



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مواد و صنایع

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد - گرایش شکل دهی فلزات

عنوان:

ساخت کامپوزیت لایه‌ای آلومینیوم / روی به روش اتصال نوردی

انباشتی (ARB) و بررسی خواص مکانیکی و تغییرات ریز

ساختاری آن

توسط:

رضا نصیری ده سرخی

استاد راهنما:

دکتر فتح اله قدس

استاد مشاور:

دکتر محمد تجلی

تیر ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بعد از حمد و سپاس خداوند مهربان که هرچه بوده و هست از اوست،
در اینجا لازم است از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های اساتید راهنما و مشاور خود
جناب آقایان دکتر قدس و دکتر تجلی که مرا در انجام این کار یاری کردند، کمال
تقدیر و تشکر را به عمل آورم.

تقدیم به

والاترین نعمات پروردگار،

مظاهر تلاش و فداکاری، پدر و مادر مهربانم.

صفحه	عنوان
۲	فصل ۱
۲	مقدمه
۸	فصل ۲
۸	مروری بر منابع مطالعاتی
۹	۱-۲. معرفی و بررسی برخی از فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک شدید
۱۱	۲-۲. ارتباط تنش تسلیم فلزات پلی کریستال با اندازه دانه
۱۳	۲-۳. فرآیند اتصال نوردی سرد
۱۴	۲-۴. اتصال نوردی انباشتی (ARB)
۱۵	۲-۵. مکانیزم ایجاد اتصال در فرآیند اتصال نوردی
۱۸	۲-۶. بررسی پارامترهای موثر بر کیفیت اتصال در فرآیند اتصال نوردی انباشتی
۱۸	۲-۶-۱. میزان کاهش سطح مقطع آستانه‌ای (r_t)
۱۹	۲-۶-۲. میزان فشار نرمال اعمالی
۱۹	۲-۶-۳. فاکتور شکل (Δ)
۲۰	۲-۶-۴. تأثیر نوع شبکه‌ی کریستالی
۲۱	۲-۶-۵. تأثیر دمای نورد بر استحکام اتصال
۲۱	۲-۶-۶. تأثیر ضخامت اولیه تسمه‌ها بر استحکام اتصال
۲۳	۲-۶-۷. تأثیر سرعت غلطک‌های نورد
۲۴	۲-۶-۸. زمان آنیل کردن
۲۵	۲-۶-۹. دمای آنیل
۲۶	۲-۶-۱۰. میزان سختی
۲۸	۲-۶-۱۱. ضریب اصطکاک
۲۹	۲-۶-۱۲. چگونگی آماده‌سازی سطح
۳۰	۲-۷. بررسی استحکام اتصال در فرآیند اتصال نوردی
۳۱	۲-۸. مروری بر خواص و ویژگی‌های برخی از کامپوزیت‌های لایه‌ای تولیدی به روش اتصال نوردی انباشتی
۳۱	۲-۸-۱. کامپوزیت لایه‌ای آلومینیوم/مس
۳۶	۲-۸-۲. کامپوزیت لایه‌ای آلومینیوم/منیزیم
۳۹	۲-۸-۳. کامپوزیت لایه‌ای آلومینیوم/نیکل
۴۲	۲-۸-۴. کامپوزیت آلومینیوم/آلومینا
۴۵	فصل ۳

۴۵	روش انجام کار
۴۶	۱-۳. مواد مصرفی
۴۶	۲-۳. اتصال نوردی
۴۶	۱-۲-۳. تهیه‌ی ورق‌ها در ابعاد مورد نظر
۴۷	۲-۲-۳. آماده سازی سطحی ورق‌ها
۴۷	۱-۲-۲-۳. سنباده زنی و چربی زدایی
۴۷	۲-۲-۲-۳. برسکاری
۴۸	۳-۲-۳. نحوه‌ی چیدمان ورق‌ها بر روی یکدیگر
۴۸	۴-۲-۳. اتصال مکانیکی ورق‌ها به یکدیگر
۴۹	۵-۲-۳. انجام عملیات پیش گرم قبل از اتصال نوردی
۵۰	۶-۲-۳. انجام عملیات نورد
۵۲	۷-۲-۳. اصلاح ترک‌های لبه‌ای در نمونه‌ها
۵۲	۸-۲-۳. آماده سازی نمونه‌ها و مشاهدات ریز ساختاری
۵۳	۹-۲-۳. آزمون کشش تک محور
۵۴	۱۰-۲-۳. محاسبه‌ی اندازه‌ی دانه‌های فرعی
۵۵	۱۱-۲-۳. ارزیابی چگالی کامپوزیت
۵۶	۱۲-۲-۳. آزمون میکرو سختی ویکرز
۵۶	۱۳-۲-۳. نحوه‌ی پخش ذرات کاربید سیلیسیم در بین لایه‌ها

