

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



پوشش دهی مکانوشیمیایی سطوح فلزی به روش آسیاکاری مکانیکی

رسول پوریامنش^۱، جلیل وحدتی خاکی^۲، عباس یوسفی^۳

چکیده

در این تحقیق با استفاده از روش آسیاکاری مکانیکی، سطح صفحات Al توسط پودر نیکل پوشش داده شد. هدف آلومینیومی به صورت قطعه مکعبی به ابعاد $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}$ به همراه پودر نیکل در آسیای گلوله‌ای ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف آسیاکاری شد. در این روش ذرات پودری تشکیل لایه‌ای روی گلوله‌ها داده که با ضربات مکانیکی به سطح فلز مورد نظر فشرده می‌شوند. تصادم گلوله‌ها باعث می‌شود سطح قطعه سخت، فعال و ریزدانه شود. تصادم‌ها همچنین باعث تبدیل ذرات پودری به ابعاد بسیار ریز می‌شوند. تشکیل ترکیبات بین فلزی Al_3Ni ، NiAl و Ni_3Al که همگی گرمازا هستند باعث افزایش موضعی دما در نقاط انجام واکنش و اتصال بهتر پوشش به هدف می‌شود. بررسی‌های ریزساختاری توسط میکروسکوپ نوری و الکترونی SEM و آزمایش XRD روی نمونه‌های تهیه شده انجام شد. ضخامت پوشش در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شد. آنالیز EDS از سطح پوشش وجود Al و Ni را در لایه پوششی نشان داد. آزمایش‌های ریزسختی از زمینه نزدیک پوشش و پوشش روی سطح در زمان‌های مختلف انجام شد. قطعات پوشش داده شده در دمای 550°C به مدت 330min آنیل شدند. اندازه دانه و ریزسختی پوشش پس از آنیل بررسی شد.

کلمات کلیدی: آسیاکاری مکانیکی، آسیای گلوله‌ای ماهواره‌ای، لایه پوششی، ریزسختی، پوشش دهی

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد. تلفن: ۰۹۱۵۳۰۵۰۳۸۳

۲. استاد، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، کد پستی: ۹۱۷۷۹۴۸۹۴۴. تلفن و فاکس: ۰۵۱۱-۸۷۶۳۳۰۵

۳. دکتری مواد _ سرمایه‌ک، موسسه تحقیقاتی پرتاووس، کیلومتر ۱۸ جاده مشهد _ قوچان، بعد از سه راه فردوسی. تلفن: ۰۵۱۱-۵۴۲۰۷۳۱

