

اثر آلیاژسازی مکانیکی و عملیات حرارتی بر تغییر فاز مخلوط پودرهای Ni-Cr-Al

امیررضا شیرانی^۱، علی شکوه فر^۲، محمد حسین عنایتی^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مواد شناسایی و انتخاب مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
آدرس: کرج- رجایی شهر- انتهای بلوار مودن- ساختمان امام علی- دانشگاه آزاد کرج- دانشکده مهندسی مواد.
تلفن و email نویسنده مسول: ۰۹۱۳۱۲۸۰۴۱۳ Email: amir4738il@yahoo.com

۲- استناد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
آدرس: تهران- خیابان ملاصدرا- میدان ونک- دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
Email: shokuhfarali@yahoo.com

۳- استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان
آدرس: اصفهان- خیابان امام خمینی- فلکه دانشگاه- دانشگاه صنعتی اصفهان- دانشکده مهندسی مواد

Email: ena78@cc.iut.ac.ir

چکیده

در این کار تحقیقاتی ترکیبات $Ni_{50}Al_{50}$ و $Ni_{25}Cr_{25}Al_{50}$ (at%) تحت آلیاژسازی مکانیکی قرار گرفتند. تغییرات ساختاری ذرات پودر در طول آلیاژسازی مکانیکی توسط آزمون پراش اشعه ایکس (XRD) بررسی شد. نتایج حاکی از تشکیل ترکیب بین فلزی نانوکریستال NiAl منظم از ترکیب $Ni_{50}Al_{50}$ پس از آلیاژسازی مکانیکی و ترکیب بین فلزی نانوکریستال (NiCr)Al از ترکیب $Ni_{25}Cr_{25}Al_{50}$ پس از آلیاژسازی مکانیکی و عملیات حرارتی بود. مورفولوژی و ریزساختار ذرات پودر با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مشخصه یابی شدند. نتایج نشان داد در مراحل اولیه آلیاژسازی مکانیکی ساختار لایه ای از Ni، Cr و Al تشکیل شده که با ادامه فرایند آلیاژسازی این ساختار به محصول نهایی تغییر فاز داد.

واژه‌های کلیدی: آلیاژسازی مکانیکی، ترکیب بین فلزی، مواد نانو ساختار، CrNiAl

۱. مقدمه

ترکیب بین فلزی NiAl پس از ۳۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی اتفاق افتاد (۷).

گزارشات کمی در مورد آلیاژسازی مکانیکی پودرهای Ni-Al و عنصر سوم موجود است. لیو و همکاران (۲۰۰۱) تغییرات فازی و ساختاری در طول آسیاب سیستم سه تایی پودرهای Ni، Al و Ru را در طول آلیاژسازی مکانیکی بررسی کردند و سنتز ساختار تک فاز (Ru,Ni)Al را گزارش کردند (۹). آپاچیتی و همکاران (۱۹۹۷) تغییرات ساختاری در طول آلیاژسازی مکانیکی ترکیب پودر $Ni_{50}Al_{50-x}Se_x$ ($x=5, 10$) (at%) را بررسی کردند و اثبات کردند که حضور Se در سیستم Ni-Al منجر به تشکیل فاز آمورف می شود (۱۰). هانگ و همکاران (۲۰۰۹) سیستم Ni-Al-Ti را بررسی کردند و سنتز نانوکریستال $Ni_3(Al,Ti)$ ، Ni_2AlTi و فاز $Ni_3(Al,Ti)$ در طول آلیاژسازی مکانیکی این سیستم سه تایی گزارش کردند (۱۱). در این تحقیق آلیاژسازی مکانیکی پودر عناصر $Ni_{50}Al_{50}$ و $Ni_{25}Cr_{25}Al_{50}$ (at%) با هدف بررسی تغییرات فازی در طول آلیاژسازی مکانیکی و عملیات حرارتی انجام شد.

