد (شکل ۱). تمام فرآیندهای نورد بدون استفاده از روانکار با سرعت ۱۵ دور در دقیقه و قطر غلتک ۱۷ سانتی متری انجام شد.

سطح مقطع کناری ورقهای جوش خورده (صفحهی حاوی جهات نورد و عمومی ورقها) پس از سنباده زنی و پولیش با پارچه و خمیر الماسه با میکروسکوپ نوری مشاهده شد تا نحوهی جوش خوردن ورقها و توزیع تقویت کننده مشاهده شود. افزون بر این، اندازهی بلورهای XRD, Philips ایکس (Analytical PC-APD در واقع وقتی کریستالها کوچک و عیوب کریستال

(کرنش) ماده افزایش مییابد، پیکهای XRD پهن میشوند. پهن شدگی ناشی از اندازه و کرنش با روش ویلیامسون- هال تفکیک میشود. این روش از پهنای پیکها در نصف ارتفاع آنها (FWHM) یا مساحت زیر پیکها استفاده میکند و اندازهی کریستالها (نواحی که مرز آنها اشعهی X را پراکنده میکنند) و میانگین کرنش ماده را بر اساس رابطهی زیر ارایه میدهد:

$$B\cos\theta = \frac{k\lambda}{D} + 2\varepsilon\sin\theta \tag{1}$$

در این رابطه، B پهنای پیک در نصف شدت یک پیک تفرق است. k ثابتی است برابر با γ/۰، ۸ طول موج اشعه، Θ زاویه براگ، D اندازهی کریستال و ع کرنش میباشد. در این روش، B cos θ بر حسب Sin 0 رسم میشود و عرض از مبدأ خط عبور کرده از نقاط اندازهی کریستال را میدهد. از سوی دیگر، صفحهی حاوی جهات نورد و عرضی کامپوزیت برای تعیین شکل و اندازهی دانهها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استای ورق های نازک برای مطالعات MET از روش سازی ورق های استفاده شد.

نتایج و بحث

شکل ۲ تصویر ماکروسکوپی کامپوزیت تهیه شده تا سیکل ۸ را نشان میدهد که دچار پارگی و عیب شده است. ورقها تا سیکل ۷ بدون عیب و پارگی، فرآیند ARB را پشت سر گذاشتند، ولی نمونههای تولید شده تا معیوب میشدند، به همین دلیل نمونههای تولید شده تا سیکل ۷ مورد توجه قرار گرفتند. با افزایش تعداد سیکل ماده افزایش می ابد، به گونهی مداوم چگالی نابه جاییها افزایش می ابد. در نتیجه، جهت کاهش انرژی سیستم، ماده ریز دانهتر میشود. حضور ذرات تقویت کننده نیز سبب تشدید ساز و کار ریز شدن دانه می شود [۱۲]. افزایش چگالی نابهجایی و کاهش اندازهی دانه سبب افزایش کرنش ماده و در نتیجه تردی می شود. این امر افزایش کرنش ماده و در نتیجه تردی می شود. این امر

www.SID.ir

از مرحلهی افزودن پودر بین ۸ لایه اA و نورد، تعداد لایه های AI و B4C به ترتیب ۸ و ۷ می باشد. پس از تقسیم آن ها به ۳ بخش، افزودن پودر ۲ لایه ی دیگر B4C و نورد دوباره، تعداد لایه های AI و B4C به ترتیب ۲۴ و ۳۲ می باشد. تعداد لایه های AI و B4C پس از سیکل IIم ARB، به ترتیب ⁿ۲×۲۴ و ⁿ۲×۲۳ خواهد شد. برای مثال، پس از سیکل ۸، تعداد لایه های AI و B4C به ترتیب برابر است با ۳۰۷۲ و ۲۹۴۴.