مقدمه

زمانی که مخلوطی از پودرها آسیاکاری مکانیکی می‌شوند بخشی از پودر آسیا شده تشکیل لایه پوششی روی گلوله‌های آسیا و محفظه درونی دیواره ظرف می‌دهد [۱]. اخیراً معلوم شده است که این روش می‌تواند به عنوان روشی انعطاف‌پذیر جهت پوشش‌دهی سطوح قطعات انجام شود [۱-۳]. یکنواختی پودر درون محفظه آسیا توسط اختلاط مداوم پودر و گلوله‌ها حاصل می‌شود. تصادم گلوله‌های آسیا سطح قطعه مورد نظر جهت پوشش‌دهی را ریزدانه، سخت و فعال می‌کند. با ریزدانه شدن سطح قطعه و تبدیل ذرات پودری به ابعاد بسیار ریز و افزایش عیوب شبکه در این ذرات [۵] واکنش‌های شیمیایی بین مواد پودری و سطح قطعه و نفوذ سطحی افزایش می‌یابد [۴]. در این روش فعال‌سازی سطوح و رسوب پودر به ترتیب انجام می‌شود. فعال‌سازی سطوح باعث انجام واکنش‌های شیمیایی و اتصال بین هدف و پوشش می‌شود [۶]. لایه پوششی تشکیل شده روی صفحه فلزی می‌تواند توسط SEM و XRD مورد مطالعه قرار گیرد [۴]. انواع مختلفی از گلوله‌ها، محفظه ارتعاش و .. می‌تواند جهت پوشش‌دهی استفاده شود. ضربات گلوله‌ها همچنین باعث تمیزی سطوح می‌شود، طوری که آماده‌سازی مقدماتی سطح ضروری به نظر نمی‌رسد. از آنجایی که مقداری ماده همیشه روی سطح دیواره ظرف و گلوله‌ها انباشته می‌شود، استفاده از این روش برای ایجاد پوشش یکنواخت نیازمند فهم درست و کنترل پروسه پوشش‌دهی است. تصادم مکرر گلوله‌ها می‌تواند باعث فشردن مواد پودری تا عمق ده‌ها میکرون شود. اگر ذرات پوششی از هدف سخت‌تر باشند، ذرات روی سطح فشرده شده و اختلاط محکمی بین دو جز ممکن می‌شود. پوشش‌دهی صفحه Al با SiO_2 [۳] و PbO و WO_3 [۴] چنین مواردی هستند. اگر عملیات آنیل پس از پوشش‌دهی مورد نیاز باشد، عملیات آنیل می‌تواند در دمای کمتری به خاطر افزایش انرژی داخلی قطعه توسط ضربات گلوله‌ها انجام شود [۳ و ۷]. تغییرات شیمیایی در طی پروسه آنیل ممکن است اتفاق بیفتد [۳]. سرعت واکنش و ریزساختار پوشش به خواص مکانیکی و شیمیایی اجزا و همچنین به نوع آسیا و شرایط آسیاکاری بستگی دارد. اگر واکنش شیمیایی ممکن باشد، سرعت واکنش به آمیختن ذرات و ریزساختار بستگی دارد. اندرکنش‌های شیمیایی - نفوذ، آلیاژسازی و تشکیل فازهای جدید در فصل مشترک هدف و ذرات پوشش اتفاق می‌افتد. اگر تشکیل پوششی یکنواخت روی بخشی از دیواره ظرف مورد انتظار باشد، توزیع یکنواختی از ضربات گلوله‌ها به دیواره ضروری به نظر می‌رسد. این موضوع اهمیت مدل‌سازی حرکت گلوله‌ها را نشان می‌دهد، جایی که توزیع مناطق ضربه‌دیده موضوع مورد توجه است. توزیع یکنواختی از ضربات همچنین نیازمند طرحی دقیق اجزا مورد نیاز می‌باشد. به عنوان مثال، زمانی که آسیای SPEX 8000 با انرژی زیاد استفاده می‌شود، مناطق ضربه‌دیده بسیار ناهموار و غیر صاف شده و پوشش‌دهی خوبی نسبت به آسیاهای ارتعاشی کم انرژی انجام نمی‌شود [۸]. ساختار پوشش به خواص مکانیکی هدف و پودر بستگی

زیادی دارد. ساده ترین پوشش زمانی ایجاد می شود که یک ماده نرم روی سطح سخت رسوب کند. زمانی که ذرات سخت به سطح هدف نرمتر فشرده می شوند ، می تواند جهت محافظه های خوردگی استفاده شود. ضربات گلوله ها باعث آسیب رساندن به سطح نیز می شود. انتخاب دقیق انرژی ضربه و زمان آسیا مهم است. مقدار پودر بایستی به دقت انتخاب شود. مقدار زیاد پودر باعث می شود پوشش ضخیم ولی سست باشد در حالی که میزان کم پودر باعث افزایش آلودگی از گلوله ها می شود. انتخاب بهینه پروسه نیازمند درک دقیق جزییات چگونگی حرکت پودر اطراف محفظه آسیا است. اگر مقدار کمی از پودر استفاده شود، اکثر پودر به سطوح در دسترس می چسبد و تنها مقدار کمی به صورت آزاد باقی می ماند [۶].

مواد و روش تحقیق

پوشش های نیکل روی سطوح قطعات آلومینیومی به روش آسیاکاری مکانیکی تشکیل شد. پروسه آسیاکاری در هوا انجام شد. قطعات آلومینیومی با خلوص بیشتر از 99% به صورت مکعبی با ابعاد $1 \times 1 \times 1$ Cm در آورده شد و تمام سطوح آن صاف و آلودگی ها از سطوح آن زدوده شد. مقدار 1g پودر نیکل در هر آزمایش با خلوص 99.5% و اندازه ذرات $10 \mu m$ استفاده شد. دستگاه آسیاکاری گلوله ای ماهواره ای با سرعت دوران 200rpm انتخاب شد. در این روش ، به منظور جلوگیری از چسبیدن پودرها به دیواره و ته محفظه، از اتانول به مقدار بسیار کم استفاده شد. قطعات Al هر بار یک عدد در هر ظرف آسیا به منظور پوشش دهی همراه با پودر پوششی مورد نظر و گلوله های آسیا قرار گرفت. گلوله های فولادی به کار رفته شامل ۸ عدد گلوله (۶ عدد با قطر 0.95cm) و (۲ عدد با قطر 1.27cm) با نسبت (۳۸=پودر / گلوله) بود. زمان آسیاکاری -20-50-80-120-200-300-420-720-1080-1500min انتخاب شد. نمونه های پوشش داده شده با میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی (SEM LEO 1450VP) و میکروآنالیز EDS توسط EDS Oxford مطالعه شدند و ترکیب فازهایشان توسط XRD تعیین شد.