۲. مواد و روش ها

مواد اولیه آزمایش، پودرهای نیکل (۹۹٫۵٪ خلوص، اندازه دانه $20-100 \mu m$ ، مرک آلمان)، آلومینیوم (۹۹٫۵٪ خلوص، اندازه دانه $50-150 \mu m$ ، کارخانه متالورژی پودر خراسان) و کروم (۹۹٪ خلوص، اندازه دانه $400 \mu m$ ، مرک آلمان) بود. آلیاژسازی مکانیکی در آسیاب سیاره ای پرانرژی تحت اتمسفر آرگون جهت جلوگیری از اکسید شدن نمونه ها انجام شد. محفظه آسیاب شامل پنج گلوله

ترکیب بین فلزی NiAl به دلیل دارا بودن خواصی چون استحکام و نقطه ذوب بالا، مقاومت به اکسیداسیون و هدایت حرارتی بالا توجه بسیاری از محققین را به خود جذب کرده است (۱-۲). این خواص، NiAl را ماده ای مطلوب برای کاربرد های ساختاری کرده است. اما علیرقم مزایای ذکر شده، این ترکیب دارای نقطه ضعف بزرگی است و آن پلاستیسیته و چغرمگی کم آنها به خصوص در دماهای پایین و استحکام ضعیف در دماهای بالاست است که باعث عدم استفاده از این ترکیب بین فلزی به طور گسترده شده است (۳). چندین روش برای بهبود چغرمگی این ترکیب مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله می توان به اصلاح میکروساختار و کاهش اندازه دانه به کمک آلیاژسازی مکانیکی و آلیاژی کردن این ترکیب با عناصر دیگر نام برد (۴).

آلیاژسازی مکانیکی تاکنون جهت سنتز مواد نانوکریستال با موفقیت استفاده شده است. محققان زیادی سنتز ترکیب بین فلزی نانوکریستال NiAl را با آلیاژسازی مکانیکی پودر مواد اولیه گزارش کرده اند (۵-۸). آزمون (۱۹۹۱) نشان داد که در طول آسیاب این ترکیب واکنش خوداحتراقی اتفاق افتاده است (۵). زبیرال و همکاران (۱۹۹۲) گزارش کردند که آلیاژسازی با مکانیزم نفوذ یک عنصر در دیگری همراه بوده است (۶). مشرقی و مشکسار (۲۰۰۹) گزارش کردند که مکانیزم سنتز به صورت واکنش تدریجی گرمازا در طول آلیاژسازی مکانیکی بوده است (۷). عنایتی و همکاران (۲۰۰۸) آلیاژسازی مکانیکی NiAl را بررسی کردند و گزارش کردند که تشکیل

با قطر 20 mm، محفظه و گلوله ها از جنس فولاد کروم سخت شده و مجموع وزن پودر استفاده شده 16 گرم بود. تغییرات ساختاری ذرات پودر با آنالیز پراش اشعه ایکس با دستگاه Bruker ساخت کشور آلمان انجام شد. در این آزمایش از تشعشع Cu ka با طول موج 0.1506 نانومتر و فیلتر نیکل استفاده شد. روش ویلیامسون هال برای محاسبه اندازه کریستال ها و مقادیر کرنش شبکه به کار گرفته شد (12). مورفولوژی و ریزساختار ذرات پودر با میکروسکوپ الکترونی روبشی VEGA مدل Tuskan مشاهده شد. آنیل نمونه های آسیاب شده در دمای 800 °C برای 1 ساعت در کوره لوله ای انجام شد و تغییرات ساختاری ذرات پودر در طول آنیل با آنالیز پراش اشعه ایکس ارزیابی شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تغییرات فازی در طول آلیاژسازی

