

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

رَبَّنَا تَقَبَّلْ مِنَّا إِنَّكَ أَنْتَ السَّمِيعُ الْعَلِيمُ

ای پروردگار ما! از ما بپذیر که در حقیقت، تو شنوای دانایی.

«قرآن کریم، سوره بقره، بخشی از آیه ۱۲۷»



Semnan University

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مواد

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد-شکل دادن فلزات

با عنوان:

ارزیابی خواص مکانیکی و ریزساختاری کامپوزیت Al/Cu
تقویت شده با نانوذرات SiC تولید شده به روش اتصال نورد
تجمعی (ARB)

مهدی شرفی

اساتید راهنما:

دکتر فتح الله قدس - دکتر سیدمجتبی زبرجد

تابستان ۱۳۹۰

تقدیم به :

پدر عزیز و
پدر

مادر مهربانم

تشر و قدردانی

در پایان این مرحله از تحصیل بر خود لازم می دانم تا از زحمات تمام کسانی که در طی این مسیر، یار و در کنار من بوده اند، کمال تشر و قدردانی را داشته باشم.

از حمایت های بی دریغ خانواده ام که همواره یار و همراه من بوده اند، بی نهایت متشکرم.

از اساتید راهنمای پروژه، جناب آقای دکتر فتح الله قدس و جناب آقای دکتر سید مجتبی زبرجد، کمال سپاسگزاری را دارم، و توفیق روز افزون ایشان را از خداوند متعال خواستارم.

چکیده:

تغییر فرم های پلاستیک شدید از جمله فرآیندهایی می باشند که در چند دهه اخیر مورد توجه محققین واقع شده اند. در تغییر فرم های پلاستیک شدید کرنش اعمالی مقدار بالاتری نسبت به فرآیندهای معمولی تغییر شکل دارد که بسته به نوع تغییر فرم این مقدار متغیر می باشد. فرآیند اتصال نورد تجمعی از جمله فرآیندهای تغییر فرم پلاستیک شدید می باشد که برای حصول به ساختار فوق العاده ریز دانه از آن استفاده می شود و مبنای آن عملیات نورد است. در پژوهش حاضر کامپوزیت لایه ای Al/Cu تقویت شده با ۲/۵ درصد حجمی ذرات SiC با اندازه نانو توسط فرآیند اتصال نورد تجمعی با اعمال ۷ سیکل از فرآیند تولید شده است. نوارهای آلومینیوم و مس با ابعاد $6 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ برش خورده و پس از شستشو توسط محلول استون به منظور چربی زدایی، با بکاربردن سمباده سیمی دوار با قطر ۰/۲ برس کاری شدند. ساندویچ اولیه کار شامل دو لایه آلومینیوم با ضخامت ۱ میلیمتر و یک لایه مس با ضخامت ۰/۴ میلیمتر و همچنین دو لایه پودر SiC بود. در مرحله اول ساخت ساندویچ از کاهش در ضخامت ۶۰ درصد به منظور اتصال بهتر لایه ها استفاده گردید و سپس ورق ساندویچ حاصل از وسط به دو قسمت تقسیم شده و کار با اتصال مجدد لایه ها روی هم و با ۵۰ درصد کاهش ضخامت ادامه پیدا کرد. این عمل تا ۷ بار بر روی کامپوزیت مربوطه انجام پذیرفت. همچنین به منظور مقایسه، فرآیند ساخت کامپوزیت Al/Cu نیز تا ۷ سیکل فرآیند انجام شده است. پس از آن به منظور بررسی تغییرات ایجاد شده در لایه های آلومینیم و مس در نمونه های کامپوزیتی در سیکل های مختلف و چگونگی ایجاد پیوند بین لایه ها از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. نتایج نشان دهنده ساخت کامپوزیتی با زمینه تقریباً یکنواخت از ذرات تقویت کننده در زمینه آلومینیومی بود. همچنین به منظور ارزیابی خواص مکانیکی کامپوزیت ها در سیکل های فرآیند از آزمون کشش و ریزسختی سنجی استفاده گردید. آزمایش لایه کنی نیز برای بررسی استحکام پیوند در شرایط مختلف تولیدی استفاده گردید. به علاوه آنالیز عنصری خطی EDS برای بررسی نفوذ درهم اتم های آلومینیم و مس و تاثیر ذرات SiC انجام شد. سطح شکست نمونه های کامپوزیتی و مواد خام نیز توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی به منظور ارزیابی مکانیزم شکست مورد بررسی واقع شد و نشان دهنده نوعی از شکست نرم برشی برای تمام نمونه ها بود. الگوهای پراش پرتو ایکس مربوط به نمونه های کامپوزیتی در سیکل های مختلف فرآیند ARB توسط روش ریت-ولد (Rietveld)، و با بکاربردن نرم افزار MAUD تحلیل شد. با استفاده از این تحلیل اندازه دانه فرعی برای تمام نمونه های مورد بررسی، محاسبه گردید که نتایج نشان دهنده کاهش اندازه دانه فرعی با ادامه فرآیند به سمت آخرین سیکل فرآیند بود.