همراه با افزودن لايهى تقويت كننده بين ورقها، کاهش سطح مقطع ۵۰ و ۶۶ درصد آزمایش شد. مطابق با شکل ۳۵، پس از افزودن ۷ لایهی تقویت کننده بین ورقها و نورد با کاهش سطح مقطع ۵۰ درصد، جـوش مناسبی بین ورق ها ایجاد نشد. شکل ۳b تصویر میکروسکوپ نوری مقطع کناری ورق کامپوزیتی را نـشان میدهد که در مراحل افزودن لایهی تقویت کننده درصد کاهش سطح مقطع ۶۶ درصد و پس از آن حین ARB همان ۵۰ درصد بکار رفته است. مشاهده میشود که جوش سردی مناسب بین ورقها ایجاد شده، بـه گونـهای که از هم قابل تفکیک نیستند و ماده یکپارچه شده است. در حين فرآيند بين ورقها جوش سرد ايجاد ميشود. جوش سرد نوردی یک فرآیند جوشکاری حالت جامد است که در آن باند اتم به اتم بین دو فلز فقط در اثر اعمال فشار بوجود میآید و هیچگونه فاز مایعی در حین فرایند ایجاد نمی شود [1۳]. در عمل، هنگامی که دو سطح عاری از آلودگی با فشار بسیار بالا در نزدیکی هـم قـرار گیرنـد، اتصالى (پيوند متالورژيكي) مستحكم بين آنها بوجود میآید. تئوری که برای توجیه ساز و کار جوش سرد نوردی بیان میشود، تئوری فیلم سطحی میاشد [۱۵–۱۳]. بـر اسـاس ايـن تئـورى، سـطح فلـزات در اثـر عملیات سطحی نظیر برسکاری، سخت شدہ و انعطاف پذیری کمتر می گردد. لذا، در هنگام نورد، انعطاف پذیری این لایهها به اندازهی لایههای زیرین نبوده و بنابراین، در آنها ترکهای سطحی ایجاد میشود. با افزایش فشار، مواد تازه، بکر و عاری از آلودگی (Virgin Metals) از بین ترکهای سطحی به بیرون اکسترود می شوند. این مواد تازه در مجاورت هم قرار گرفته و در اثر افزایش تدریجی فشار نورد به هم جوش خورده و پیوندی

متالورژیکی بین آن ها بوجود میآید. به این ترتیب ورقهای اولیه به هم جوش خورده و به سختی از یکدیگر قابل تشخيص هستند. روى هم رفته، جهت ايجاد جوش سرد بین لایهها، به یک تغییر شکل آستانه که کمترین میزان تغییر شکل لازم برای ایجاد جوش سرد طے یک مرحلهی تغییر شکل پلاستیک می باشد، نیاز است که در مقادیر کمتر از آن، هیچ پیوندی بوجود نیامده و اگر هم اتصالی ایجاد گردد با برداشتن نیرو شکسته می شود. باید توجه داشت که تغییر شکل آستانه به عواملی از قبیل اتمسفر جوشکاری، روش آماده سازی سطحی و نوع ماده (انعطاف یـذیری مـاده، ضـخامت، پیوسـتگی و پایـداری و پایداری لایهی اکسیدی آن و...) وابسته است. در مورد اثـر وجود پودر تقویت کننده بین ورقها بر نحوهی جوش سرد اختلاف نظر وجود دارد. ليو و همكارانش [18] گزارش كردهاند كه حضور نانوذرات بين ورق ها كيفيت جوش را بهبود میدهد زیرا ذرات با ایجاد تمرکز تنش حین نورد، ترکهای سطحی را افزایش میدهد. از سوی دیگر، گزارش شده است که حضور ذرات با کاهش سطح تماس فلز- فلز اثر منفى بر كيفيت و استحكام جوش دارد [١٧]. با این حال، در این آزمایش، وقتی لایهی B₄C بین ورقها افزوده می شوند، ۶۶ درصد و در حالت A· ARB درصد تغییر شکل نوردی لازم است و تضمین کنندهی یک جوش سرد مناسب میباشد.