اندازه دانه نیکل در پوشش با استفاده از رابطه شرر ($t = c\lambda / \beta \cos \theta$) که در آن $c=0.9$ ، $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ و β پهنای پیک در نصف ارتفاع پیک مورد نظر است و θ نصف زاویه پراش بر حسب رادیان است، تخمین زده شد. آزمایش های ریزسختی ($H_v 0.025$) از پوشش و زمینه نزدیک سطح پوشش از فاصله حدود $50 \mu m$ (۲۰ بار) انجام شد. نمونه های پوشش داده شده در دمای $550^\circ C$ به مدت 330min آنیل شدند. اندازه دانه و سختی نمونه ها پس از آنیل بررسی شدند.

یافته ها

در شکل ۱ تصاویر میکروسکوپی نوری از نمونه‌های پوششی در زمان‌های ابتدایی آسیاکاری مشاهده می‌شود. در زمان‌های ابتدایی در نقاطی محدود ذرات نیکل روی سطح چسبیده است. در شکل ۲ تصاویر SEM از سطح مقطع نمونه‌های پوششی در زمان‌های مختلف آسیاکاری مشاهده می‌شود. با توجه به تصاویر SEM با گذشت زمان آسیاکاری تشکیل پوشش در تمام سطح قطعه، لایه‌لایه‌ای پوشش و زیرلایه، پوسته‌ای شدن سطح، تشکیل پوشش ضخیم و خالی از منفذ و حفره و با پیوستگی خوب با زمینه مشاهده می‌شود. آنالیز نقطه‌ای (EDS) از نمونه پوششی (شکل ۲ و) عناصر Ni و Al را در پوشش نشان می‌دهد. در الگوی پراش اشعه ایکس (شکل ۳) فازهای $AlNi_3$ ، Al_3Ni ، $AlNi$ ، Ni ، Al برای نمونه‌های پوششی قبل و پس از آنیل شناسایی شدند. پس از آنیل پیک‌های فازهای فوق با شدت بیشتری ظاهر شده‌اند. در زمان 420min بیشترین تراکم از فازهای فوق مشهود می‌باشد. در زمان 1500min شدت پیک‌های اشاره شده کاسته شده است. در شکل ۴ ضخامت پوشش برای زمان‌های مختلف آسیا به کمک تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی مشاهده می‌شود. حضور Ni از همان مراحل ابتدایی نشان از رسوب این پودر روی سطح فلز در اثر تصادم گلوله‌ها و ترکیب آن با سطح و تشکیل فازهای جدید روی سطح است. تشکیل ترکیبات بین‌فلزی Ni-Al گرمازا می‌باشند. آنتالپی تشکیل هر یک از فازهای بالا در جدول ۱ اشاره شده است. اندازه دانه‌های Ni پوشش روی سطح با استفاده از رابطه شرر تخمین زده شد و در شکل ۵ مشاهده می‌شود. در شکل ۶ آزمایش‌های ریزسختی ویکرز (Hv) از زمینه و پوشش در نمونه‌های پوششی قبل و پس از آنیل مشاهده می‌شود و نتایج آن در شکل ۷ مشاهده می‌شود.

بحث

در مراحل ابتدایی آسیاکاری پودر Ni در اثر ضربات گلوله‌ها در نقاطی به سطح فلز چسبیدند. در ادامه ذرات پودری روی گلوله‌ها لایه‌ای تشکیل داده و در اثر ضربات به داخل سطوح فلزی فشرده می‌شوند. لایه‌ای غنی از Ni روی سطح نمونه تشکیل می‌شود. ضربات گلوله‌ها باعث تغییر پلاستیک در زیرلایه می‌شود. ترک‌های ایجاد شده در سطح قطعه به کنده‌شدن سطوح فلزی منجر می‌شود که می‌تواند شامل لایه پوششی و تکه‌هایی از Al باشد. تکه‌های کنده شده از سطح در اثر ضربات گلوله‌ها می‌تواند دوباره روی سطح به همراه پودر پوششی بچسبد. ضربات گلوله‌ها باعث ایجاد تعداد زیادی عیوب ساختاری و افزایش موضعی دما در مناطق تحت تصادم می‌شود. بر اساس مطالعات Zhaolin Zhan [۹] مشخص شده است که دمای مناطق ضربه‌دیده ممکن است حتی بالاتر از نقطه ذوب Al ($660^{\circ}C$) برسد. این موضوع باعث افزایش واکنش بین Al و Ni و