فصل ۴ ۵۸

بحث و نتایج ۵۸

۶۰	۲-۴. نتایج حاصل از انجام فرآیند اتصال نوردی انباشتی در ساخت کامپوزیت آلومینیوم/روی
۶۰	۱-۲-۴. نتایج مربوط به تغییرات ریز ساختاری
۷۱	۲-۱-۲-۴. تغییرات اندازه دانه‌ی آلومینیوم در طول فرآیند ARB
۷۴	۳-۱-۲-۴. تغییرات اندازه دانه‌ی فرعی یا اندازه‌ی کریستال
۷۶	۲-۲-۴. نتایج حاصل از آنالیز EDX و XRD در فصل مشترک‌ها
۷۸	۳-۲-۴. خواص مکانیکی کامپوزیت
۸۳	۴-۲-۴. بررسی سطح شکست نمونه‌ها
۸۶	۵-۲-۴. چگالی کامپوزیت تولید شده
	۳-۴. نتایج حاصل از انجام فرآیند اتصال نوردی و آنیل پیوسته در ساخت

۸۸.....	کامپوزیت آلومینیوم / روی
۱-۳-۴	نتایج مربوط به تغییرات ریز ساختاری کامپوزیت آلومینیوم/روی تولید شده به روش اتصال نوردی و آنیل پیوسته.....
۸۸.....	۲-۱-۳-۴. تغییرات اندازه دانه های آلومینیوم در طول فرآیند CAR.....
۹۳.....	۲-۳-۴. نتایج حاصل از آنالیز ایدکس (EDX) از فصل مشترک لایه ها.....
۹۴.....	۳-۳-۴. خواص مکانیکی کامپوزیت تولیدی با فرآیند اتصال نوردی و آنیل پیوسته.....
۹۵.....	۴-۳-۴. نتایج مربوط به بررسی سطح شکست نمونه ها.....
۱۰۰.....	۴-۴. استفاده از نانو ذرات کاربید سیلیسیم در ساخت کامپوزیت لایه ای
۱۰۲.....	آلومینیوم/روی به روش اتصال نوردی انباشتی.....
۱۰۲.....	۱-۴-۴. تغییرات ریز ساختاری.....
۱۰۳.....	۲-۲-۴. خواص مکانیکی کامپوزیت Al/Zn/1%Vol.SiC.....
۱۰۸.....	۳-۴-۴. بررسی سطح شکست نمونه ها.....

۱۱۰ فصل ۵

۱۱۰ نتیجه گیری و پیشنهادات

فهرست جداول

۴۶	جدول ۳-۱. ترکیب شیمیایی آلومینیوم و روی استفاده شده در پروژه
	جدول ۴-۱. تعداد لایه های آلومینیوم و روی در سیکل های مختلف فرآیند
۶۱	ARB

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱. تصویر شماتیکی از فرآیند اتصال نوردی انباشتی (ARB) ۵
- شکل ۱-۲. اکستروژن در کانال‌های زاویه‌ای مسطح (n تعداد سیکل، φ زاویه کانال) ۱۰
- شکل ۲-۲. پیچش فشاری بالا (n تعداد سیکل، t فاصله شعاعی، t ضخامت و γ کرنش برشی) ۱۰
- شکل ۲-۳. اتصال نوردی انباشتی (t_0 ضخامت اولیه، t ضخامت نهایی و n تعداد سیکل) ۱۱
- شکل ۲-۴. رابطه‌ی میان تنش تجربی و اندازه دانه ۱۲
- شکل ۲-۵. تصویر شماتیک از فرآیند اتصال نورد سرد ۱۴
- شکل ۲-۶. تصویر شماتیکی از نحوه‌ی ایجاد اتصال در سطح برس زنی شده در حین نورد ۱۷
- شکل ۲-۷. میزان تغییرات استحکام اتصال با درصد کاهش سطح مقطع ۱۹
- شکل ۲-۸. تأثیر دمای نورد بر استحکام اتصال ۲۱
- شکل ۲-۹. تغییرات میزان استحکام اتصال با تغییر ضخامت اولیه‌ی نمونه ۲۲
- شکل ۲-۱۰. تأثیرات ضخامت اولیه بر کاهش سطح مقطع آستانه‌ای و استحکام اتصال ۲۳
- شکل ۲-۱۱. تأثیر سرعت چرخش غلطک بر استحکام اتصال ۲۴
- شکل ۲-۱۲. تغییرات استحکام اتصال و کاهش سطح مقطع آستانه‌ای با زمان آنیل ۲۴
- شکل ۲-۱۳. تغییرات استحکام اتصال و کاهش سطح مقطع آستانه‌ای با دمای آنیل ۲۵

