

دانشگاه یزد

دانشکده مهندسی معدن و متالورژی

گروه مهندسی مواد و متالورژی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مواد- انتخاب و شناسایی مواد

مشخصه یابی نانو کامپوزیت سطحی آلومینیوم-نانو لوله های کربنی
تولید شده به روش اصطکاکی اغتشاشی

استاتید راهنما

دکتر مسعود مصلاهی پور

دکتر صادق قاسمی

استاد مشاور

دکتر علیرضا مشرقی

پژوهش و نگارش

المیرا منتظرالظهور

چکیده

در این پژوهش نانولوله‌های کربنی (CNT) در زمینه‌ی آلومینیوم ۱۲۰۰ (AA 1200) با استفاده از فرآیند اصطکاکی اغتشاشی (FSP) توزیع و خصوصیات کامپوزیت ایجاد شده مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور درصدهای حجمی مختلف نانولوله‌های کربنی در محلول PVA با کمک امواج اولتراسونیک پخش شده و درون شیاری روی سطح آلومینیوم قرار داده شد. سپس با استفاده از فرآیند FSP نانوذرات CNT در زمینه پخش شد. سرعت چرخشی و پیشروی به ترتیب ۱۶۰۰ rpm و ۲۵ mm/min انتخاب شدند. بار دیگر با انتخاب CNT ۱۰ vol.% به عنوان مقدار بهینه، و سرعت‌های چرخشی و پیشروی ۱۲۰۰ rpm و ۲۰ mm/min نمونه‌ها مورد ۱، ۲، ۳ و ۴ پاس FSP قرار گرفتند. ابزار مورد استفاده در هر دو آزمایش پین استوانه‌ای رزوه شده با شانه به قطر ۱۵mm و پین به ارتفاع و قطر ۳ و ۵ میلی‌متر می‌باشد. نمونه‌های متالوگرافی در مقطع عمود بر راستای FSP برش زده شد و توسط عملیات الکتروپولیش و حکاکی با محلول Keller آماده سازی گردید. مطالعات ریزساختاری به کمک میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی SEM حاکی از اصلاح دانه بندی و توزیع نسبتاً یکنواخت CNT در لایه‌ی سطحی بود. این مطالعات نشان داد که با افزایش مقدار CNT در کامپوزیت سطحی ایجاد شده، اندازه‌ی دانه در منطقه اغتشاش کاهش می‌یابد (از $30 \pm 5 \mu\text{m}$ در فلز پایه به $11 \pm 2 \mu\text{m}$ در منطقه اغتشاش). افزایش ۷۰ درصدی سختی لایه‌ی FSP شده نشان می‌دهد که دانه‌ها نسبت به فلز پایه کوچک‌تر شده و تکرار پاس‌های FSP منجر به توزیع یکنواخت CNT در زمینه شده است. آزمون خوردگی پتانسیودینامیک نشان داد که با افزایش درصد حجمی CNT، مقاومت به خوردگی کاهش می‌یابد درحالی‌که با افزایش تکرار پاس‌ها مقاومت به خوردگی افزایش می‌یابد. بررسی رفتار سایشی دلالت بر بهبود قابل ملاحظه‌ی خواص سایشی نمونه‌های کامپوزیت سطحی شده با استفاده از نانوذرات CNT در مقایسه با AA 1200 دارد.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	فصل اول: مقدمه
۷	فصل دوم: مروری بر منابع
۹	۱-۲ مقدمه
۹	۲-۲ پارامترهای موثر بر FSP
۹	۱-۲-۲ هندسه‌ی ابزار و جنس آن
۱۳	۲-۲-۲ عمق نفوذ و زاویه‌ی انحراف
۱۵	۳-۲-۲ سرعت های چرخشی و پیشروی
۱۷	۳-۲ تکرار پاس‌ها
۲۱	۴-۲ تحولات ریزساختاری
۲۳	۵-۲ شکل منطقه‌ی هم زده شده (NZ)
۲۳	۶-۲ اندازه‌ی دانه
۲۸	۷-۲ تبلور مجدد
۲۹	۸-۲ توسعه‌ی FSP و کاربردهای آن
۲۹	۱-۸-۲ اصلاح ریزساختار
۳۱	۲-۸-۲ کامپوزیت سازی سطحی
۳۹	۹-۲ کامپوزیت سازی با نانولوله‌های کربنی
۴۲	۱-۹-۲ آلومینیوم و آلیاژهای آن
۴۴	۱۰-۲ مقاومت به خوردگی آلیاژهای آلومینیوم