تشكيل فازهای مورد انتظار می شود. تشكيل تركيبات بين فلزی Ni-Al بر اساس نتايج XRD همان طور که در جدول ۱ اشاره شد به شدت گرمازا بوده و باعث افزايش موضعی دما در نقاط انجام واکنش می شود. افزايش دما باعث ذوب موضعی Al شده و Al ذوب شده می تواند در اثر خاصیت مویینگی به داخل منافذ و خلل و فرج لایه پوششی حرکت کند. ضربات بعدی گلوله ها باعث بهبود فازهای Ni-Al در لایه پوششی می شود. نفوذ اتم های Ni و Al در فصل مشترک آلیاژ و لایه Ni به خصوص پس از آنیل می تواند اتفاق بیفتد. چون ساختار زیرلایه در سطح ریزدانه تر از سمت مرکز قطعه است و هرچه به سمت مرکز پیش می رویم ساختار درشت دانه تر می شود، بنابراین نفوذ اتم های Ni به طرف داخل توسط ساختار درشت دانه زیرلایه Al متوقف می شود. نفوذ اتم های Al در طی مرزهای دانه عیوب ایجاد شده در لایه آلیاژی در اثر تصادم گلوله ها به طرف خارج تسهیل می یابد و به این ترتیب لایه آلیاژی رشد می کند. بنابراین حضور Al در لایه پوششی توسط آنالیز EDS به سه دلیل می تواند اتفاق افتاده باشد: ۱- شکسته شدن زیرلایه و مخلوط مکانیکی به همراه پودر پوششی Ni. ۲- نفوذ Al از زیرلایه به لایه پوششی. ۳- ذوب موضعی Al و حرکت آن به درون خلل و فرج لایه پوششی در اثر خاصیت مویینگی. در رابطه با سختی زمینه با گذشت زمان آسیاکاری در ابتدا با انجام کارسختی (تصادم گلوله ها منجر به کارسختی می شود) سختی افزايش و پس از اینکه ضربات گلوله ها باعث پوسته پوسته و کنده شدن سطح Al شد، سختی افت پیدا می کند. در اثر کار سختی فقط سطح قطعه سخت می شود و هر چه به سمت مغز قطعه پیش می رویم، سختی کاهش می یابد همان طور که نتايج تست ریزسختی در (شکل ۷ ب) نشان داد. از دلایل دیگر تغییرات سختی ساختار بهبود یافته سطح است. دانه های سطح Al در اثر تصادم گلوله ها ریز می شوند و به ابعاد کوچکتری می رسند. دانه های ریزتر باعث افزايش سختی می شوند. در رابطه با افزايش سختی پوشش با گذشت زمان آسیاکاری می توان گفت که در اثر تصادم گلوله ها ذرات پودری ریزتر شده و به ابعاد نانومتر می رسد، همان طور که در شکل ۷ مشاهده شد و هر چه ذرات ریزتر شوند در تشكيل پوشش سختی بمراتب بیشتری خواهند داشت. همچنین ممکن است پوشش در اثر تصادم گلوله ها کارسخت شود و سختی آن افزايش یابد. تأثیر دیگر در افزايش سختی را می توان به تشكيل تركيبات بين فلزی Ni-Al مربوط دانست. Jie Meng و همکارانش [۱۰] در تحقیقات خود نشان دادند که نمونه های پرس داغ شده ترکیب بين فلزی Ni_3Al تولید شده به روش آسیاکاری مکانیکی دارای سختی $427Hv$ می باشند. Wang و همکارانش [۱۱] در تحقیقات خود نشان دادند که سختی پوشش های NiAl تهیه شده به روش اسپری حرارتی حدود $440Hv$ می باشد. میزان سختی در زمان $420min$ مقدار $464Hv$ می باشد که با مطالعات گذشته توافق دارد. کاهش ریزسختی زمینه پس از $420min$ را می توان به حضور بیشتر Al و ورود Al به لایه پوششی مربوط دانست، بنحویکه ریزسختی به مقدار ریزسختی زمینه نزدیک می شود. نتايج ریزسختی زمینه و پوشش پس از آنیل در $550^{\circ}C$ نشان داد که ریزسختی زمینه بسیار کاهش یافته و تغییرات آن در محدوده