مکانیکی Ni₅₀Al₅₀

شکل 1 تغییرات الگوی XRD مخلوط اولیه پودر و آلیاژسازی مکانیکی شده Ni₅₀Al₅₀ در زمان های مختلف را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود در 5 ساعت آسیاب از شدت پیک های Ni و Al کاسته شده و عریض تر شده همچنین پیک های NiAl هم شروع به آشکار شدن کردند. در 15 ساعت آلیاژسازی مکانیکی تغییر فاز کامل مخلوط پودر های اولیه به ترکیب بین فلزی NiAl اتفاق افتاده و اثری از پیک های مواد اولیه دیده نمی شود. ادامه آلیاژسازی مکانیکی تا 50 ساعت منجر به تغییر خاصی در الگوهای XRD نشد. آنجلو و همکاران (2007) رفتار متفاوتی از آلیاژسازی مکانیکی ترکیب Ni₅₀Al₅₀ نشان دادند. آنها نشان دادند که در ابتدا ترکیب بین فلزی NiAl تشکیل شده و ادامه

آلیاژسازی مکانیکی منجر به تغییر فاز جزئی به محلول جامد فوق اشباع Ni(Al) شده است (13). حضور پیک های تفرق فوق شبکه برای ترکیب بین فلزی NiAl در زوایای تفرق 31.305°، 55.425° و 73.875 نشان داد که ترکیب تشکیل شده منظم است. جدول 1 اندازه کریستالی و کرنش شبکه ترکیب NiAl را نشان می دهد. همانطور که مشخص است سایز کریستالی در 5 ساعت 97 نانومتر بوده و با افزایش زمان آلیاژسازی مکانیکی تا 50 ساعت به 11 نانومتر کاهش یافته است.

شکل 2 تصاویر میکروسکوپ الکترونی از مخلوط پودر های Ni₅₀Al₅₀ را پس از (الف) 5 و (ب) 30 ساعت آلیاژسازی مکانیکی نشان می دهد. همانطور که تصاویر نشان می دهد شکل ذرات کروی است و تخمین اندازه ذرات پودر با استفاده از نرم افزار آنالیز عکس نشان داد که در 5 ساعت آلیاژسازی مکانیکی، اندازه ذرات 4 μm بوده که با ادامه آلیاژسازی مکانیکی در 30 ساعت به 1 μm رسیده است.

۳.۲. تغییرات فازی در طول آلیاژسازی مکانیکی

Ni₂₅Cr₂₅Al₅₀

شکل 3 تغییرات الگوی پراش اشعه ایکس برای مخلوط پودر اولیه، آلیاژسازی مکانیکی شده و پس از عملیات حرارتی ترکیب Ni₂₅Cr₂₅Al₅₀ را نشان می دهد. تغییرات ایجاد شده در ساختار داخلی ذرات پودر در اثر فرایند آلیاژسازی مکانیکی با روش پراش پرتو ایکس مطالعه گردید. در الگوی پراش اشعه ایکس قبل از آلیاژسازی مکانیکی، پیک های عناصر نیکل، کروم و آلومینیم دیده می شود. پس از گذشت 5 ساعت آلیاژسازی مکانیکی شدت پیک های عناصر اولیه کاهش یافته، همچنین به دلیل نزدیکی پیک های کروم و آلومینیم در بعضی از زوایا، همپوشانی

آنها نیز مشاهده شد. آنچنان که دیده شد در الگوی پراش مخلوط پودر $Ni_{50}Al_{50}$ (شکل ۱) در این زمان ترکیب بین فلزی $NiAl$ شروع به آشکار شدن کرده بود که می توان نتیجه گرفت احتمالاً به دلیل حضور عنصر کروم، تشکیل این ترکیب به تعویق افتاده است. پس از ۱۵ ساعت آلیاژسازی مکانیکی اثراتی از پیک ترکیب بین فلزی $NiAl$ مشاهده شد و دیگر اثری از پیک عناصر آلومینیوم و نیکل مشاهده نشد در حالیکه پیک های عنصر کروم هنوز موجود بود. این روند در ۳۰ ساعت نیز تغییر نکرد تا اینکه در ۵۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی تغییر موقعیتی در پیک های ترکیب بین فلزی $NiAl$ رخ داد که احتمالاً می تواند ناشی از نفوذ عنصر کروم در شبکه $NiAl$ و قرار گرفتن به جای اتم های نیکل و تشکیل محلول جامد فوق اشباع $(Ni,Cr)Al$ باشد. ادامه آلیاژسازی مکانیکی از ۵۰ تا ۶۰ ساعت باعث تغییری در الگوی پراش اشعه ایکس نشد.