- شکل ۲-۱۴. تغییرات استحکام اتصال و کاهش سطح مقطع آستانه‌ای با تغییرات سختی
۲۶
- شکل ۲-۱۵. تغییرات کاهش سطح مقطع آستانه‌ای اتصال با سختی فلزات
۲۷
- شکل ۲-۱۶. تغییرات کاهش سطح مقطع آستانه‌ای اتصال با نسبت سختی دو فلز
۲۸
- شکل ۲-۱۷. تغییرات میزان کاهش سطح مقطع آستانه‌ای و استحکام اتصال متوسط با ضریب اصطکاک
۲۸
- شکل ۲-۱۸. بررسی تأثیر حالات مختلف آماده سازی سطح بر استحکام اتصال لایه‌های آلومینیوم
۳۰
- شکل ۲-۱۹. تصویر شماتیکی از نحوه‌ی انجام تست پیلینگ و محاسبه‌ی نیروی متوسط پیلینگ
۳۱
- شکل ۲-۲۰. تغییرات ماکرو سکو پی ساختار در سیکل‌های صفرام، اول، دوم و پنجم
۳۳
- شکل ۲-۲۱. تغییرات متوسط ضخامت لایه‌های مس در مقابل تعداد سیکل
۳۴
- شکل ۲-۲۲. دیاگرام تنش - کرنش مهندسی نمونه‌ها در سیکل‌های متفاوت
۳۴
- شکل ۲-۲۳. تغییرات میکرو سختی در لایه‌های کامپوزیت در سیکل‌های متفاوت
۳۵
- شکل ۲-۲۴. تصاویر مربوط به سطح نگاری پس از شکست در کامپوزیت
۳۶
- شکل ۲-۲۵. تصاویر SEM از مقاطع عرضی در جهت نورد (a) ساندویچ اولیه (b) سیکل اول (c) سیکل دوم (d) سیکل سوم
۳۷
- شکل ۲-۲۶. تغییرات سختی در لایه‌های آلومینیوم و منیزیم در سیکل‌های مختلف
۳۸
- شکل ۲-۲۷. منحنی‌های تنش - کرنش نمونه‌ها در جهات و سیکل‌های مختلف
۳۸

- شکل ۲-۲۸. تغییرات ضخامت لایه‌های نیکل در مقابل تغییرات سیکل
فرآیند ARB ۳۹
- شکل ۲-۲۹. تغییرات درصد اتمی عناصر آلومینیوم و نیکل در فصل مشترک ۴۰
- شکل ۲-۳۰. تغییرات استحکام و ازدیاد طول برای کامپوزیت لایه‌ای Al/Ni ۴۱
- شکل ۲-۳۱. نمودار تغییرات میکرو سختی لایه‌های آلومینیوم و نیکل در برابر
تعداد سیکل‌ها ۴۱
- شکل ۲-۳۲. دیاگرام تنش- کرنش مربوط به کامپوزیت Al/Al_2O_3 و مقایسات
مربوط به آن ۴۳
- شکل ۲-۳۳. دیاگرام تنش- کرنش مربوط به کامپوزیت Cu/Zr در سیکل‌های
مختلف ۴۴
- شکل ۳-۱. تصویری از انجام عملیات برس کاری سطحی ورق‌ها ۴۷
- شکل ۳-۲. از بین رفتن نمونه‌ها در اثر عیوب ناشی از نحوه اتصال ۴۹
- شکل ۳-۳. نحوه‌ی انجام بست کمربندی در اتصال مکانیکی ورق‌ها ۴۹
- شکل ۳-۴. تصویری از نمونه‌ی اتصال مکانیکی شده برای عملیات پیش گرم ۵۰
- شکل ۳-۵. تصویری از دستگاه نورد استفاده شده در فرآیند ۵۱
- شکل ۳-۶. تصویر شماتیکی از نحوه‌ی انجام فرآیند ARB در ساخت کامپوزیت
آلومینیوم/روی ۵۱
- شکل ۳-۷. تصویری از نحوه‌ی ثابت کردن نمونه‌ها در گیره‌ی فلزی ۵۳
- شکل ۳-۸. ابعاد نمونه‌ی تست کشش بر اساس استاندارد ASTM (بر حسب
میلی متر) ۵۴
- شکل ۳-۹. تصویر دستگاه کشش استفاده شده در آزمون کشش تک محور ۵۴
- شکل ۳-۱۰. شماتیکی از نحوه‌ی اندازه‌گیری چگالی به روش ارشمیدس ۵۵