35-70Hv می باشد که علت آن نرمی زمینه در اثر آنیل می باشد. ریزسختی پوشش در زمان 420min در محدوده 464-548Hv می باشد. ریزسختی در این حالت بیشتر از نمونه مشابه قبل از آنیل می باشد. همان طور که نتایج XRD نشان داد در 420min تراکم فازهای بین فلزی Ni-Al را داریم و علت افزایش سختی را می توان به حضور این فازها در ترکیب مربوط دانست. از زمان 420min به بعد ریزسختی زمینه کاهش می یابد. علت کاهش ریزسختی را می توان به تأثیر رشد دانه ها و کاهش انرژی داخلی قطعه در اثر ادغام نابجایی ها و خنثی شدن میدان تنش کششی هر نابجایی بر میدان تنش فشاری نابجایی دیگر مربوط دانست.

نتیجه گیری

با استفاده از روش آسیاکاری مکانیکی ایجاد پوششی از Ni روی سطح Al امکان پذیر است. ترکیبات بین فلزی Ni-Al در لایه پوششی تشکیل شد. رسیدن به شرایط بهینه جهت ایجاد پوشش یکنواخت به روش MA تحت مطالعات بیشتر قرار دارد. سختی لایه پوششی به مراتب بیشتر از زیرلایه بود. حضور Al در لایه پوششی به دلیل ذوب Al و حرکت آن به داخل منافذ، نفوذ Al به لایه پوششی و شکسته شدن زیرلایه و مخلوط مکانیکی با پودرها می باشد. تراکم فازهای لایه پوششی پس از آنیل افزایش یافت. اندازه دانه Ni در لایه پوششی در ابعاد نانومتر بود.

تشکر و قدردانی

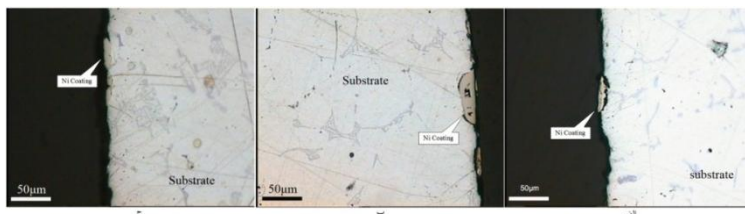
نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند که از شرکت لعاب مشهد (پرتاووس) و آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد و آزمایشگاه متالوگرافی گروه مهندسی متالورژی و مواد دانشکده مهندسی به جهت همکاری هایشان قدردانی و تشکر نماید.