در کار تحقیقاتی دیگری چن و همکاران (۱۹۹۷) رفتار مشابهی از آلیاژسازی مکانیکی سیستم $Ni-Cr$ گزارش کردند. آنها گزارش نمودند که در طول زمان آلیاژسازی هیچ اثری از ترکیبات $NiCr$ دیده نشد ولی با افزایش زمان آلیاژسازی مکانیکی، تغییر موقعیتی به سمت زوایای کمتر در پیک های نیکل مشاهده کردند. آنها دلیل این رفتار را این چنین گزارش کردند که احتمالاً عنصر کروم در شبکه نیکل نفوذ کرده و تشکیل محلول جامد $Ni(Cr)$ داده اند. آنها گزارش قاطع از این رفتار را نیاز به بررسی ها و آزمایشات بیشتری دانستند (۱۸).

۳.۳. بررسی پایداری حرارتی پودر $Ni_{25}Cr_{25}Al_{50}$

ساختار های نانوکریستالی و نانوکامپوزیتی به دلیل داشتن فصل مشترک گسترده از نظر

ترمودینامیکی شبه پایدار هستند و از این نظر با انجام عملیات حرارتی می بایست به ساختار های پایدار تری تبدیل شوند.

آخرین الگوی پراش در شکل ۳ ($60h + HT$)، پیک های پراش نمونه ۶۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی شده و در ادامه عملیات حرارتی شده برای ۱ ساعت در دمای $800^{\circ}C$ را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود پیک های محلول جامد $(Ni,Cr)Al$ پس از عملیات آنیل به طرف زوایای بیشتر جابه جا شده است که می توان آن را در بزرگنمایی بیشتر در زوایای $46-43=2\theta$ از شکل ۳ در شکل ۴ مشاهده کرد. جابجایی پیک های XRD پس از عملیات آنیل می تواند به دلیل تشکیل ترکیب بین فلزی سه تایی تعادلی $(NiCr)Al$ باشد.

به منظور بررسی بیشتر جهت پایداری حرارتی ترکیب $(NiCr)Al$ در دمای بالا، نمونه ۶۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی شده و عملیات حرارتی شده برای ۱ ساعت این بار برای ۲ ساعت تحت عملیات آنیل قرار گرفت. نتیجه الگوی XRD در شکل ۵(c) نشان داده شده است. مقایسه شکل ۵(c) و ۵(b) نشان داد که ساختار تشکیل شده پس از ۶۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی و ۱ ساعت آنیل شده ترکیب بین فلزی $(NiCr)Al$ بوده که حتی پس از ۲ ساعت عملیات آنیل نیز پایدار است.

سایز کریستالی و کرنش شبکه ترکیب بین فلزی $(Ni,Cr)Al$ پس از ۶۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی به ترتیب ۱۰ نانومتر و ۲/۲٪ بود که پس از عملیات آنیل به ۶۴ نانومتر و ۰/۳٪ تغییر کرد. محاسبات فوق برای نمونه ۲ ساعت آنیل شده نیز انجام گرفت که نشان داد اگرچه مقدار متوسط سایز کریستالی به ۶۸ نانومتر افزایش یافت ولی کرنش شبکه در ۰/۳٪ ثابت باقی مانده بود.

شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از شکل ذرات مخلوط پودر $Ni_{25}Cr_{25}Al_{50}$ (الف)

پس از ۵ ساعت و (ب) پس از ۶۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی را نشان می دهد. در ۵ ساعت شکل ذرات، بلور های هم محور را با اندازه ذرات $128 \mu\text{m}$ نشان می دهد. در ۶۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی شکل ذرات پودر نامنظم شده و چسبندگی ذرات پودر در شکل مشاهده شد همچنین اندازه ذرات پودر به $18 \mu\text{m}$ رسید.