- شکل ۴-۱. الگوی تفرق اشعه‌ی ایکس (XRD) از نمونه‌ی آلومینیومی ۵۹
- شکل ۴-۲. الگوی تفرق اشعه‌ی ایکس (XRD) از نمونه‌ی روی ۵۹
- شکل ۴-۳. تصاویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار کامپوزیت Al/Zn در سیکل‌های مختلف فرآیند اتصال نوردی انباشتی در راستای طولی نورد از سیکل (a) صفرام تا سیکل (k) دهم ۶۰
- شکل ۴-۴. نحوه‌ی تغییرات تعداد لایه‌ها در سیکل‌های مختلف فرآیند ARB ۶۲
- شکل ۴-۵. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از ریز ساختار کامپوزیت لایه‌ای Al/Zn از سیکل‌های (a) دوم تا (e) دهم فرآیند ARB ۶۴
- شکل ۴-۶. نمودار تغییرات ضخامت متوسط لایه‌های روی در سیکل‌های مختلف فرآیند ARB ۶۵
- شکل ۴-۷. تغییرات کرنش پلاستیک انباشتی در لایه‌های روی و کل نمونه در سیکل‌های مختلف ARB ۶۶
- شکل ۴-۸. تصویری از نحوه‌ی ایجاد گسیختگی در لایه‌های روی در سیکل سوم فرآیند ARB ۶۷
- شکل ۴-۹. تصاویر میکروسکوپ نوری از باندهای برشی ایجاد شده در سیکل‌های هفتم و هشتم فرآیند ARB ۶۸
- شکل ۴-۱۰. تصویر میکروسکوپ نوری از تغییر شکل غیر یکنواخت لایه‌ها در فصل مشترک آلومینیوم-روی ۶۹
- شکل ۴-۱۱. ریز ساختار کامپوزیت در سیکل ششم و ایجاد مناطق جزیره‌ای شکل در زمینه ۷۰
- شکل ۴-۱۲. تصاویر میکروسکوپ نوری از نحوه‌ی تغییرات ریز ساختاری در کامپوزیت آلومینیوم/روی در راستای عرضی نورد از سیکل‌های (a) سیکل صفرام (ساندویچی) تا (k) سیکل دهم فرآیند ARB ۷۱
- شکل ۴-۱۳. تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار آلومینیوم آنیل شده‌ی

۷۲	اولیه مورد استفاده در فرآیند
	شکل ۴-۱۴. تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار آلومینیوم در سیکل دهم
۷۲	فرآیند اتصال نوردی انباشتی
	شکل ۴-۱۵. ایجاد دانه های فوق ریز در محل باند های برشی در فرآیند اتصال
۷۴	نوردی تجمعی
	شکل ۴-۱۶. اندازه دانه های فرعی لایه های آلومینیوم در کامپوزیت Al/Zn در
۷۴	سیکل های مختلف فرآیند ARB
	شکل ۴-۱۷. دیاگرام فازی دو تایی آلومینیوم - روی همراه با موقعیت ترکیبی
۷۶	کامپوزیت Al/Zn
	شکل ۴-۱۸. الگوی تفرق اشعه ای ایکس از نمونه ای کامپوزیتی در سیکل دهم
۷۷	فرآیند ARB
۷۸	شکل ۴-۱۹. نمودار تغییرات غلظت اتم های نفوذ کننده در فصل مشترک
	شکل ۴-۲۰. نمودار تنش - کرنش کامپوزیت آلومینیوم / روی در سیکل های
۷۹	مختلف فرآیند ARB
	شکل ۴-۲۱. تغییرات استحکام کششی، تسلیم و ازدیاد طول کل و یکنواخت
۸۰	کامپوزیت در سیکل های مختلف ARB
	شکل ۴-۲۲. نمودار تغییرات میکرو سختی در لایه های آلومینیوم و روی در
۸۲	سیکل های مختلف فرآیند ARB
	شکل ۴-۲۳. ناحیه ی گردنی و شکست کامپوزیت در سیکل های (a) دوم و
۸۳	(b) دهم فرآیند اتصال نوردی انباشتی
	شکل ۴-۲۴. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطوح شکست نمونه ها از
۸۴	سیکل های (a) دوم تا (e) دهم فرآیند ARB