کلمات کلیدی: تغییر شکل پلاستیکی شدید، اتصال نورد تجمعی، کامپوزیت لایه ای آلومینیم-مس تقویت شده با ذرات SiC، خواص مکانیکی، الگوی پراش اشعه ایکس

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه.....
مقدمه.....	۱.....
۱-۱ تغییر فرم های پلاستیک شدید: (SPD).....	۶.....
۲-۱ معرفی برخی از فرآیندهای SPD.....	۸.....
۱-۲-۱ پرس زاویه‌ای با کانال‌های یکسان (ECAP).....	۸.....
۲-۲-۱ فرآیند پیچش تحت فشار بالا.....	۱۰.....
۳-۲-۱ فرآیند اکستروژن و فشار سیکلی.....	۱۱.....
۴-۲-۱ فرآیند فشار تحت کانال زاویه‌ای با مقاطع یکسان پیوسته.....	۱۲.....
۳-۱ فرآیند ARB.....	۱۳.....
۴-۱ نورد سرد پیوندی.....	۱۷.....
۱-۴-۱ مکانیزم‌های ایجاد اتصال سرد نوردی.....	۱۸.....
۵-۱ مکانیزم‌های استحکام دهی.....	۱۹.....
۱-۵-۱ استحکام دهی به روش محلول جامد.....	۱۹.....
۲-۵-۱ رسوب سختی.....	۲۰.....
۳-۵-۱ کرنش سختی.....	۲۱.....
۴-۵-۱ استحکام بخشی توسط مرز دانه.....	۲۱.....
۵-۵-۱ مقاوم کردن به وسیله ذرات ریز.....	۲۲.....
۶-۵-۱ مقاوم کردن با افزودن الیاف.....	۲۲.....
۶-۱ حساسیت به نرخ کرنش مواد UFG.....	۲۳.....
۷-۱ پایداری حرارتی مواد UFG.....	۲۳.....
۸-۱ کامپوزیت های زمینه فلزی.....	۲۴.....
۱-۸-۱ فرآیندهای ذوبی.....	۲۵.....
۲-۸-۱ روش‌های حالت جامد.....	۲۵.....

۲۸	۱-۲ فرآیند اتصال نورد تجمعی (ARB).....
۳۰	۲-۲ شکل گیری میکروساختار فوق العاده ریز دانه در طول فرآیند ARB.....
۳۲	۳-۲ مقایسه نورد ساده و ARB.....
۳۳	۴-۲ نقش کرنش برشی اضافی در ARB.....
۳۵	۵-۲ پارامترهای موثر در اتصال نورد انباشتی.....
۳۵	۱-۵-۲ دمای فرآیند.....
۳۷	۲-۵-۲ درصد کاهش سطح مقطع در هر سیکل نورد.....
۳۸	۳-۵-۲ تعداد سیکل های نورد.....
۳۸	۴-۵-۲ قطر غلتک ، سرعت نورد و نرخ کرنش.....
۳۹	۵-۵-۲ زبری و ناهمواری سطح.....
۴۰	۶-۵-۲ لایه اکسیدی.....
۴۱	۶-۲ شکل گیری بافت در مواد تحت ARB.....
۴۲	۷-۲ همگن شدن میکروساختار در فرآیند ARB.....
۴۳	۸-۲ بکارگیری نانو ذرات تقویت کننده در انجام فرآیند ARB.....
۴۶	۱-۳ شرح انجام کار و روش تولید کامپوزیت.....
۵۱	۳-۳ طراحی آزمایشات.....
۵۶	۱-۴ بررسی پیوند ایجاد شده بین لایه ها با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).....
۶۶	۲-۴ آنالیز EDS.....
۷۳	۳-۴ نتایج آزمون پیلینگ.....
۷۹	۴-۴ خواص مکانیکی کامپوزیت های آلومینیوم - مس تقویت شده با ذرات SiC تولید شده توسط فرآیند ARB.....
۷۹	۱-۴-۴ تغییرات سختی کامپوزیت ها.....
۸۱	۲-۴-۴ تغییرات استحکام کششی و ازدیاد طول در طول فرآیند ARB.....
۸۶	۵-۴ بررسی سطوح شکست کامپوزیت ها.....
۹۱	۶-۴ بررسی الگوی های پراش پرتو ایکس (XRD).....
۹۵	۷-۴ محاسبه اندازه دانه فرعی (کریستالیت).....
۹۷	۸-۴ جمع بندی.....
۱۰۰	۱-۵ نتیجه گیری.....