۴۸.....	۱۱-۲ مقاومت به سایش.....
۵۲.....	۱۲-۲ نانو لوله‌های کربنی.....
۵۳.....	۱-۱۲-۲ انواع نانولوله‌های کربنی.....
۵۵.....	فصل سوم: روش تحقیق.....
۵۷.....	۱-۳ مقدمه.....
۵۷.....	۲-۳ مواد اولیه و آماده سازی نمونه‌ها.....
۵۹.....	۳-۳ فرآیند FSP.....
۶۱.....	۴-۳ متالوگرافی، بررسی‌های ریزساختاری و میکروسختی.....
۶۲.....	۵-۳ آزمون خوردگی پتانسیودینامیک.....
۶۲.....	۶-۳ آزمون سایش.....
۶۵.....	فصل چهارم: نتایج و بحث.....
۶۶.....	۱-۴ مقدمه.....
۶۷.....	۲-۴ بررسی‌های ریزساختاری.....
۶۷.....	۱-۲-۴ ریزساختار و اندازه‌ی دانه.....
۷۸.....	۲-۲-۴ ضخامت لایه‌ی FSP شده.....
۷۹.....	۳-۴ میکروسختی.....
۸۴.....	۴-۴ آزمون پتانسیودینامیک.....
۸۷.....	۵-۴ تست سایش.....
۸۷.....	۱-۵-۴ کاهش وزن و ضریب اصطکاک.....
۹۶.....	۲-۵-۴ بررسی مکانیزم سایش و تصاویر نوری و SEM.....

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۱

۱-۵ نتیجه‌گیری ۱۰۳

۲-۵ پیشنهادات ۱۰۴

مراجع ۱۰۵

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ ترکیب شیمیایی فولاد H13 مورد استفاده در ابزار FSP ۱۲
- جدول ۲-۲ تأثیر سرعت چرخشی و پیشروی بر توزیع سختی ۱۷
- جدول ۳-۲ پارامترهای تجربی در تحقیق رئیس و همکارانش ۲۰
- جدول ۴-۲ خلاصه‌ی اندازه‌ی دانه در SZ آلیاژهای آلومینیوم FSP شده ۲۴
- جدول ۵-۲: تأثیر پارامترهای فرآیند بر شکل گیری کامپوزیت سطحی Al- SiC 5083 با سرعت چرخشی ۳۰۰rpm و پین به ارتفاع ۱mm ۳۳
- جدول ۶-۲: ریز سختی کامپوزیت‌های سطحی Al-SiC و زیرلایه‌های آلومینیومی ۳۴
- جدول ۷-۲: خواص مکانیکی آلیاژ A356 ، نمونه‌ی FSP شده (بدون Al_2O_3) و کامپوزیت شده با تکنیک نانوفرو رونده ۳۷
- جدول ۸-۲: دسته‌بندی آلیاژهای کارشده‌ی آلومینیوم ۴۴
- جدول ۱-۳: آنالیز کوانتومتری ورق آلومینیوم مورد استفاده ۵۷
- جدول ۱-۴: عدد اندازه‌ی دانه در BM و NZ برای نمونه‌های ۱ پاس با مقادیر مختلف CNT ۷۱
- جدول ۲-۴: عدد اندازه‌ی دانه در NZ و BM برای نمونه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ پاسه با 10vol.% CNT ۷۵
- جدول ۳-۴: اختلاف اندازه‌ی دانه در بالا و پایین NZ برای نمونه‌های مختلف ۷۷
- جدول ۴-۴: ضخامت لایه‌ی FSP شده برای نمونه‌های ۱ پاس FSP شده حاوی مقادیر مختلف CNT ۷۸
- جدول ۵-۴: بیشینه‌ی سختی برای نمونه‌های FSP شده با درصد‌های حجمی مختلف CNT و فلز پایه. ۸۱
- جدول ۶-۴: بیشینه‌ی سختی برای نمونه‌های FSP شده با 10vol.% CNT با تعداد پاس‌های مختلف ۸۲