- شکل ۴-۲۵. تصاویر SEM از سطح شکست نمونه‌ها از سیکل‌های (a) تا (e) دهم فرآیند ARB با بزرگنمایی بالا
- ۸۵
- شکل ۴-۲۶. تغییرات چگالی کامپوزیت در سیکل‌های مختلف فرآیند ARB
- ۸۷
- شکل ۴-۲۷. تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار کامپوزیت آلومینیوم/روی تولیدی به روش CAR از سیکل‌های (a) صفرام تا (k) دهم
- ۸۹
- شکل ۴-۲۸. تصویری از ایجاد ریز ترک‌ها در فصل مشترک لایه‌ها و در سیکل‌های بالا
- ۹۰
- شکل ۴-۲۹. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار کامپوزیت تولیدی به روش CAR از سیکل‌های (a) دوم تا (e) دهم
- ۹۲
- شکل ۴-۳۰. ریز ساختار میکروسکوپی آلومینیوم در سیکل دهم فرآیند اتصال نوردی و آنیل پیوسته
- ۹۳
- شکل ۴-۳۱. نمودار میزان نفوذ اتم‌های آلومینیوم و روی در فصل مشترک
- ۹۴
- شکل ۴-۳۲. نمودار نفوذ اتم‌های آلومینیوم و روی در فصل مشترک لایه‌ها (a) حالت اتصال نوردی انباشتی (b) حالت اتصال نوردی و آنیل بین هر سیکل
- ۹۵
- شکل ۴-۳۳. منحنی‌های تنش- کرنش نمونه‌های کامپوزیت در سیکل‌های مختلف فرآیند CAR
- ۹۶
- شکل ۴-۳۴. نمودار تغییرات استحکام کششی و نهایی همراه با تغییرات ازدیاد طول کل و یکنواخت در سیکل‌های مختلف فرآیند CAR
- ۹۷
- شکل ۴-۳۵. نمودار مقایسه‌ی تغییرات استحکام کششی کامپوزیت تولیدی در فرآیند‌های ARB و CAR در سیکل‌های مختلف
- ۹۸
- شکل ۴-۳۶. نمودار تغییرات میکرو سختی و یکرز در لایه‌های آلومینیوم و روی در سیکل‌های مختلف فرآیند CAR
- ۹۹

- شکل ۴-۳۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست کامپوزیت Al/Zn تولیدی با فرآیند CAR از سیکل‌های (a) دوم تا (e) دهم
- ۱۰۱
- شکل ۴-۳۸. تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار کامپوزیت لایه‌ای آلومینیوم/روی/کاربید سیلیسیم در جهت طولی نورد از سیکل‌های (a) ساندویچی تا (i) هشتم
- ۱۰۳
- شکل ۴-۳۹. نمودار تنش-کرنش کامپوزیت Al/Zn/1Vol.%SiC در سیکل‌های مختلف فرآیند ARB
- ۱۰۴
- شکل ۴-۴۰. نمودار تغییرات استحکام تسلیم و کششی، ازدیاد طول کل و یکنواختی در سیکل‌های مختلف فرآیند ARB
- ۱۰۵
- شکل ۴-۴۱. نمودار تغییرات میکرو سختی و یکرز در لایه‌های آلومینیوم و روی در سیکل‌های مختلف فرآیند ARB
- ۱۰۶
- شکل ۴-۴۲. مقایسه خواص مکانیکی مواد اولیه و کامپوزیت‌های تولیدی در فرآیندهای مختلف
- ۱۰۷
- شکل ۴-۴۳. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست کامپوزیت Al/Zn/1%Vol.SiC از سیکل‌های (a) دوم تا (d) هشتم فرآیند ARB
- ۱۰۸
- ۱۱۵ فهرست مراجع
- ۱۲۰ چکیده انگلیسی