۲-۵ پیشنهادات ۱۰۰

منابع و مراجع ۱۰۲

فهرست اشکال

عنوان.....	صفحه.....
شکل ۱-۱ استحکام و چقرمگی فلزات نانو ساختار در مقایسه با فلزات با اندازه دانه معمولی.....	۶
شکل ۲-۱ اساس فرآیند ECAP.....	۸
شکل ۳-۱ چهار مسیر اصلی در فرآیند ECAP.....	۹
شکل ۴-۱ شماتیک فرآیند HPT.....	۱۰
شکل ۵-۱ شماتیک فرآیند CEC.....	۱۱
شکل ۶-۱ شماتیک فرآیند الف) Conshearing ب) C2S2.....	۱۲
شکل ۷-۱ برخی فرآیندهای دیگر تغییر فرم شدید الف) CCE ب) CEC ج) RCS.....	۱۳
شکل ۸-۱ شماتیک اصول فرآیند ARB.....	۱۴
شکل ۹-۱ نمودار تنش- کرنش مقایسه حساسیت به نرخ کرنش در مواد حاصل از فرآیند ARB با نورد ساده.....	۱۶
شکل ۱۰-۱ جدول فلزاتی که به صورت موفقیت آمیز تحت ARB و CRB قرار گرفته اند.....	۱۷
شکل ۱۱-۱ شماتیک فرآیند شکست و اکستروژن لایه سطحی در طول نورد سرد پیوندی.....	۱۹
شکل ۱-۲ شماتیک فرآیند RBA.....	۲۸
شکل ۲-۲ تغییرات هندسی مواد در طول ARB وقتی ضخامت اولیه دو ورق ۱ میلی متر است و کاهش سطح مقطع ۵۰ درصد در هر سیکل.....	۳۰
شکل ۳-۲ شماتیک میکروساختار تغییر فرم و تشکیل دانه فرعی برای الف) کرنش های کم به همراه میکروباندهای بزرگ و دیواره های نابجایی اطراف گروه های سلولی ب) کرنش های بزرگ به همراه مرزهای لایه موازی با جهت تغییر فرم.....	۳۱

- شکل ۲-۴ میکروساختارنوری نشان دهنده انحناء پین های تعبیه شده در ورق آلومینیوم ۱۱۰۰ تحت یک سیکل فرآیند ARB در دمای محیط وبدون روانکاری..... ۳۳
- شکل ۲-۵ توزیع کرنش برشی در طول ضخامت ورق ۱۱۰۰ تحت فرآیند ۱(a) ۲(b) ۴(c) ۸(d) سیکل ۳۴
- شکل ۲-۶ استحکام برشی باندهای بین لایه ای AA۶۱۱۱ به عنوان تابعی از الف) دمای ورودی ب) دمای آنیل و درصد کاهش سطح مقطع ۳۶
- شکل ۲-۷ استحکام برشی اتصال بین لایه ای AA۶۱۱۱ به عنوان تابعی از الف) سرعت نورد و درصد کاهش سطح مقطع ب) نیروی نورد..... ۳۷
- شکل ۲-۸ زبری سطحی بعد از آماده سازی های سطحی متفاوت..... ۳۹
- شکل ۲-۹ الف) نمودار نیرو-فاصله اندازه گیری شده در طول آزمایش لایه کنی نمونه ها با آماده سازی سطحی متفاوت ب) شماتیک آزمایش لایه کنی بکاررفته..... ۴۰
- شکل ۲-۱۰ توزیع سختی ویکرز در بین ضخامت ورقی که ۶ بار تحت ARB قرار گرفته است..... ۴۲
- شکل ۲-۱۱ تقویت با نانوذرات در طول فرآیند ARB..... ۴۳
- شکل ۲-۱۲ اثر نانوذرات تقویت کننده بر استحکام مواد تحت ۸ سیکل فرآیند ARB در مقایسه با مواد تقویت نشده..... ۴۴
- شکل ۲-۱۳ ارزیابی: الف) اندازه دانه ب) استحکام تسلیم نهایی، در طول فرآیند ARB با حضور نانوذرات تقویت کننده ۴۴
- شکل ۳-۱ مراحل تولید کامپوزیت تقویت شده با ذرات در روش ARB..... ۴۸
- شکل ۳-۲ دستگاه نورد بکار گرفته شده در آزمایش ۵۰
- شکل ۳-۳ شماتیک نمونه کشش ۵۲
- شکل ۳-۴ شماتیک آزمون پیلینگ ۵۳
- شکل ۳-۵ دستگاه پراش اشعه ایکس مورد استفاده ۵۳
- شکل ۴-۱ تصویر میکروسکوپ نوری مربوط به سیکل های الف) صفرم (ساندویچ اولیه) ب) اول (ج) سوم (د) پنجم..... ۵۸