شکل ۷ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع مخلوط پودر $\text{Ni}_{25}\text{Cr}_{25}\text{Al}_{50}$ را در ۲، ۵ و ۵۰ ساعت نشان می دهد. شکل ۷ (الف) نشان می دهد ساختاری لایه ای تشکیل شده از لایه های نیکل، کرم و آلومینیوم وجود دارد که می تواند به دلیل تکرار دو پدیده شکست و جوش سرد ذرات پودر باشد. با افزایش زمان آلیاژسازی مکانیکی به ۵ ساعت (ب) گسترده شدن این ساختار را در کل سطح مقطع مشاهده شد. افزایش زمان آلیاژسازی مکانیکی به ۵۰ ساعت (ج) نشان می دهد که اثری از ساختار لایه ای وجود نداشته و محصول نهایی تشکیل شده است.

۴. نتیجه گیری

آلیاژسازی مکانیکی ترکیب $\text{Ni}_{50}\text{Al}_{50}$ منجر به تشکیل تدریجی ترکیب بین فلزی NiAl با سایز کریستالی 11 nm شد. آلیاژسازی مکانیکی ترکیب $\text{Ni}_{25}\text{Cr}_{25}\text{Al}_{50}$ منجر به تشکیل ساختاری لایه ای از نیکل / کروم / آلومینیوم شد که با ادامه آلیاژسازی مکانیکی به محلول جامد $(\text{Ni}, \text{Cr})\text{Al}$ تغییر فاز داد. عملیات حرارتی آنیل برای ۱ ساعت و سپس ۲ ساعت در دمای 800°C منجر به تشکیل ترکیب ترکیب بین فلزی $(\text{NiCr})\text{Al}$ با سایز کریستالی به ترتیب ۶۳ و ۶۸ نانومتر شد. همچنین نتایج نشان داد با اضافه کردن عنصر کروم تشکیل ترکیب بین فلزی NiAl با تاخیر می افتد.

۵. مراجع

(۱). Albiter, A., Salazar, M., Bedolla, E, Drew, R.A.L. 2003. Microstructure characterization of the NiAl intermetallic compound with Fe, Ga and Mo addition obtained by mechanical alloying. journal of Material Science and engineering. A. 347: 154-164.

(۲). Stoloff, N. S, Liu, C. T , Deevi, S. C., 2000. Emerging applications of intermetallics. Intermetallics. 8: 1313-1320.

(۳). Chung-kwei Lin, Shi-Shen Hong, Pee-Yew lee. 2000. Formation of NiAl- Al_2O_3 intermetallic-matrix composite powders by mechanical alloying technique. Intermetallics. 8: 1043-1048.

(۴). Suryanarayana, C, 2001. Mechanical alloying and milling. Progress in material science. 46: 1-184.

(۵). Atzmon, M, 1991. Characterization of AlNi formed by a self-sustaining reaction during mechanical alloying. journal of Material Science and engineering, A. 134: 1326-1329.

(۶). Zbiral, J., Jangg, G., Sporer, D and Korb , G. 1992. Influences of heat treatments on the constitution and the recrystallization response of the γ' - strengthened ODS-Ni-base alloy PM 3030. Scripta Metallurgica et Materialia. 27: 1055-1060.

(۷) Mashreghi, A. Moshksar, M. M. 2009. Partial martensitic transformation of nanocrystalline NiAl intermetallic during mechanical alloying. Journal of Alloys and

mechanical alloying in Ni-Al-Ti system. Journal of Alloys and compound. 469: 483-487.

(۱۲). Williamson, G.K. and Hall, W.H. 1953. X-Ray broadening from field Aluminum and Wulfram. journal of Acta metallurgical. 1: 22-31

(۱۳). Anjelo, L.D., Gonzalez, G., Ochoa, G. 2007. Phase transformation study on Ni₇₅Al₂₅ and Ni₅₀Al₅₀ during mechanical alloying and sintering. Journal of alloys and compounds. 434-435: 348-353.

(۱۴). CHEN, Sh., ZHOU, Y and Li, Y. 1997. Synthesis and Characterization Nanocrystalline Ni-Ti and Ni-Cr powders by mechanical alloying. J. Matr. Sci. Technol.13: 86-90.

compounds. 482: 196-198.