- جدول ۴-۷: توزیع عمودی سختی در مرکز NZ برای نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف CNT
 ۸۳
- جدول ۴-۸: مقادیر پتانسیل و چگالی جریان خوردگی برای نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف CNT
 ۸۵
- جدول ۴-۹: مقادیر پتانسیل و چگالی جریان خوردگی برای نمونه‌های حاوی
 ۱۰ vol.% CNT که مورد یک، دو، سه و چهار پاس FSP واقع شده‌اند. ۸۶.....
- جدول ۴-۱۰: مقادیر کاهش جرم نسبی برای نمونه‌ی FSP شده بدون CNT ۸۸
- جدول ۴-۱۱: مقادیر کاهش جرم نسبی برای نمونه‌ی FSP شده برای نمونه‌ی حاوی
 ۴ vol.% CNT ۸۸
- جدول ۴-۱۲: مقادیر کاهش جرم نسبی برای نمونه‌ی FSP شده برای نمونه‌ی حاوی
 ۱۰ vol.% CNT ۸۹
- جدول ۴-۱۳: مقادیر کاهش جرم نسبی برای نمونه‌ی FSP شده برای نمونه‌ی حاوی
 ۱۲ vol.% CNT ۸۹
- جدول ۴-۱۴: مقادیر کاهش جرم نسبی برای نمونه‌ی FSP شده برای نمونه‌ی حاوی
 ۱۸ vol.% CNT ۸۹
- جدول ۴-۱۵: ضریب اصطکاک برای فلز پایه و نمونه‌های FSP شده با مقادیر مختلف CNT
 ۹۱
- جدول ۴-۱۶: مقادیر کاهش جرم نسبی برای نمونه‌ی یک پاس FSP شده حاوی
 ۱۰ vol.% CNT ۹۳
- جدول ۴-۱۷: مقادیر کاهش جرم نسبی برای نمونه‌ی دو پاس FSP شده حاوی
 ۱۰ vol.% CNT ۹۳
- جدول ۴-۱۸: مقادیر کاهش جرم نسبی برای نمونه‌ی سه پاس FSP شده حاوی
 ۱۰ vol.% CNT ۹۳

جدول ۴-۱۹: مقادیر کاهش جرم نسبی برای نمونه‌ی چهار پاس FSP شده حاوی

۱۰ vol.% CNT ۹۴

جدول ۴-۲۰: ضریب اصطکاک برای نمونه‌های حاوی ۱۰ vol.% CNT که مورد یک، دو، سه

و ۹۵

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ طرح شماتیک از فرآیند اصطکاکی اغتشاشی..... ۳
- شکل ۱-۲ طرح شماتیک از ابزار FSP ۱۱
- شکل ۲-۲ تصویر شماتیک از ابزار بدون پین ۱۱
- شکل ۳-۲ تصویر شماتیک از ابزار طراحی با طراحی ویژه ۱۲
- شکل ۴-۲ پین مورد استفاده‌ی کارتیکیان و همکارانش ۱۳
- شکل ۵-۲ شماتیک زاویه‌ی انحراف ابزار..... ۱۴
- شکل ۶-۲ تأثیر سرعت پیشروی بر ریزساختار نمونه‌ی FSP شده بدون ذرات SiC با $w=500$ rpm ۱۵
- شکل ۷-۲ تأثیر سرعت چرخشی بر ریزساختار نمونه‌ی FSP شده بدون ذرات SiC با $v=20$ mm/min ۱۶
- شکل ۸-۲ تأثیر سرعت پیشروی بر ریزساختار نمونه‌ی FSP شده با ذرات SiC با $w=500$ rpm ۱۶
- شکل ۹-۲ تأثیر سرعت چرخشی بر ریزساختار نمونه‌ی FSP شده با ذرات SiC با $v=20$ mm/min ۱۶
- شکل ۱۰-۲ تصویر سطح قطعه‌ی FSP شده (الف) در جهت AS و (ب) در جهت RS ۱۹
- شکل ۱۱-۲ درشت نگار مقطع FSP شده با چند پاس روی هم افتاده (الف) در جهت AS و (ب) در جهت RS ۱۹
- شکل ۱۲-۲ توزیع سختی لایه‌ی FSP شده با چند پاس در جهت AS ۱۹
- شکل ۱۳-۲ توزیع سختی لایه‌ی FSP شده با چند پاس در جهت RS ۲۰
- شکل ۱۴-۲ نمونه‌ی FSP شده با ۳ پاس کاملاً روی هم افتاده ۲۱
- شکل ۱۵-۲ درشت نگار از منطقه‌ی FSP شده در آلیاژ 7075-T651 با پین استاندارد رزوه شده، 400 rpm، 51 mm/min ۲۲