- شکل ۴-۲ تصویر SEM از اکسترود شدن مس در زمینه آلومینیوم الف (پاس صفرم ب) پاس اول ۵۹
- شکل ۴-۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه پاس دوم فرآیند- گلولی شدن در نمونه و اکسترود شدن کم لایه های مس در زمینه آلومینیوم قابل تشخیص است ۶۰
- شکل ۴-۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه پاس اول کامپوزیت الف) آلومینیوم-مس- کاربید سیلیسیوم ب) آلومینیوم - مس ۶۱
- شکل ۴-۵ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سیکل های مختلف فرآیند و یکنواخت تر شدن زمینه با حضور تقویت کننده ها الف)سیکل صفرم ب)سیکل اول ج)سیکل دوم د)سیکل سوم ه)سیکل چهارم و)سیکل پنجم ز)سیکل ششم ح) سیکل هفتم ۶۲
- شکل ۴-۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از گلولی شدن در کامپوزیت آلومینیوم-مس تقویت شده با ذرات در سیکل دوم فرآیند بزرگنمایی های : الف) ۴۵۰X ب) ۲۰۰۰X ۶۳
- شکل ۴-۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از گلولی شدن و جدایش مس در زمینه آلومینیوم الف) نمونه پاس سوم کامپوزیت Al/Cu/SiC ب) بزرگنمایی ۲۰۰۰X از همین پاس ۶۴
- شکل ۴-۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پاس سوم کامپوزیت Al/Cu ۶۵
- شکل ۴-۹ تصویر پاس پنجم فرآیند برای الف) کامپوزیت آلومینیوم-مس تقویت شده با ذرات ب) کامپوزیت آلومینیوم-مس ۶۶
- شکل ۴-۱۰ تصویر پاس هفتم فرآیند برای الف) کامپوزیت آلومینیوم-مس تقویت شده با ذرات ب) کامپوزیت آلومینیوم-مس ۶۶
- شکل ۴-۱۱ تصویری از صفحه نرم افزار EDS۲۰۰۸ ۶۷
- شکل ۴-۱۲ آنالیز خطی عنصری کامپوزیت لایه ای Al/Cu در پاس هفتم ۶۷
- شکل ۴-۱۳ آنالیز خطی عنصری کامپوزیت لایه Al/Cu/SiC در پاس هفتم ۶۸
- شکل ۴-۱۴ تصویر میکروسکوپ SEM مربوط به سیکل هفتم فرآیند ARB کامپوزیت حاوی ذرات SiC، نقاط مشخص شده تحت آنالیز EDS قرار گرفته اند. ۶۹
- شکل ۴-۱۵ آنالیز عنصری نقطه ای ، در نقطه ۱ از نمونه کامپوزیت Al/Cu/SiC ۶۹
- شکل ۴-۱۶ آنالیز عنصری نقطه ای در نقطه ۳ از نمونه کامپوزیت Al/Cu/SiC ۷۰

- شکل ۴-۱۷ آنالیز عنصری نقطه ای در نقطه ۴ از نمونه کامپوزیت Al/Cu/SiC ۷۰
- شکل ۴-۱۸ تصویر میکروسکوپ SEM مربوط به سیکل هفتم فرآیند ARB کامپوزیت Al/Cu، نقاط مشخص شده تحت آنالیز EDS قرار گرفته اند. ۷۱
- شکل ۴-۱۹ آنالیز عنصری نقطه ای در نقطه ۲ از نمونه کامپوزیت Al/Cu ۷۱
- شکل ۴-۲۰ آنالیز عنصری نقطه ای در نقطه ۳ از نمونه کامپوزیت Al/Cu ۷۲
- شکل ۴-۲۱ آنالیز عنصری نقطه ای در نقطه ۴ از نمونه کامپوزیت Al/Cu ۷۲
- شکل ۴-۲۲ شماتیک نمونه استاندارد جهت آزمون پیلینگ ۷۳
- شکل ۴-۲۳ نمودار نیرو - جابجایی به منظور تعیین نیروی متوسط پیلینگ برای یک آزمون فرضی ۷۴
- شکل ۴-۲۴ نمودار نیروی پیلینگ-جابجایی برای کامپوزیت های حاوی ۲ درصد حجمی ذرات SiC در کاهش سطح مقطع های مختلف بکار گرفته شده ۷۵
- شکل ۴-۲۵ نمودار نیروی پیلینگ-جابجایی برای کامپوزیت های آلومینیوم-مس بدون حضور ذرات در کاهش سطح مقطع های مختلف بکار گرفته شده ۷۶
- شکل ۴-۲۶ نمودار نیروی متوسط پیلینگ-کاهش سطح مقطع برای کامپوزیت های حاوی ۲ درصد حجمی ذرات SiC و کامپوزیت هایی که ذرات تقویت کننده در آنها وجود ندارد ۷۷
- شکل ۴-۲۷ نمودار نیروی پیلینگ-جابجایی برای کامپوزیت های حاوی ۲ درصد حجمی ذرات SiC در دماهای مختلف بکار گرفته شده ۷۷
- شکل ۴-۲۸ نمودار نیروی پیلینگ-جابجایی جهت بررسی تاثیر زاویه سمباده زنی برای کامپوزیت های حاوی ۲ درصد حجمی ذرات SiC ۷۸
- شکل ۴-۲۹ تغییرات سختی لایه های آلومینیوم و مس در حین سیکل های مختلف فرآیند ARB ۸۰
- شکل ۴-۳۰ نمودار سختی با فاصله گرفتن از فصل مشترک برای آلومینیوم و مس در پاس صفرم فرآیند ۸۱
- شکل ۴-۳۱ نمودار تنش - کرنش برای نمونه ها در مورد کامپوزیت های تقویت شده با ذرات SiC در سیکل های مختلف ۸۲
- شکل ۴-۳۲ نمودار استحکام کششی نهایی کامپوزیت های حاوی ذرات در برابر تعداد سیکل های انجام فرآیند ۸۳
- شکل ۴-۳۳ افزایش استحکام کششی کامپوزیت های آلومینیوم-مس بدون حضور ذرات تقویت کننده ۸۴