(۱۵). Enayati, M.H., Karimzadeh, F., Anvari, S.Z. 2008. Synthesis of nanocrystalline NiAl by mechanical alloying. Journal of Material processing and technology. 200: 312-315.

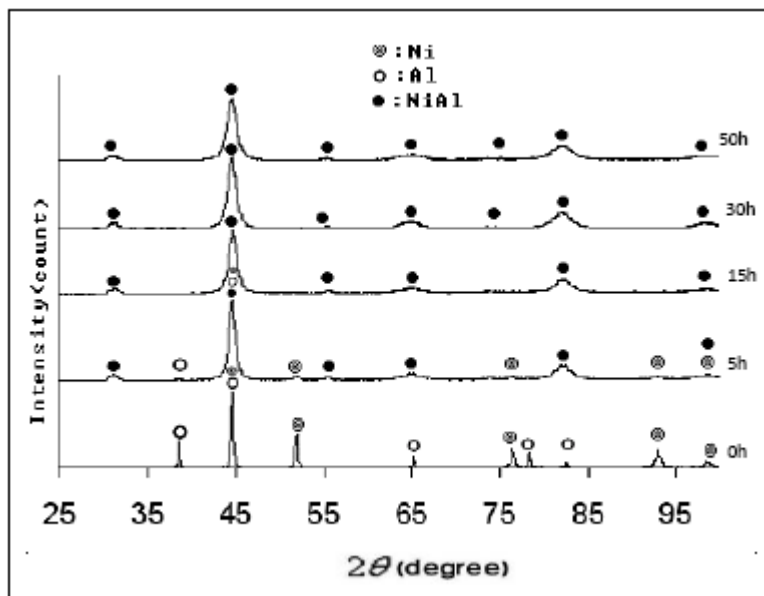
(۱۶). Liu, K.W., Mucklich, F., Pitschke, W., Birringer, R., Wetzig, K. 2001. Formation of nanocrystalline B₂-Structured (Ru,Ni)Al in the ternary Ru-Al-Ni system by mechanical alloying and its thermal stability. journal of Material Science and engineering, A, 313: 187-197.

(۱۷). Apachitei, I., Craus, L.M., Calugaru, GH. 1997. X-ray diffraction study on Ni-Al-Se amorphization by mechanical alloying. Journal of Alloys and compounds, 260: 135-138.

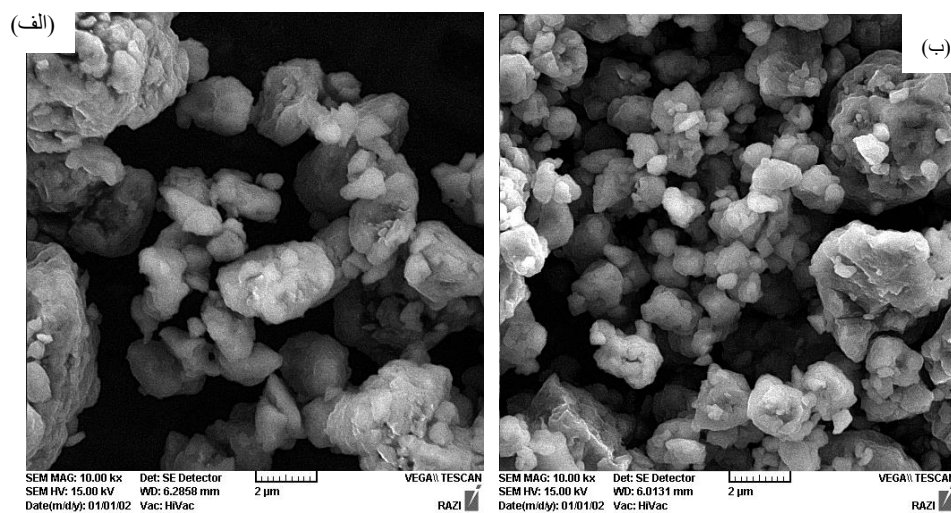
(۱۸). Hung-Hua Sheu, Le-Chun Hsiung, Jiun-Rung Sheu, J. 2009. Synthesis of multiphase intermetallic compounds by

جدول ۱. تغییرات سایز کریستالی و کرنش شبکه در زمان های مختلف آلیاژسازی مکانیکی.