چکیده

در این پروژه کامپوزیت لایه‌ای آلومینیوم/روی برای اولین بار به روش اتصال نوردی انباشتی در ۱۰ سیکل تولید و خواص مکانیکی و تغییرات ریز ساختاری این کامپوزیت مورد ارزیابی قرار گرفت. با انجام این فرآیند، در نهایت کامپوزیتی با توزیع یکنواخت تکه‌های ورق روی در زمینه‌ی آلومینیوم با دانه بندی فوق ریز، بدست آمد. با افزایش تعداد سیکل‌های فرآیند، ضخامت لایه‌های روی و آلومینیوم کاهش یافت و ضخامت آنها به کمتر از ۳ میکرون در سیکل دهم رسید. استحکام کششی و تسلیم این کامپوزیت در سیکل دهم، که طبق معیار تسلیم فون میزز متناظر با کرنش پلاستیک انباشتی ۸/۶۲ است، به ترتیب به مقادیر ۳۷۲ مگاپاسکال و ۳۰۰ مگاپاسکال رسید. در مرحله‌ی دوم از آنیل جزئی در بین هر سیکل فرایند استفاده شد. با انجام این فرایند(اتصال نوردی و آنیل پیوسته)، همراه با افزایش کیفیت اتصال ورق‌های آلومینیوم و روی و توزیع یکنواخت تر تکه‌های ورق روی در زمینه‌ی آلومینیوم، استحکام کششی و تسلیم کامپوزیت به ترتیب به مقادیر ۴۱۰ مگاپاسکال و ۳۵۰ مگاپاسکال رسید که بیشتر از مقادیر بدست آمده برای این کامپوزیت تولیدی با روش فرایند اتصال نوردی انباشتی است. در مرحله‌ی سوم و در راستای بررسی پایدارسازی دانه ریز شده در ساختار، از پخش نانو ذرات کاربرد سیلیسیم به میزان یک درصد حجمی در فصل مشترک لایه‌ها استفاده گردید. در نهایت با بررسی سطوح شکست نمونه‌های کششی با میکروسکوپ الکترونی روبشی، مشخص شد با افزایش تعداد سیکل در هر فرایند از مقدار و عمق دیپل‌ها در سطح کاسته شده و در سیکل‌های نهایی شکست یک حالت نرم برشی را به خود می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: اتصال نوردی انباشتی، کامپوزیت لایه‌ای آلومینیوم/روی، اتصال نوردی و آنیل

بین سیکلی، استحکام اتصال

فصل ۱

مقدمه

کامپوزیت‌های زمینه‌ی فلزی آلومینیوم، به خاطر چگالی‌ی کم، سفتی زیاد و سرعت سایش پائین، مواد نوید بخشی برای صنایع اتومبیل سازی، فضایی و کاربردهای سازه‌ای دیگر هستند. در این میان کامپوزیت‌های فلزی چند لایه به خاطر خصوصیات برجسته مکانیکی، الکتریکی و مغناطیسی، اخیراً مورد توجه قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر به دلیل کاربرد زیاد و روز افزون فلز روی در صنایع خودرویی، چاپ و انتشارات و سیستم‌های حفاظت خوردگی، با ارتقاء خواص مکانیکی این فلز می‌توان کاربرد آن را در صنایع توسعه داد. با توجه به اینکه فلز روی دارای مزایایی مانند مقاومت خوردگی بالا، ثبات ابعادی در حین کاربرد، هدایت الکتریکی و حرارتی مناسب و عیوبی مانند دارا بودن چگالی بالا، انعطاف پذیری کم است، یکی از روش‌های ارتقاء خواص مکانیکی و فیزیکی این فلز، کامپوزیت کردن آن با موادی است که نقاط ضعف آن را پوشش داده و نقاط قوت را نیز برجسته می‌کند. آلومینیوم ماده‌ای مناسب برای کامپوزیت شدن با این فلز است زیرا دارای خواصی مانند چگالی‌ی کم، انعطاف پذیری بالا، مقاومت خوردگی خوب، هدایت الکتریکی و حرارتی بالا است.

در پروژه‌ی حاضر کامپوزیت آلومینیوم/روی با کاربرد ورق‌های آلومینیوم و روی به روش اتصال نوردی انباشتی و فرآیندهای تکمیلی، برای اولین بار تهیه گردیده است.