مراجع

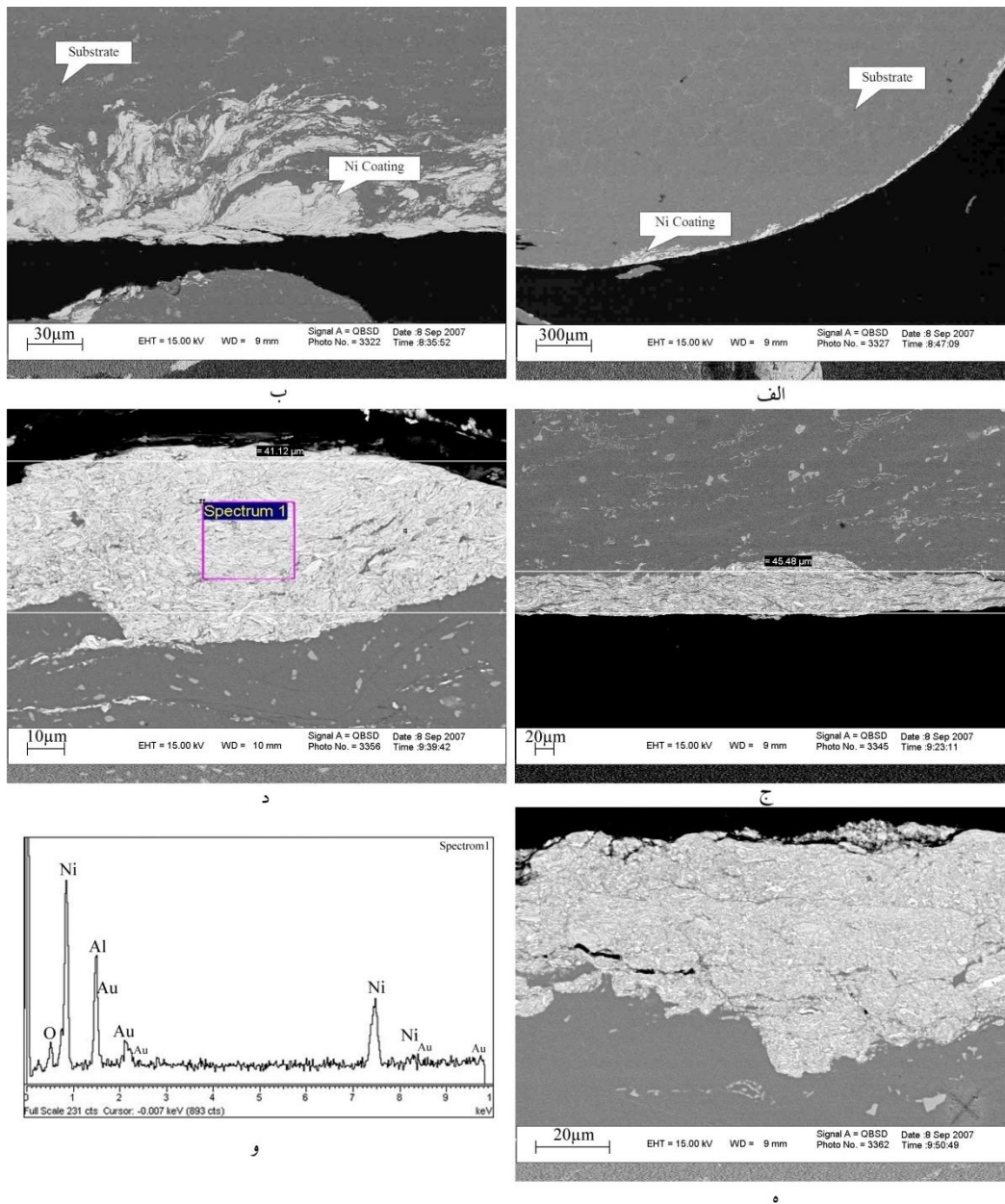
- [1] A. Torosyan, J.R. Tuck, A.M. Korsunsky, S.A. Bagdasaryan, Mater. Sci.Forum 386–388 (2002) 229.
- [2] A. Torosyan, L. Takacs, J. Mater. Sci. 39 (2004) 5491.

- [3] A. Torosyan, L. Takacs, L. Zulumyan, A. Tataryan, in: A. Agarwal, N.B. Dahotre, S. Seal, J.J. Moore, C. Blue (Eds.), Surface Engineering in Materials Science III, The Minerals, Metals & Materials Society, Warrendale, PA, 2005, pp. 121–126.
- [4] A. Torosyan, L. Takacs, "Mechanochemical Reaction at the Interface between a Metal Plate and Oxide Powders", Journal of materials science 39 (2004) 5491-5496
- [5] Z.B. Wang, N.R. Tao, W.P. Tong, J. Lu, K. Lu, Acta Mater. 51 (2003).
- [6] Takacs, L., Revesz, A., "Preparation of Coatings by Mechanical Alloying", Chemistry of sustainable Development 15 (2007) 231-235
- [7] S. E. Romankov, S.D. Kaloshkin and L. U. Pustov. 12th Int. Symp. on Metastable and Nanomaterials (ISMANAM), July 3-7, 2005, Paris, France, paper P1-87
- [8] L. Takacs and A. Torosoyan, 12th Int. Symp. on Metastable and Nanomaterials (ISMANAM), July 3-7, 2005, Paris, France, paper 7C-I-1.
- [9] Zhan, Zh., Y. He, D. Wang, W. Gao, "Low-temperature processing of Fe–Al intermetallic coatings assisted by ball milling", Science direct intermetallics 14 (2006) 75-81
- [10] Jie, M., Chengchang, J., Qing, H., "Effect of mechanical alloying on the structure and property of Ni₃Al fabricated by hot pressing", Journal of Alloys and Compounds 421 (2006) 200–203
- [11] Wang, Y., Chen, W., "Microstructures, Properties and High-Temperature Carburization Resistances of HVOF Thermal Sprayed NiAl Intermetallic-based Alloy Coatings", Surface and Coatings Technology 183 (2004) 18–28