- شکل ۱۶-۲ تأثیر پارامتر فرآیند روی شکل NZ در FSP روی A356 : (الف) , $w = 300 \text{ rpm}$,
 (ب) $v = 51 \text{ mm/min}$, $v = 203 \text{ mm/min}$, $w = 900 \text{ rpm}$ پین استاندارد رزوه شده
 ۲۳.....
- شکل ۱۷-۲ تأثیر پارامترهای FSP بر اندازه‌ی دانه در NZ در آلیاژ آلومینیوم -Al7075-
 T7651 ۲۷
- شکل ۱۸-۲ توزیع اندازه‌ی دانه در مناطق مختلف Al7050 در NZ ۲۷
- شکل ۱۹-۲: تصویر نوری از ریزساختار A356 بعد از FSP (پین رزوه شده‌ی استاندارد،
 900 rpm و 203 mm/min) ۳۱
- شکل ۲۰-۲: شماتیک کامپوزیت‌سازی سطحی به روش FSP ۳۲
- شکل ۲۱-۲: درشت نگار نوری که کامپوزیت سطحی روی زیرلایه‌ی Al 5083 با سرعت
 چرخشی 300 rpm را با سرعت پیشروی (الف) $25/4 \text{ mm/min}$ و (ب) $10/6 \text{ mm/min}$
 نشان می‌دهد ۳۴
- شکل ۲۲-۲: مورفولوژی (الف) براده‌های A356 (ب) میکرو ذرات آلومینا و ۳۶
- شکل ۲۳-۲: توزیع سختی در مقطع FSP شده‌ی A356 بدون آلومینا و کامپوزیت شده ۳۶
- شکل ۲۴-۲: تصویر SEM از (الف) A356-micro Al₂O₃ (ب) A356-nano Al₂O₃ (ج) و
 ۳۷
- شکل ۲۵-۲: تصویر SEM از نانولوله‌های کربنی استفاده شده ۳۹
- شکل ۲۶-۲: تصاویر SEM نانو کامپوزیت سطحی MWCNT/AZ31. شکل‌های سمت راست
 بزرگنمایی منطقه‌ی داخل دایره در شکل‌های سمت چپ هستند. سرعت پیشروی از شکل
 بالا تا پایین به ترتیب 25 mm/min ، 50 و 100 و سرعت چرخشی 1500 rpm می‌باشد
 ۴۰
- شکل ۲۷-۲: تصویر SEM از MWCNT استفاده شده به عنوان فاز تقویت کننده ۴۱
- شکل ۲۸-۲: تصویر نوری از مناطق مختلف کامپوزیت Al/CNT : (الف) فلز پایه، (ب)