برای تعیین اندازه ی بلورهای زمینه آنالیز XRD و روش ویلیامسون- هال بکار گرفته شد. الگوی XRD د کامپوزیت تهیه شده با ۲ سیکل ARB در شکل ۴ نشان داده شده است. پهنای قابل توجه پیکها بیانگر کرنش بالا و اندازه ی بلورهای کوچک می باشد. عرض از مبدأ نمودار و یلیامسون- هال پیکها نشان داد که اندازه ی کریستالهای AI به ۱۱۴ نانومتر رسیده است. افزون بر این، تصویر TEM همین کامپوزیت نیز جهت بررسی شکل و ابعاد دانهها در شکل ۵ ارایه شده است. مشاهده می شود که دانههایی با ابعاد نانومتری و کشیده شده در جهت نورد در ماده توسعه یافته است؛ به گونه ی که کوچک ترین بعد دانهها به ۱۱۰ نانومتر و بزرگ ترین بعد به ۵۵۵ نانومتر رسیده است. ریز شدن ساختار به تبدیل

مرزهای تصادفی با زاویه یبالا نسبت داده می شود [۲۲–۱۸]. شایان ذکر است که بویژه در مواردی که دچار تغییر شکل پلاستیک شدهاند، اندازه یکریستالهایی که با XRD تعیین می شوند، معادل اندازه ی سلولهای نابه جایی یا دانه های فرعی است که اختلاف جهت گیری کریستالها در مرز آنها کم تر از چند درجه (۱۰ درجه) است. علت این پدیده در آن است که دیواره ی سلولهای نابه جایی باعث پراکندگی اشعه ی ایکس می شوند [۲۳]. بنابراین، اندازه یکریستالهای اندازه گیری شده با روش بنابراین، اندازه یکریستالهای اندازه گیری شده با روش Top کرو یک تر از اندازه ی دانه های مشاهده شده در تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) می باشد زیرا هر دانه شامل چندین دانه ی فرعی یا کریستال است.

شکل ۶ تصویر میکروسکوپ نوری کامپوزیت تهیه شده تا ۷ سیکل ARB را نشان می دهد. مشاهده می شود که ذرات تقویت کننده به گونهی یکنواخت در ساختار منتشر شده است و خوشه و اگلومرههای ذرات در ساختار دیده نمی شوند. دلیل توسعه ی چنین ساختار یکنواختی پس از ۷ سیکل ARB را می توان از ۳ دیدگاه توضیح داد: الف) واضح است که با پیشرفت فرایند ARB تعداد لایهها به گونهی مداوم افزایش می یابد. تعداد لایه ها پس از ۷ سیکل ۲۹۴۴ لایهی B4C و ۳۰۷۲ لایهی ا می باشد. بی گمان افزایش تعداد لایه ها باعث افزایش همگنی توزیع در جهت عمودی ورق می شود.

ب) بر اساس تئوری فیلم، حین نورد دو لایه اکسیدی سطوح ورق دچار ترک شده و با اعمال نیروی عمودی نورد، مواد زمینهی تازه از میان ترکها اکسترود می شوند. به روش مشابه در حضور ذرات B4C بین ورق های A۱، مادهی زمینه از بین ذرات خوشهها اکسترود می شود [۲۴ و ۲۵]. این باعث می شود که خوشه های فشرده به نفوذی تبدیل شوند و فاصلهی بین ذرات خوشه ها افزایش یابد. این امر سبب تجزیهی خوشه ها و بهبود توزیع ذرات می شود.

ج) در حین فرایند نورد مقداری ازدیاد طول در جهت نورد ایجاد میشود که مقدار آن تابع مقدار کاهش سطح مقطع میباشد. این پدیده سبب میشود که خوشهها در جهت نورد کشیده شده و انبساط ایجاد شده به تجزیهی

خوشهها کمک میکند. بدین ترتیب خوشـههـا و نـواحی زمینه بدون ذره حذف و ساختار همگن میشود.