- شکل ۴-۳۴ مقایسه استحکام کششی نهایی کامپوزیت های تولید شده توسط فرآیند ARB با حضور ذرات و بدون حضور آنها..... ۸۵
- شکل ۴-۳۵ ارتباط بین ازدیاد طول نسبی نسبت به افزایش سیکل های فرآیند در کامپوزیت های حاوی ذرات..... ۸۵
- شکل ۴-۳۶ سطح شکست نمونه آلومینیوم اولیه..... ۸۷
- شکل ۴-۳۷ سطح شکست نمونه مس اولیه..... ۸۷
- شکل ۴-۳۸ سطح شکست نمونه کامپوزیت در پاس اول فرآیند..... ۸۸
- شکل ۴-۳۹ سطح شکست نمونه کامپوزیت در پاس سوم فرآیند..... ۸۸
- شکل ۴-۴۰ سطح شکست نمونه های پاس پنجم فرآیند الف) حالت بدون حضور ذرات ب) با حضور ذرات..... ۸۹
- شکل ۴-۴۱ تصویر سطح شکست نمونه الف) نمونه پاس هفتم با حضور ذرات ب) نمونه پاس هفتم بدون حضور ذرات ، بزرگنمایی ۳۰۰۰X ج) نمونه پاس هفتم با حضور ذرات، بزرگنمایی ۳۰۰۰X..... ۹۰
- شکل ۴-۴۲ شکل نمایشی مکانیزم تفکیک دانه در طی فرآیند ARB..... ۹۱
- شکل ۴-۴۳ الگوی پراش پرتو ایکس نمونه های کامپوزیتی آلومینیم- مس برای سیکل های مختلف فرآیند ARB..... ۹۲
- شکل ۴-۴۴ پیک مربوط به صفحه (۱۱۱) آلومینیم را در پاس های مختلف از فرآیند ARB..... ۹۳
- شکل ۴-۴۵ پیک مربوط به صفحه (۱۱۱) مس را در پاس های مختلف از فرآیند ARB..... ۹۴
- شکل ۴-۴۶ الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به الف) صفحه (۲۰۰) آلومینیوم ب) صفحه (۲۰۰) مس..... ۹۴
- شکل ۴-۴۷ تصویر صفحه نرم افزار MAUD..... ۹۶
- شکل ۴-۴۸ نمودار اندازه دانه فرعی نمونه ای حاوی ذرات ، در برابر افزایش تعداد سیکل های ARB..... ۹۶
- شکل ۴-۴۹ مقایسه اندازه دانه فرعی در نمونه های حاوی ذرات SiC و نمونه های بدون SiC..... ۹۷

فهرست جداول

جدول ۱-۱ . تغییرات هندسی مواد در طول فرآیند ARB که در آن بر روی دو ورق با ضخامت ۱mm در هر پاس ۵۰٪ کاهش ضخامت صورت می‌گیرد	۱۵
جدول ۱-۳ ترکیب شیمیایی آلومینیم و مس مورد استفاده در این تحقیق (wt %)	۴۷
جدول ۲-۳ تعداد لایه های موجود در کامپوزیت ساخته شده در سیکل های مختلف فرآیند ARB	۵۱
جدول ۱-۴ درصد وزنی عناصر مشخص شده توسط آنالیز EDS برای نقطه شماره ۱ شکل ۱-۴	۶۹
جدول ۲-۴ درصد وزنی عناصر مشخص شده توسط آنالیز EDS برای نقطه شماره ۳ شکل ۱-۴	۷۰
جدول ۳-۴ درصد وزنی عناصر مشخص شده توسط آنالیز EDS برای نقطه شماره ۴ شکل ۱-۴	۷۰
جدول ۴-۴ درصد وزنی عناصر مشخص شده توسط آنالیز EDS برای نقطه شماره ۲ شکل ۱-۴	۷۱
جدول ۵-۴ درصد وزنی عناصر مشخص شده توسط آنالیز EDS برای نقطه شماره ۳ شکل ۱-۴	۷۲
جدول ۶-۴ درصد وزنی عناصر مشخص شده توسط آنالیز EDS برای نقطه شماره ۴ شکل ۱-۴	۷۲