- منطقه‌ی هم‌زده‌شده، (ج) منطقه‌ی تغییر شکل ناشی از شانه و (د) منطقه‌ی ترمومکانیکال
- ۴۲
- شکل ۲-۲۹: شماتیک تشکیل حفره. ۴۶
- شکل ۲-۳۰: منحنی‌های پلاریزاسیون برای نمونه‌های SS، MS و FS به همراه BM. ۴۷
- شکل ۲-۳۱: ضریب اصطکاک برای BM (a) و NZ (b). ۵۱
- شکل ۲-۳۲: کاهش وزن نمونه‌ها به عنوان تابعی از مسافت برای BM و NZ. ۵۲
- شکل ۰-۳۳: تصویر TEM از نانولوله‌ی کربنی تک دیواره. ۵۲
- شکل ۲-۳۴: طرح سه نوع نانولوله‌ی کربنی تک دیواره. ۵۴
- شکل ۲-۳۵: تصویر SEM از دسته‌ای از نانولوله‌های کربنی. ۵۴
- شکل ۳-۱: تصویر SEM از نانو لوله‌های استفاده شده. ۵۸
- شکل ۳-۲: دستگاه اولتراسونیک و نانو لوله‌های پخش شده در محلول PVA. ۵۹
- شکل ۳-۳: ماشین فرز مورد استفاده در این پژوهش. ۵۹
- شکل ۳-۴: نمای نزدیک ابزار در حال چرخش و پیشروی روی قطعه کار. ۶۰
- شکل ۳-۵: ابزار مورد استفاده با شانه به قطر ۱۵mm و پین به ارتفاع و قطر ۳mm و ۵mm. ۶۰
- شکل ۳-۶: دستگاه خوردگی برای تست پتانسیواستات. ۶۲
- شکل ۳-۷: دستگاه سایش با قابلیت انجام تست سایش پین روی دیسک و سایش رفت و برگشتی. ۶۳
- شکل ۴-۱: نمونه‌ی FSP شده با یک پاس و ۱۰vol.% CNT به وسیله‌ی پین استوانه‌ای رزوه‌دار و سرعت چرخشی و پیشروی ۱۶۰۰rpm و ۲۵mm/min. ۶۸
- شکل ۴-۲: تصویر ماکروسکوپی از ناحیه‌ی اصلاح سطحی شده توسط فرآیند FSP. ۶۹
- شکل ۴-۳: تفاوت در اندازه‌ی دانه بین NZ و TMAZ برای نمونه‌ی یک پاس FSP شده بدون افزودن CNT. ۶۹

شکل ۴-۰: حلقه‌های پیازی و تمایز رنگ آن با زمینه. ۷۰.....

شکل ۵-۴: دانه‌بندی در (الف) فلز پایه، (ب) NZ در نمونه‌ی حاوی CNT ۴vol.%, (ج) NZ در نمونه‌ی حاوی CNT ۱۰vol.%, (د) NZ در نمونه‌ی حاوی CNT ۱۸vol.%, ۷۲.....

شکل ۶-۴: تصویر SEM از (الف) فلز پایه و (ب) NZ با ۱ پاس FSP بدون CNT. ۷۳.....

شکل ۷-۴: تصویر SEM از نمونه‌ی حاوی CNT ۱۸vol.% که مورد یک پاس FSP واقع شده است. ۷۳.....

شکل ۸-۴: تصویر نوری از NZ برای نمونه‌های حاوی CNT ۱۰vol.% که مورد (الف) سه و (ب) چهار پاس FSP واقع شده‌اند. ۷۴.....

شکل ۹-۴: تصویر SEM از نمونه‌های حاوی CNT ۱۰vol.% که مورد یک (الف) و چهار پاس (ب) FSP با سرعت‌های چرخشی و پیشروی ۱۲۰۰ rpm و ۲۰mm/min واقع شده‌اند. ۷۶.....

شکل ۱۰-۴: اختلاف اندازه‌ی دانه در (الف) پایین و (ب) بالای NZ برای نمونه‌ی حاوی CNT ۱۰vol.% که یک پاس FSP شده است. ۷۷.....

شکل ۱۱-۴: ضخامت لایه‌ی FSP شده در نمونه‌ی (الف) ۴vol.% و (ب) CNT ۱۸vol.% دارد. ۷۹.....

شکل ۱۲-۴: توزیع سختی برای نمونه‌های یک پاسه که بدون CNT و حاوی CNT ۴vol.% ، CNT ۱۰vol.% و CNT ۱۸vol.% می‌باشند و مورد یک پاس FSP با سرعت چرخشی و پیشروی ۱۶۰۰rpm و ۲۵mm/min قرار گرفته‌اند. ۸۰.....

شکل ۱۳-۴: توزیع سختی برای نمونه‌های حاوی CNT ۱۰vol.% که مورد یک، دو، سه و چهار پاس FSP با سرعت‌های چرخشی و پیشروی ۱۲۰۰ rpm و ۲۰mm/min واقع شده‌اند. ۸۲.....

شکل ۱۴-۴: تصویر نوری از محل برخورد فرورنده در بزرگنمایی ۴۰۰x. ۸۳.....