به طور کلی کامپوزیت‌های فلزی چند لایه با فرآیندهای پوششی نظیر یون پرتابی کاتدی و رسوب بخار به منظور ایجاد لایه‌ی نازک یا با اتصال نفوذی ورق‌های نازک مواد متفاوت، تولید گردیده‌اند. اخیراً تولید و گسترش کامپوزیت‌های چند لایه توسط فرآیندهای تغییر شکل شبیه پرس و نورد تناوبی [۱-۲] و خمش و نورد تناوبی [۳-۴] به خاطر فواید اقتصادی مانند حجم بالای تولید، بیشتر از سایر فرآیندها مورد توجه قرار گرفته است [۵]. تغییر شکل پلاستیک شدید^۱ (SPD) را می‌توان به عنوان تغییر شکل تا کرنش‌های بالا در دمایی پائین تر از دمای تبلور مجدد ماده بدون

1-Severe Plastic Deformation

اعمال عملیات‌های حرارتی میانی، که منجر به تولید ساختارهایی با دانه بندی فوق ریز^۱(UFG) می‌شوند، تعریف کرد [۶]. از تکنیک‌های جدیدی که برای القای کرنش‌های بزرگ در فلزات با ایجاد تغییرات ابعادی کم در آنها گسترش یافته‌اند، می‌توان به کانال‌های زاویه‌ای مسطح فشاری^۲(ECAP)، پیچش فشاری زیاد^۳(HPT)، فورج چند محوری^۴(MAF) و اتصال نوردی انباشتی^۵(ARB) اشاره کرد. در میان این فرآیندها، فرآیند اتصال نوردی انباشتی، نسبت به سایر روش‌های تغییر شکل پلاستیک شدید دارای فوایدی مانند: سهولت شکل دهی با بار زیاد تا کرنش‌های بالا و بدون نیاز به قالب‌های گران قیمت، سرعت بالای تولید و عدم محدودیت اندازه در مواد تولیدی است [۷]. فرآیند اتصال نوردی انباشتی به عنوان یک روش جدید و سودمند به خاطر سهولت انجام و ارزانی مواد اولیه در تولید کامپوزیت‌های لایه‌ای می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [۷]. با وجود نقش موفق فرآیند اتصال نوردی انباشتی در اعمال تغییر شکل پلاستیک شدید بر روی نمونه‌های یکپارچه و ایجاد ساختارهای فوق ریزدانه و استحکام بالا [۷-۵]، بسیاری از مطالعات اساساً بر روی آلیاژهای هم جنس انجام گردیده و تلاش‌های کمی در مورد مواد غیر هم جنس صورت گرفته است. فرآیند اتصال نوردی انباشتی به طور موفقیت آمیزی جهت ساخت صفحات فلزی فوق ریزدانه به کار گرفته شده است که سبب تأثیرات شگرفی بر ریز ساختار و خواص مکانیکی این مواد می‌شود این فرآیند باعث افزایش قابل توجه در مقدار استحکام کششی و تنش کشش نهایی ماده می‌گردد. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی جهت ساخت کامپوزیت‌های لایه‌ای با این فرآیند انجام شده است .