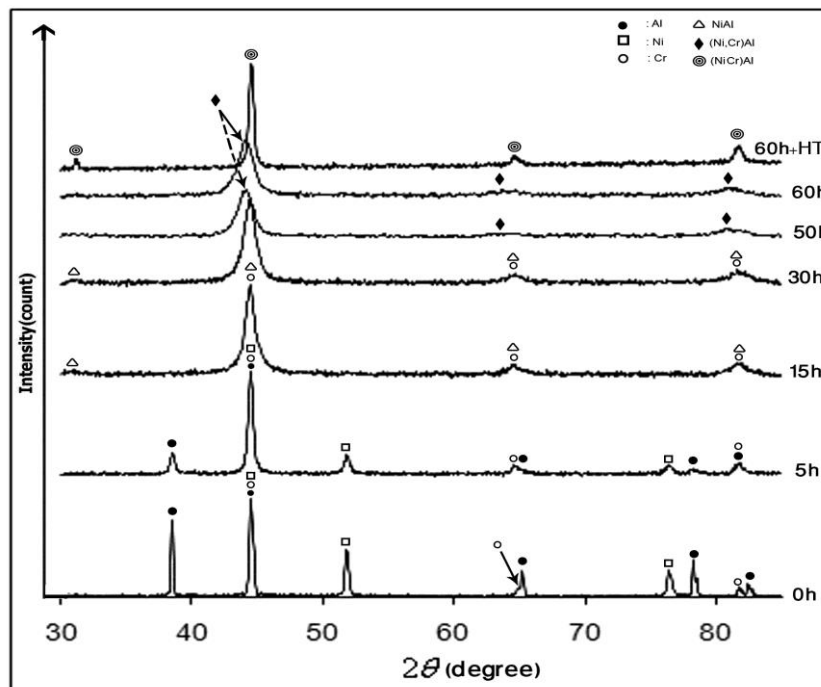
کرنش شبکه %	اندازه دانه (نانومتر)	زمان آسیاب (ساعت)
۰/۱۲	۹۷	۵
۰/۷۷	۳۳	۱۵
۲/۳	۲۰	۳۰
۲/۴	۱۱	۵۰



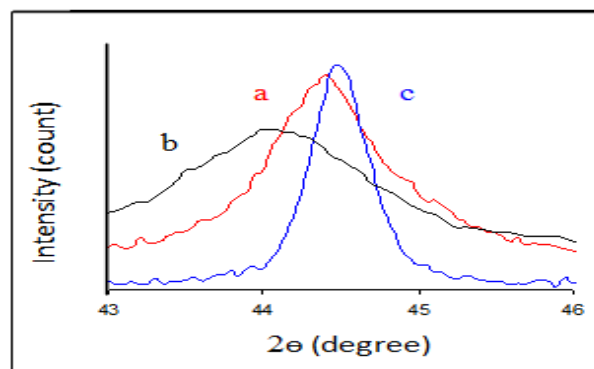
شکل ۱. تغییر الگوی پراش اشعه ایکس برای مخلوط پودر $Ni_{50}Al_{50}$ در زمان های مختلف آلیاژسازی مکانیکی