مقدمه

پیشرفت های دهه های اخیر سبب شده است که در صنایع مختلف نیاز به وجود و ساخت مواد جدید با خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب احساس شود. این احساس نیاز سبب شده که به صورت همزمان تلاش های گسترده ای در جهت ابداع و ایجاد روش های تولید مواد نو با خواص عالی انجام پذیرد.

اصولاً به اثبات رسیده است که داشتن فلزات و مواد ریزدانه و فوق العاده ریزدانه (UFG)¹ با اندازه دانه کمتر از ۱ میکرون، خواص فیزیکی و مکانیکی خیلی مناسبی را نسبت به مواد با اندازه معمولی برای ماحصل می کند. روش های اصلی ساخت مواد ریزدانه به صورت کلی به دو روش تقسیم بندی می شوند و اصطلاحاً تحت عنوان روش های پایین به بالا² و بالا به پایین³ موسوم اند.

فرآیند کاربرد روش های پایین به بالا به این صورت است که مواد بسیار ریزدانه توسط تجمع و به هم فشردگی نانو ذرات جامد ساخته می شوند. از جمله معایبی که در مورد این روش ها وجود دارد وجود تخلخل های باقی مانده، ناخالصی ها و همچنین رشد دانه در مراحل بعدی تولید آن ها است. روش های بالا به پایین نیز شامل دو روش تغییر شکل پلاستیک شدید⁴ و روش ترمو مکانیکال⁵ است. از این روش ها، تغییر شکل پلاستیک شدید فرآیند مناسبی برای تولید مواد حجیم، با اندازه دانه زیر ۱ میکرون می باشد.

از جمله فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک شدید، می توان به فرآیند فشار تحت کانال زاویه ای با مقاطع یکسان (ECAP)⁶، فرآیند پیچش تحت فشار بالا (HPT)⁷، فرآیند اکستروژن و فشار سیکلی (CEC)⁸، و فرآیند نورد پیوند تجمعی (ARB)⁹ اشاره کرد که برخی از این فرآیندها در بخش های بعد به صورت مختصر توضیح داده می

¹ UltraFine-Grained

² Bottom-Up

³ Top-Down

⁴ Sever Plastic Deformation

⁵ Thermomechanical

⁶ Equal Channel Angular Pressing

⁷ High Pressure Torsion

⁸ Cyclic Extrusion Compression

⁹ Accumulative Roll Bonding

شود. فرآیند اتصال نورد تجمعی (ARB) یکی از فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک شدید می‌باشد که به وسیله تسوجی و سیتو^۱ در سال ۱۹۹۸ برای ساخت مواد حجیم ابداع شد [۱].

به طور کلی تغییر فرم های پلاستیک شدید (SPD) مواد فلزی، منجر به شکل گیری میکروساختارهای فوق العاده ریزدانه (UFG) با اندازه دانه متوسط زیر ۱ میکرومتر می‌شود. در میان روش های متفاوت تغییر فرم پلاستیک شدید که در دهه های گذشته مطرح شده اند، اتصال نورد تجمعی (ARB) بیشترین فرآیند انجام شده برای تولید ورق فلزات UFG می‌باشد.

فرآیند ARB می‌تواند به آسانی توسط غلتک های نورد استاندارد انجام پذیرد. پشته سازی تکراری و فرآیند نورد امکان تولید موادی با خواص مناسب را با ایجاد لایه های ساندویچ مانند ویا ایجاد فازهای تقویت کننده نظیر فیبرها، ورق های نازک و ذرات ایجاد می‌کند [۲].

در سالهای اخیر کامپوزیت های فلزی چند لایه به علت خواص مکانیکی و الکتریکی و مغناطیسی برجسته مورد توجه زیادی واقع شده اند. همچنین مطابق با پیشرفت های سریع در صنایع الکترونیک، تقاضای بی سابقه زیادی برای داشتن مواد با استحکام بالا و هدایت الکتریکی بالا وجود دارد. آلیاژهای مس گسترده ترین دسته از موادی هستند که در این موارد استفاده می‌شوند [۳].

در مورد کامپوزیت های زمینه آلومینیومی پژوهش هایی مبنی بر اینکه کاربید سیلیسیوم (SiC) میتواند، این کامپوزیت هارا تقویت کند، وجود دارد که این مواد تولید شده به عنوان مواد امیدبخشی در زمینه تکنولوژی های پیشرفته می‌باشند و این به علت استحکام مخصوص و سفتی مناسب، خواص عالی در دمای بالا، و مقاومت سایشی عالی آنها می‌باشد.