شایان ذکر است که بمنظور دستیابی به ویژگیهای بهینهی یک کامپوزیت، بویژه بهترین ترکیب استحکام بالا و شکل پذیری مناسب، تقویت کنندهی ریز و کسر حجمی نسبتاً بالایی از ذرات لازم است، اما بکارگیری این دو مورد با هم، با مشکلاتی همراه است زیرا در کامپوزیتهای با ذرات ریـز، تمایـل بـه توزیـع نایکنواخـت ذرات و ایجـاد خوشهها و آگلومرههای ذرات پودر زیاد است که این باعث افت شدید شکل پذیری و داکتیلیتی ماده می شود. یک رابطهی مستقیم قوی بین کسر حجمے موضعی ذرات و تشکیل عیوبی که منجر به آسیب می شود، وجود دارد. به گونهای که شروع آسیب در خوشههای ذرات متمرکز می شود. توزیع تـنش در یـک کامپوزیـت در معـرض بـار خارجی نایکنواخت است [۲۶]. در حوالی یک خوشه، تنشهای سه بعدی قابل توجهی که بسیار بزرگتر از تنش اعمالی است ایجاد می شود که منجر به شتاب گیری شروع شکست در خوشه می شود [۲۸ و ۲۷]. افزون بر این، سیلان پلاستیک ماده بیشتر در مرکز خوشهی ذرات، به دلیل تنشهای هیدرواستاتیک بالا متوقف میشود که این باعث می شود خوشه ها به مکان های ترجیحی برای جوانه ریزی ترک تبدیل شوند [۲۹]. از سوی دیگر، نایکنواختی توزیع تنش در کامپوزیتهای با خوشهی ذرات بر خواص مکانیکی عمومی قطعه نیز تأثیر دارد. ناشان داده شده است که خوشهای شدن ذرات، تنش سیلان کامپوزیت را نسبت به یک کامپوزیت با توزیع ذرات یکنواخت کاهش میدهد [۳۰]. افزون بر این، با افزایش میزان خوشهای شدن، در تافنس شکست کامپوزیت ها کاهش شدیدی مشاهده شده است [۳۱]. بنابراین، توزیع یکنواخت و فضایی تقویت کنندههای ذرهای در کامپوزیتها یکی از ملزومات ساختاری مهم آنهاست.

فرایندهایی چون آلیاژسازی مکانیکی و انجماد سریع جهت چیره شدن بر آگلومره شدن ذرات در کامپوزیتها آزمایش شده است، اما این روشها با معایبی چون آلودگی، تخلخل و بازدهی اقتصادی ضعیف همراه هستند. افزون بر این، روشهای شکل دهی ثانویهی سنتی همچون نورد و اکستروژن نیز بدین منظور بکار گرفته شدهاند [۳۳ و ۳۲]،

اما این روش ها برای ذرات تقویت کننده ریز قابل کاربرد نیستند زیرا کرنش ها و تنش های بسیار بالایی مورد نیاز است [۳۳]. نشان داده شده است که فرایندهای تغییر شکل پلاستیک شدید برای بهبود توزیع تقویت کننده در کامپوزیت ها به گونه ای موفقیت آمیز قابل کاربرد هستند. برای مثال، پیچش با فشار بالا [۳۴] و فشردن زاویه ای با کانال مساوی (ECAP) [۳۵] برای کامپوزیت های زمینه فلزی تهیه شده با متالوژی پودر بازده ای مناسب نشان فلزی تهیه شده با متالوژی پودر بازده ای مناسب نشان گرفته شده نسبت به سایر روش های تغییر شکل پلاستیک شدید دارای مزایای زیر است: الف) عدم نیاز به تجهیزات با توان بارگذاری بالا و قاله های گران قست.

ب) سرعت توليد بالا.

ج) نا محدود بودن مقدار مادهی تولیدی.

نتيجه گيري

Al–B4C در این پژوهش، ساخت ورقهای کامپوزیتی Al–B4C با روشی بر پایهی اتصال تجمعی نورد مورد توجه قرار

armor", Report 1990, ARO-26166.1-MS-A, 1991.

6- J. Abenojar., F. Velasco., and M. A. Martinez., "Optimization of processing parameters for the Al + 10 $_{\text{Loc}}$ B₄C system obtained by mechanical alloying", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 184, pp. 441–446, 2007.

7- X.G. Chen., "Application of Al-B4C Metal Matrix Composites in the Nuclear Industry for Neutron Absorber Materials", Symposium of Solidification Process of Metal Matrix Composites, Edited by N. Gupta and W. H. Hunt, TMS, pp. 343-350, 2006.

8- X.G. Chen., and R. Hark., "Development of Al-30 درصد B4C Metal Matrix Composites for

Neutron Absorber Material", Symposium of Aluminum Alloys: Fabrication, Charaterization and applications Edited by W. Yin et al, TMS, pp. 3-9, 2008.