شکل ۱۵-۴: منحنی‌های پلاریزاسیون برای نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف CNT که مورد

یک پاس FSP با سرعت چرخشی و پیشروی ۱۶۰۰rpm و ۲۵mm/min قرار گرفته‌اند. ۸۵

شکل ۴-۱۶: منحنی‌های پلاریزاسیون برای نمونه‌های حاوی ۱۰vol.% CNT که مورد یک، دو، سه و چهار پاس FSP با سرعت‌های چرخشی و پیشروی ۱۲۰۰ rpm و ۲۰mm/min واقع شده‌اند. ۸۶

شکل ۴-۱۷: منحنی کاهش وزن برای نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف CNT که مورد یک پاس FSP با سرعت چرخشی و پیشروی ۱۶۰۰rpm و ۲۵mm/min قرار گرفته‌اند. ۸۸

شکل ۴-۱۸: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت برای نمونه‌ی بدون CNT که یک پاس FSP شده است. ۹۰

شکل ۴-۱۹: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت سایش برای نمونه‌ی حاوی ۴vol.% CNT که ۹۰

شکل ۴-۲۰: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت سایش برای نمونه‌ی حاوی ۱۰vol.% CNT که ۹۰

شکل ۴-۲۱: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت سایش برای نمونه‌ی حاوی ۱۲vol.% CNT که ۹۱

شکل ۴-۲۲: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت سایش برای نمونه‌ی حاوی ۱۸vol.% CNT که ۹۱

شکل ۴-۲۳: منحنی کاهش وزن برای نمونه‌های حاوی ۱۰vol.% CNT که مورد یک، دو، سه و چهار پاس FSP با سرعت‌های چرخشی و پیشروی ۱۲۰۰ rpm و ۲۰mm/min واقع شده‌اند. ۹۲

شکل ۴-۲۴: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت سایش برای نمونه‌ی حاوی ۱۰vol.% CNT که ۹۴

شکل ۴-۲۵: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت سایش برای نمونه‌ی حاوی ۱۰vol.% CNT که ۹۵

شکل ۴-۲۶: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت سایش برای نمونه‌ی حاوی

۱۰vol.% CNT که ۹۵

شکل ۴-۲۷: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت سایش برای نمونه‌ی حاوی

۱۰vol.% CNT که ۹۵

شکل ۴-۲۸: مسیر سایش در دو بزرگنمایی (الف) و (ب) برای نمونه‌ی حاوی ۱۰vol.%

CNT که مورد یک پاس FSP با سرعت چرخشی و پیشروی ۱۲۰۰rpm و ۲۰mm/min

قرار گرفته‌است. ۹۶

شکل ۴-۲۹: سطح سایش نمونه‌ای که حاوی ۱۰vol.% CNT است و مورد چهار پاس FSP

با سرعت چرخشی و پیشروی ۱۶۰۰rpm و ۲۵mm/min قرار گرفته‌است. ۹۷

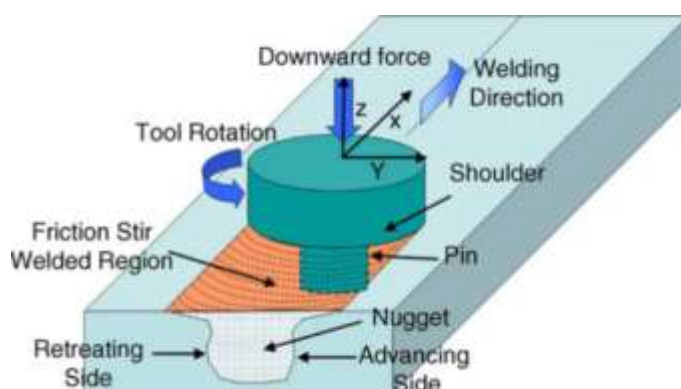
شکل ۴-۳۰: تصویر SEM از سطح سایش برای نمونه‌ی حاوی (الف) ۴vol.% ۹۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی (FSW) برای اولین بار در موسسه جوشکاری انگلستان^۱ (TWI) در سال ۱۹۹۱ میلادی به عنوان تکنیک جوشکاری در حالت جامد ابداع شد و برای آلیاژهای آلومینیوم به کار رفت [۱]. اخیراً فرآیند اصطکاکی اغتشاشی (FSP) به عنوان ابزاری برای اصلاح ریزساختار بر پایه‌ی FSW توسط میشرها و همکارانش [۲ و ۳] توسعه یافته است. ایده‌ی اصلی FSP بسیار ساده است. یک ابزار چرخان مصرف نشدنی با پین و شانه‌ی طراحی شده داخل قطعه‌ی مورد نظر فرو می‌رود و در طول مسیری پیشروی می‌کند. ابزار دو وظیفه بر عهده دارد: یکی گرم کردن قطعه کار و دیگری جابجایی ماده. گرما به وسیله‌ی اصطکاک بین ابزار و قطعه کار و تغییر فرم پلاستیک ماده ایجاد می‌شود. گرم شدن موضعی، ماده‌ی اطراف پین را نرم می‌کند و با حرکت چرخشی و پیش‌رونده‌ی آن، ماده از جلو به عقب پین رانده می‌شود. شماتیک این فرآیند در شکل ۱-۱ آورده شده است. به دلیل طراحی‌های مختلف برای هندسه‌ی ابزار، جابجایی ماده اطراف پین کاملاً پیچیده است [۱]. در طول FSP ماده تحت تغییر فرم پلاستیک شدید در دمای بالا قرار می‌گیرد که منجر به تولید دانه‌های ریز و هم محور تبلور مجدد یافته می‌شود [۴]. این ساختار دانه ریز باعث ایجاد خواص مکانیکی بسیار خوب می‌گردد.