به هر حال در روش های تولید معمول این کامپوزیت ها خیس شدن ضعیف و محدودیت واکنش شیمیایی بین SiC و آلومینیوم مذاب یکی از اساسی ترین موانع برای تهیه این گونه مواد است.

بنابراین به نظر میرسد که لازم است تا یک لایه میانجی بین سطح SiC و زمینه فلزی جهت بهبود خواص چسبندگی دوطرف وجود داشته باشد. در نتیجه لایه های فلزاتی نظیر مس که می‌توانند سطح SiC را احاطه کنند، برای بهبود خیس شدگی در تولید این کامپوزیت ها بکار می‌روند [۴].

¹ . Tsuji and Saito

درمورد مس نیز باید گفت که یکی از پرکاربردترین و پرمصرفترین فلزات صنعتی برای کاربردهای متفاوت گرمایی و الکترونیکی است که این به علت هدایت خوب گرمایی و الکتریکی، شکل پذیری بالا و مقاومت عالی به خوردگی و اکسیداسیون آن می باشد [۵].

ایده کلی برای افزودن ذرات به کامپوزیت ها جهت مستحکم کردن و تقویت آنها می باشد. خواص مکانیکی و سایشی این کامپوزیت های تقویت شده با ذرات می تواند به صورت قابل توجهی نسبت به فاز زمینه بهبود یابد [۶].

کاربید سیلیسیوم نیز می تواند به عنوان ماده ای کاربردی و مناسب به علت هدایت حرارتی خوب، هدایت الکتریکی، پایداری شیمیایی، استحکام مکانیکی بالا، و اصطکاک پایین آن در تقویت کامپوزیت ها بکارگرفته شود. ذرات SiC دارای اهمیت تکنولوژیکی زیادی هستند و کاربردهای گسترده ای به عنوان تقویت کننده در صنعت دارند. درسالهای اخیر نیز SiC کاربردهای جدیدی در صنعت الکترونیک به دلیل خواص عالی و تنظیم پذیر عایق آن پیدا کرده است [۷].

در میان شکل های مختلف تقویت کننده ها، کامپوزیت های تقویت شده با ذرات که دارای خواص مکانیکی نسبتاً بهتری در مقایسه با کامپوزیت های تقویت شده با الیاف کوتاه یا ویسکرزها هستند، پیشنهاد می شوند و می توانند توسط روش های معمولی تولید فلزات با قیمت کم نیز تولید شوند.

در طول دوده گذشته مطالعات زیادی برای آشکار کردن مکانیزم استحکام دهی کامپوزیت های زمینه فلزی انجام شده است. به صورت کلی عوامل مستحکم شدن در کامپوزیت ها به دو دسته عوامل مستقیم و غیر مستقیم تقسیم بندی می شوند. در مورد عوامل مستقیم می توان گفت که مستحکم شدن با انتقال نیرو از زمینه ضعیف به تقویت کننده های سخت در طول تغییر فرم، بدست می آید در حالیکه مستحکم شدن توسط عوامل غیرمستقیم با تغییر میکروساختار های فاز زمینه در کامپوزیت ها با اضافه شدن تقویت کننده ها نتیجه می شود [۸].

در این پژوهش هدف تولید کامپوزیت زمینه فلزی Al/Cu تقویت شده با ذرات SiC با اندازه نانو، توسط روش اتصال نورد تجمعی (ARB) می باشد. بدین منظور نمونه ها تحت ۷ سیکل فرآیند ARB قرار گرفتند و بعد از تهیه نمونه های آزمایشی، خواص متالورژیکی و مکانیکی نمونه ها توسط میکروسکوپ نوری و الکترونی، و آزمایشات خواص مکانیکی و میکروسختی و ... ارزیابی شدند.

در ادامه به مباحثی در مورد فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک شدید و بالاحص فرآیند ARB و پارامترهای مربوط به آن و در نهایت به شرح کار انجام شده در این پایان نامه می پردازیم.

فصل اول

فرآیندهای تغییر فرم پلاستیک شدید

یکی از مهمترین اهداف در حمل و نقل ، مخصوصا در صنعت اتومبیل سازی ، کم کردن از وزن محصولات تولیدی می باشد . به علاوه در وسایل مدرن امروزی ، امنیت و راحتی وسیله نقلیه نیز اهمیت زیادی دارد .

اجزایی نظیر سیستم های تهویه مطبوع و یا اجزای الکترونیکی از جمله خواسته های مشتریان می باشد و همچنین با توجه به مسائل روز دنیا در زمینه انرژی ، بحث کاهش وزن در وسیله نقلیه نیز امروزه مورد نظر تولید کنندگان و خریداران است . بنابراین هدف در زمینه کاهش وزن کلی بدنه وسیله نقلیه ، با بکاربردن مواد سبک تر و یا ورقه های فلزی نازک تر ، همزمان با حفظ و بهبود استحکام در تولید آن است .