9- K. M. Shorowordi, A. S. M. A. Haseeb, and J. P. Celis, "Tribo-surface characteristics of $Al-B_4C$ and Al-SiC composites worn under

گرفت. نتایج نشان داد که با بکارگیری کاهش سطح مقطع نوردی ۶۶ درصد در مراحل افزودن لایهی تقویت کننده، جوش سردی مناسب بین ورقها ایجاد میشود. افزون بر این، تا سیکل ۷ اتصال تجمعی نورد نمونهها دارای شکل پذیری مناسب بوده و قطعاتی بدون عیب ماکروسکوپی بدست آمد. نمونهی تولید شده با ۷ سیکل اتصال تجمعی نورد توزیعی مناسب از ذرات تقویت کننده کاربید بور در زمینهی نانوساختار آلومینیوم را نشان داد. چنین ساختار مناسبی پیشنهاد میدهد که اتصال تجمعی نورد با داشتن مزایایی نظیر تجهیزات نسبتاً ارزان، سرعت تولید بالا و عدم محدودیت ماده تولیدی روشی مناسب و مستعد برای تولید کامپوزیتهای زمینه فلزی است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از تکنسینهای آزمایشگاههای مهندسی مواد دانشگاه شیراز جهت کمکهای فنی سپاسگزاری میشود.

منابع

1- R.B. Mason., M.A. Miller., L.A. Gintert., and M.F. Singleton., "Corrosion testing and assessment of metal matrix composite components for military assets", Tri-service corrosion conference, pp. 1-14, 2007.

2- F. Toptan., A. Kilicarslan., A. Karaaslan., M. Cigdem., and I. Kerti., "Processing and microstructural characterisation of AA 1070 and AA 6063 matrix B_4C_p reinforced composites", Materials and Design, Vol. 31, pp. S87-S91, 2010.

3- M. Khakbiz., and F. Akhlaghi., "Synthesis and structural characterization of $Al-B_4C$ nano-composite powders by mechanical alloying", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 479, pp. 334–341, 2009.

4- A. Bhatnagar., "Lightweight ballistic composites: Military and law-enforcement applications",

Wood head Publishing in Materials, 2006.

5- A. J. Pyzik., P. D. Williams., and A. McCombs., "New low temperature processing for boron carbide/aluminum based composite

different contact pressures", Wear, Vol. 261, pp. 634–641, 2006.

10- I. Kerti and F. Toptan, "Microstructural variations in cast B_4C -reinforced aluminium matrix composites (AMCs)", Materials Letters, Vol. 62, pp. 1215–1218, 2008.

11- K. Kitazono, E. Sato, K. Kuribayashi, Novel manufacturing process of closed-cell aluminum foam by accumulative roll-bonding, Scripta Mater 50 (2004) 495-498.

12- H. Sekine and R Chen. "A combined microstructure strengthening analysis of SiCp/Al metal matrix composites", Composites, Vol. 26, pp. 183-8, 1995.

13- H. A. Mohamed and J. Washburn, "Mechanism of Solid State Pressure Welding", Welding Journal, Vol. 30, pp. 2–10, 1975.

14- N. Bay, "Cold Welding: Part II, Process Variant and application", Metal Construction, pp. 486-490, 1986.

15- N. Bay, "Cold Welding: Part I, Characteristic, Bonding Mechanism, Bond Strength", Metal Construction, pp. 369-372, 1986.

16- C. Lu, K. Tieu and D. Wexler, "Significant enhancement of bond strength in the accumulative roll bonding process using nanosized SiO₂ particles", Journal of Material Processing and Technology, Vol. 209, pp. 4830–4834, 2009.

17- M. Alizadeh and M.H. Paydar, "Study on the effect of presence of TiH_2 particles on the roll bonding behavior of aluminum alloy strips", Material Design, Vol. 30, pp. 82–86, 2009.

18- Y. Saito, N. Tsuji, H. Utsunomiya, T. Sakai, and R. G. Hong, "Ultra-fine grained bulk aluminum produced by accumulative rollbonding (ARB) process", Scripta Materialia, Vol. 39, pp. 1221–1227, 1998.