شکل ۱-۱ طرح شماتیک از فرآیند اصطکاکی اغتشاشی [۱].

تقاضای روزافزون برای کاربرد آلیاژهای آلومینیوم در صنایع هوافضا و خودروسازی به علت خواص ویژه از جمله استحکام بالا، وزن پایین، شکل‌پذیری خوب و ... آن را به آلیاژی استراتژیک تبدیل کرده است. از طرفی با گذشت زمان FSP کاربرد بیشتری برای این دسته از آلیاژها پیدا کرده است، از قبیل کامپوزیت سازی سطحی روی آلومینیوم [۵]، همگن سازی آلیاژهای آلومینیوم تولید شده به روش متالورژی پودر [۶]، بهسازی مقاومت به سایش آلیاژهای آلومینیوم [۷-۹] و بهبود خواص آلیاژهای ریختگی آلومینیوم [۳]. همچنین تولید آلیاژهای آلومینیوم بسیار دانه ریز^۱ (UFG) با سرد کردن نمونه‌های تحت FSP در آب نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مطلوبی حاصل شده است [۱۰].

در این میان کامپوزیت سازی سطحی به کمک FSP مورد توجه فراوان قرار گرفته و تحقیقات فراوانی روی آن انجام گرفته است. استفاده از ذرات فاز ثانویه در سطح موجب می‌شود تا ضمن حفظ خواص توده‌ی ماده، خواص سطحی از جمله سختی و مقاومت به سایش افزایش یابد [۱۱ و ۱۲]. تأثیر افزودن فاز دوم به زمینه در غالب کامپوزیت سازی سطحی، ایجاد مانع^۲ بر سر راه رشد دانه‌ها در حین تبلور مجدد در FSP است. طی تحقیقات انجام شده رابطه‌ی مستقیمی بین اندازه‌ی ذرات فاز دوم و ریزدانه‌ی [۱۳] و در نتیجه بهبود بیشتر خواص سطحی از قبیل سایش، خوردگی و سختی وجود دارد. ذرات Al_2O_3 ، SiC ، Al_3Ti ، TiN ، B_4C ، Si_3N_4 و ... توسط محققین به آلیاژهای مختلف آلومینیوم به روش FSP افزوده شده و کامپوزیت سطحی با خواص برتر نسبت به زمینه‌ی فلزی تولید شده است [۵، ۱۴ و ۱۵].

با این حال گزارش‌های کمی مبنی بر تقویت کامپوزیت‌های زمینه فلزی با نانو لوله‌های کربنی (CNT)^۳ وجود دارد زیرا ایجاد توزیع یکنواخت آنها در فلز بسیار دشوار است. علاوه بر این CNT در حین فرآیند با فلز مذاب واکنش می‌دهد [۱۶]. این درحالیست که CNT به عنوان فاز

^۱Ultrafine grained microstructure

^۲Pinning effect

^۳Carbon Nano Tubes