جداول و شکل‌ها



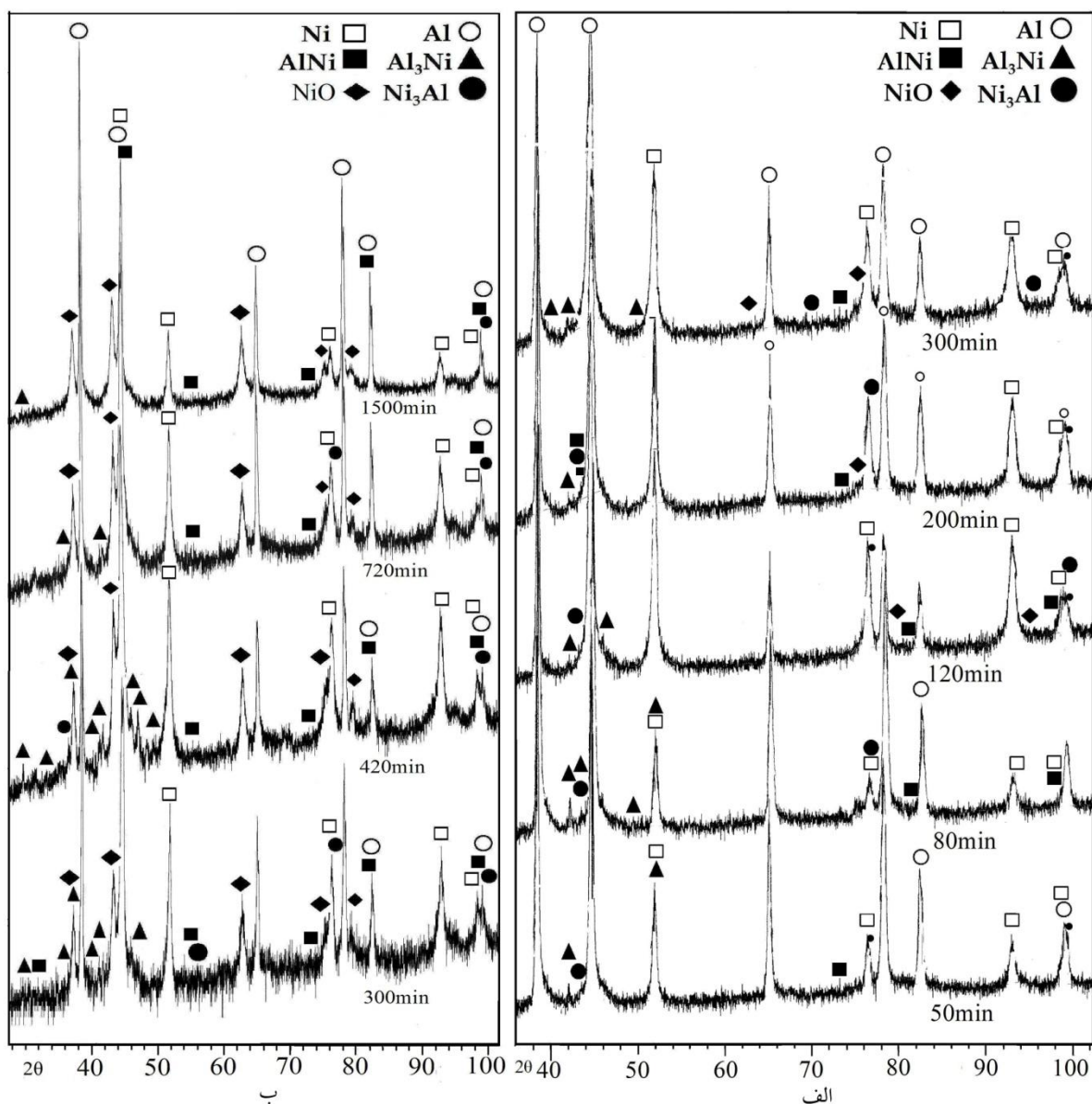
شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی نوری از پوشش‌های Ni در زمان‌های (الف) 20 min ، (ب) 50min ، (ج) 80min .



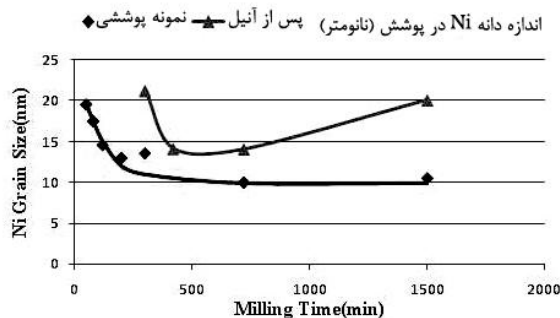
شکل ۲- تصاویر SEM از سطح مقطع نمونه‌های پوششی پس از الف و ب) 120min (ج) 300min (د) 420min (ه) 720min آسیاکاری و EDS از د.