1-Ultra Fine Grain

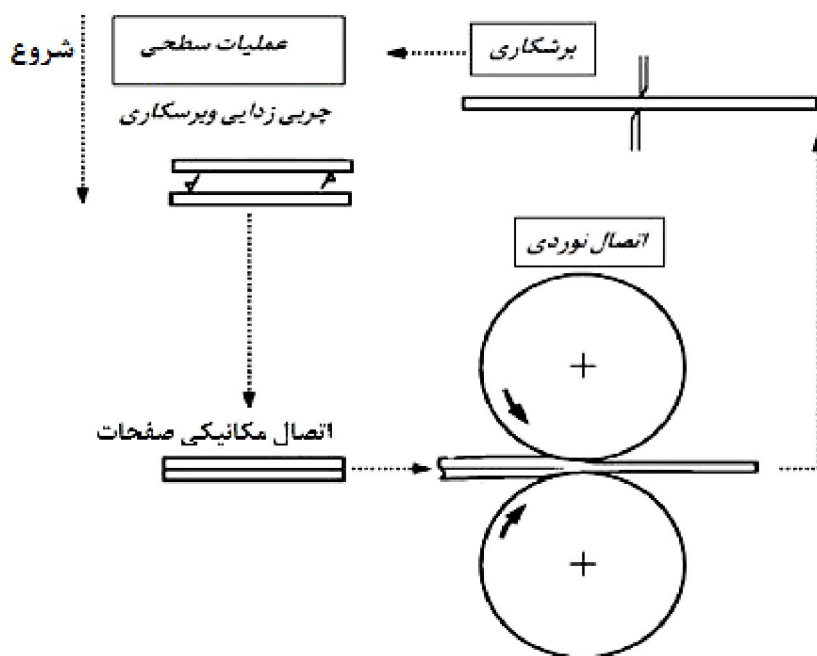
2-Equal Channel Angular Pressing

3-High Pressure Torsion

4-Multi-Axial Forging

5-Accumulative Roll-Bonding

دگرگونی‌های ریز ساختاری و خواص مکانیکی نسبی در طول سیکل‌های ARB در دمای اتاق برای چندین ورق فلزی مانند آلومینیوم خالص تجاری، آلیاژهای پایه آلومینیوم، آلیاژهای Cu-Ag، آلیاژهای پایه زیرکونیوم، فولادهای IF^1 و نوارهای چند لایه مثل Al-Ni، آلومینیوم/فولاد، Ti/Al/Nb، Ti/Zr/Ni، Ti/Ni، Al/Pt، Al/Hf، Cu/Nb، Al/Mg و Fe/Ag مورد مطالعه قرار گرفته است. اتصال نوردی انباشتی یک روش نسبتاً جدید تغییر شکل پلاستیک شدید است که توسط تسوجی و همکارانش پیشنهاد گردید [۸]. هدف اساسی در این فرآیند اعمال کرنش‌های پلاستیک زیاد به ماده است که منجر به اصلاحات ریز ساختاری و افزایش استحکام بدون تغییرات ابعادی نمونه می‌گردد. نحوه‌ی انجام این فرآیند به صورت شماتیکی در شکل (۱-۱) مشخص گردیده است.



شکل ۱-۱. تصویر شماتیکی از فرآیند اتصال نوردی انباشتی (ARB) [۷]

دو لایه از ورق‌های اصلی به صورت یک نمونه‌ی ضخیم به صورت مکانیکی به هم متصل می‌شوند و به دنبال آن، فرآیند نورد برای ایجاد اتصال و به منظور ایجاد یک ماده‌ی یکپارچه و نه فقط برای اعمال کرنش انجام می‌گیرد. به منظور ایجاد یک اتصال خوب سطوح ورق باید مورد آماده سازی قرار گیرد که از آن می‌توان به چربی زدایی و برس زنی قبل از اتصال مکانیکی اشاره کرد. دو لایه توسط نورد به هم متصل شده و نمونه در راستای طولی به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود و ورق‌های قطع شده دوباره مورد عملیات سطحی، اتصال مکانیکی و اتصال نوردی قرار می‌گیرند. تکنیک‌های تغییر شکل پلاستیک شدید از روش‌های پیوسته‌ی مفید در تولید مواد با ریز ساختارهای نوین گردیده اند که در میان آنها همان گونه که اشاره شد فرآیند اتصال نوردی انباشتی به فراوانی در تولید ساختارهای نانو کریستالی و همین طور در ساخت نانو کامپوزیت‌های دو فازی استفاده گردیده است [۱-۳].

تغییر شکل پلاستیک شدید توسط اتصال نوردی انباشتی برای آلیاژها و فلزات مشابه سبب ایجاد اصلاحات ریز ساختاری با تشکیل مرزهای نابجایی برخوردی^۱ (IDBs) و مرزهای لازم هندسی^۲ (GNBs) و در نهایت منجر به ساختار فوق ریزدانه و مرزهای تعادلی می‌شود. در مجموع دمای نمونه در طول فرآیند تحت نرخ کرنش پائین تغییر شکل، که حدود 1 s^{-1} است، به طور قابل ملاحظه‌ای از دمای محیط افزایش نمی‌یابد [۹-۱۰].

در خصوصیات اتصال نوردی انباشتی بیشتر بر روی مکانیزم‌های اصلاحات ریز ساختاری و تأثیر کرنش بر روی دگرگونی‌های ریز ساختاری تمرکز شده است. در این میان چندین گزارش در مورد ترکیب و دگرگونی فازی در سیستم‌های چند فازی در حین فرآیندهای اتصال نوردی انباشتی گزارش گردیده است. در این حالات نیز دو ورق هم جنس یا غیر هم جنس تا چندین سیکل مورد عملیات اتصال نوردی قرار

1-Incidental Dislocation Boundaries

2-Geometric Necessary Boundaries