19- N. Tsuji., T. Iwata., M. Sato., S. Fujimoto., and Y Minamino., "Aging behavior of ultrafine grained Al-2 wt %Cu alloy severely deformed by accumulative roll bonding", Science and Technology of Advanced Materials, Vol. 5, pp. 173–180, 2004.

20- H. Utsunomiya., K. Tanda., Y. Saito., T. Sakai., and N. Tsuji., "Effects of Lubrication on Accumulative Roll-Bonding (ARB) of Aluminum", Journal of the Japan Society for

Technology of Plasticity, Vol. 40, pp. 1187–1191, 1999.

21- S. H. Lee., Y. Saito., N. Tsuji., H. Utsunomiya., and T. Sakai., "Role of shear strain in ultragrain refinement by accumulative roll-bonding (ARB) process", Scripta Materialia, Vol. 46, pp. 281–285, 2002.

22- T. Ungar., G. Tichy., J. Gubicza., and R. Hellmig., "Correlation between subgrains and coherently scattering domains", Powder Diffraction, Vol. 20, pp. 366–75, 2005.

23- L. R. Vaidyanath., M. G. Nicholas., and D. R. Milner., "Pressure welding by rolling", British Weld Journal, Vol. 6, 13–28, 1959.

24- H. A. Mohamed., and J. Washburn., "Mechanism of solid state pressure welding", Weld Journal, Vol. 30, pp. 302–310, 1975.

25- Z. Wang., T. K. Chen., and D. J. Lloyd., "Stress distribution in particulate-reinforced metal-matrix composites subjected to external load", Metallurgical Transactions A, Vol. 24, pp. 197–207, 1993.

26- D. J. Lloyd., "Aspects of fracture in particulate reinforced metal matrix composites", Acta Metallurgica et Materialia, Vol. 42, pp. 59–71, 1991.

27- Z. Wang., and R. J. Zhang., "Mechanical behavior of cast particulate SiC/Al (A356) metal matrix composites" Metallurgical Transactions A, Vol. 22, 1585–1593, 1991.

28- P. B. Prangnell., S. J. Barnes., S. M. Roberts., and P. J. Withers., "The effect of particle distribution on damage formation in particulate reinforced metal matrix composites deformed in compression", Materials Science and Engineering A, Vol. 220, pp. 41–56, 1996. 29- T. Christman., A. Needleman., and S. Suresh., "An experimental and numerical study of deformation in metal-ceramic composites", Acta Metallurgica et Materialia, Vol. 37, pp. 3029–3050, 1989.

30- S. Tao., N. Townely., and J. D. Boyd., "Effects of particulate spacing distribution on internal stress and damage in MMCs", Microstructure Sciences, Vol. 22, pp. 249–259, 1994.

31- T. V. Clyne., and P. J. Withers., "An introduction to metal matrix composites" Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1993.

32- M. J. Tan., and X. Zhang., "Powder metal matrix composites: selection and processing"

Materials Science and Engineering A, Vol. 244, pp. 80–85, 1998.

33- I. Sabirov., O. Kolednik., and R. Pippan., "Homogenization of metal matrix composites by high-pressure torsion", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 36, pp. 2861– 2870, 2005. 34- I. Sabirov., O. Kolednik., R. Z. Valiev., and R. Pippan., "Equal channel angular pressing of metal matrix composites: Effect on particle distribution and fracture toughness" Acta Materialia, Vol. 53, pp. 4919–30, 2005.



شکل۲- ورق کامپوزیتی ARB شده تا ۸ سیکل که عیوب و پارگی کنار ورق مشهود است.

www.SID.ir

ييوستها



شکل ۳- تصویر میکروسکوپ نوری مقطع کناری نمونه با درصد تغییرشکل ۵۰ که جوش مناسبی ایجاد نشده است (a) و تصویر میکروسکوپ نوری مقطع کناری ورق کامپوزیتی ARB شده تا ۲ سیکل با درصد تغییرشکل ۶۶ حین افزودن تقویت کننده و ۵۰ حین ARB که جوش مناسبی ایجاد شده است (b).



www.SID.ir



شکل ۶– تصویر میکروسکوپ نوری کامپوزیت تهیه شده تا ۷ سیکل ARB.