جدول ۱- آنتالپی تشکیل ترکیبات بین فلزي Ni-Al

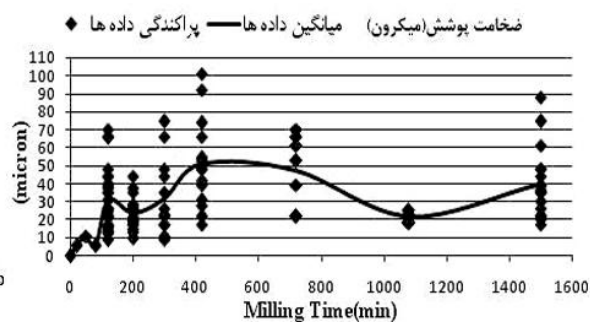
ترکیب	Ni ₃ Al	Al ₃ Ni	NiAl
$\Delta H_f (298^\circ) (j.mol^{-1})$	-153.134	-150.624	-118.407



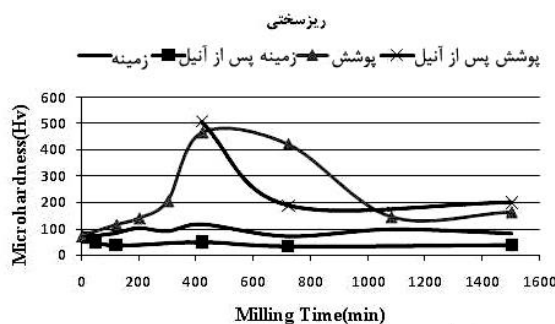
شکل ۳- الکوي پراش اشعه ایکس برای نمونه پوشش داده شده با 1g پودر Ni در زمان‌هاي داده شده در شکل الف) قبل از آنیل.ب) پس از آنیل در 550°C به مدت 330min.



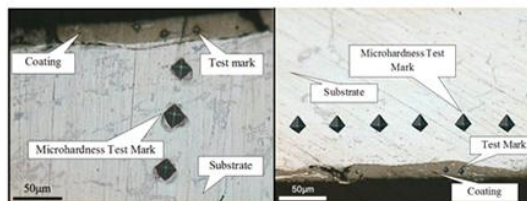
شکل ۵- اندازه دانه های Ni پوشش داده شده روی سطح Al با گذشت زمان آسیاکاری در دو حالت قبل از آنیل و پس از آنیل.



شکل ۴- ضخامت نمونه های پوشش داده شده با Ni با زمان آسیاکاری



شکل ۷- تغییرات ریزسختی زمینه و پوشش قبل و پس از آنیل



شکل ۶- آزمایش ریزسختی از نمونه های پوششی الف) ۴۲۰min آسیاکاری شده ب) ۱۵۰۰min آسیاکاری و آنیل شده.

Mechanochemical Coating on the Metal Plates by Mechanical Alloying Method

Pouriamanesh, R.¹ Vahdati, J². Yousefi, A³.

R_pouria2000@yahoo.com , vahdati@um.ac.ir , ayo799@mail.com

Abstract

Aluminum alloy substrate was coated by nickel powder by means of mechanical alloying (MA) method. Aluminum samples were in the form of cubic with 1×1×1cm dimensions which were ball-milled with nickel powder in a planetary ball-mill. During the mechanoactivation processing, the substrate surface was impacted by some flying balls along with particles of powder. The surface was hardened and activated as a result of the high-energy impact of balls. Ni-Al intermetallic phases were formed in the coating layer. Formation of such intermetallic phases increases the local temperature, which causes a better adherence of the nano-sized coat to the substrate. Coated samples were annealed at 550°C for 330min. Vickers microhardness measurement was performed on both substrate and coating. The microstructure of samples was also investigated by SEM and optical microscope. Chemical composition was analyzed by energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The final structure was studied by X-ray diffraction (XRD) analysis.

Key words: Mechanical alloying , mechanoactivation, coating , intermetallic

1-Master of Science student – The department of Metallurgy and Material Engineering – Engineering Faculty – Ferdowsi University of Mashhad. Iran. [Tel:09153050383](tel:09153050383)

2-Professor - The department of Metallurgy and Material Engineering – Engineering Faculty – Ferdowsi University of Mashhad. Iran. [Tel:05118763305](tel:05118763305)

3- Ph.D degree – Pare Tavoos Research Institute – Mashhad. Iran. [Tel: 05115420731](tel:05115420731)