در این زمینه آلیاژهای آلومینیوم خواص و مزایای فراوانی دارند که آنها را جز گروه مواد پرکاربرد تکنولوژیکی قرار می دهد. آنها دانسیته پایین ، چقرمگی و شکل پذیری عالی ؛ به همراه استحکام مناسب و مقاومت به خوردگی خوب دارند . داشتن دانسیته $2/8$ گرم بر سانتیمتر مکعب که یک سوم فولاد است نیز از جمله مزایای آلومینیوم و آلیاژهای آن محسوب می شود .

آلیاژهای آلومینیوم نقش مهمی را در صنعت اتومبیل سازی و یا به طور کلی در صنعت حمل و نقل بازی می کنند و بسته به طراحی اجزا بین 30 تا 50 درصد کاهش وزن را در مقایسه با اجزایی که از فولاد ساخته می شوند دارند [۹].

در سالهای اخیر کامپوزیت های فلزی چند لایه به علت خواص مکانیکی ، الکتریکی و مغناطیسی برجسته در کانون توجه بوده اند . اخیرا تولید و توسعه کامپوزیت های چند لایه ، به وسیله فرآیند های شکل دهی مانند نورد و پرس تکرار شونده^۱ و تا کردن و نورد تکرار شونده^۲ مورد تجربه واقع شده اند تا از مزایای اقتصادی فرآیندهای شکل دهی ، همانند توانایی تولید انبوه ، بهره برداری شود [۱۰].

1. repeated press and rolling
2. repeated folding and rolling

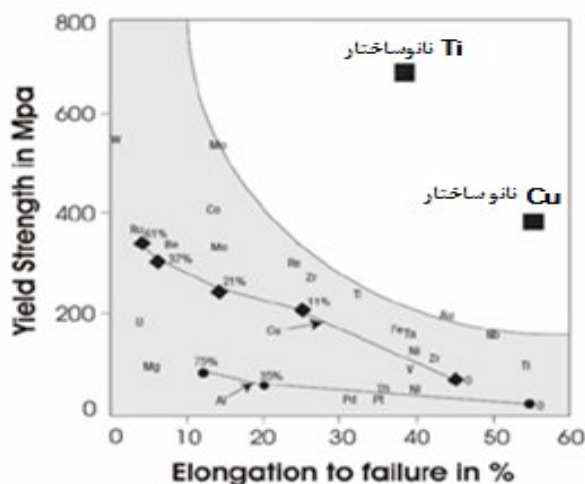
توجه روز افزون به ورق های آلومینیوم و دیگر فلزات و کامپوزیت های فوق العاده ریز دانه ، به جهت پتانسیل کارآمد مهندسی آنها است . به علاوه مواد فوق العاده ریز دانه همچنین حساس به نرخ کرنش اند و می توانند رفتار سوپر پلاستیک را از خود نشان دهند.

پس از درک اهمیت موضوع تولید و استفاده از مواد فوق العاده ریز دانه ، به بحث تغییر فرم های پلاستیک شدید که باعث ایجاد ساختارهای UFG می شود، می پردازیم.

۱-۱ تغییر فرم های پلاستیک شدید : (SPD)

مواد با ساختار فوق العاده ریز دانه UFG (با داشتن اندازه دانه متوسط بین ۱۰۰ نانومتر تا ۱ میکرومتر) ، توجه دانشمندان را در سالهای اخیر به خود جلب کرده اند .

نشان داده شده است که ساختارهای UFG توسط تغییر فرم های پلاستیک شدید ، یعنی روشهایی نظیر پیچش فشاری (HPT) ، پرس زاویه ای با کانال های یکسان (ECAP) ، اتصال نورد تجمعی (ARB) و ... می توانند حاصل شوند. در طول دهه گذشته مواد فوق العاده ریز دانه (UFG) و نانو کریستال مورد توجه زیادی قرار گرفته اند، که این به علت خواص مکانیکی عالی آن ها شامل استحکام و چقرمگی مناسب در مقایسه با مواد با اندازه دانه معمولی می باشد که در شکل ۱-۱ می توانید این مقایسه را مشاهده نمایید .



شکل ۱-۱ استحکام و چقرمگی فلزات نانو ساختار در مقایسه با فلزات با اندازه دانه معمولی [۱۱]

در فرآیندهای تغییر فرم پلاستیک شدید، به دلیل آن که بدون تغییر در ابعاد ، ماده می تواند بارها تحت فرآیند تغییر شکل قرار گیرد، مقدار کرنش بالایی را می توان به ماده اعمال نمود. تحقیقات نشان داده است که علاوه بر تولید