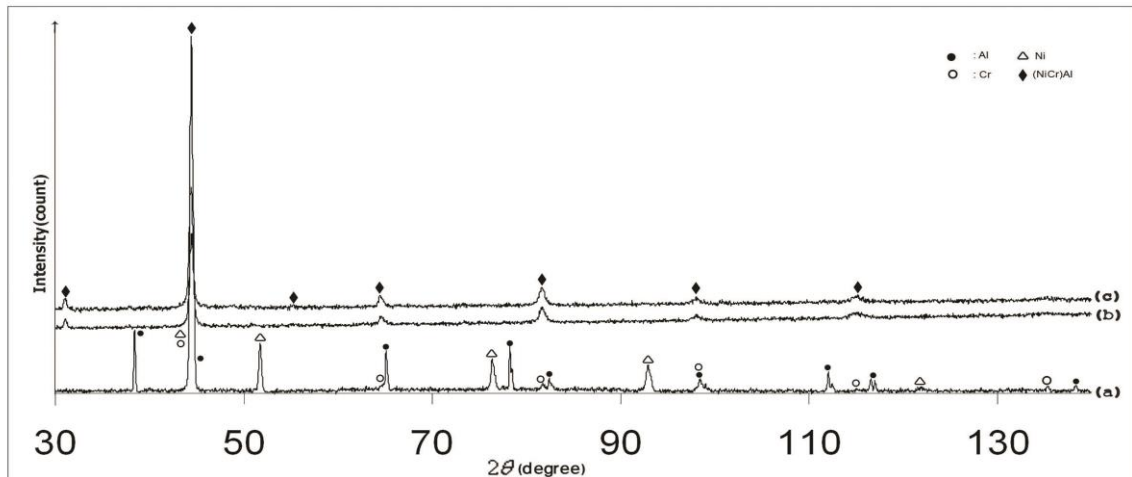
شکل ۲. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مورفولوژی مخلوط ذرات پودر $Ni_{50}Al_{50}$ (الف) پس از ۵ و (ب) ۳۰ ساعت.



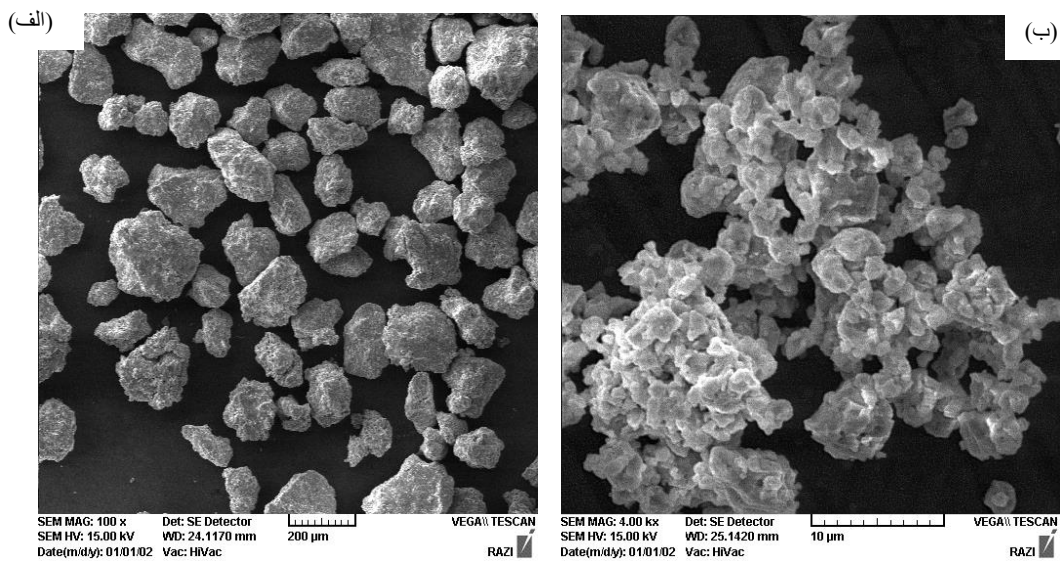
شکل ۳. الگوهای پراش اشعه ایکس مخلوط پودر $\text{Ni}_{25}\text{Cr}_{25}\text{Al}_{50}$ در زمان های مختلف آلیاژسازی مکانیکی و پس از عملیات حرارتی.



شکل ۴. مقایسه الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودر $\text{Ni}_{25}\text{Cr}_{25}\text{Al}_{50}$ (a) ۱۵ ساعت آلیاژسازی مکانیکی شده ، (b) ۶۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی شده و (c) ۶۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی شده و سپس ۱ ساعت عملیات آنیل.

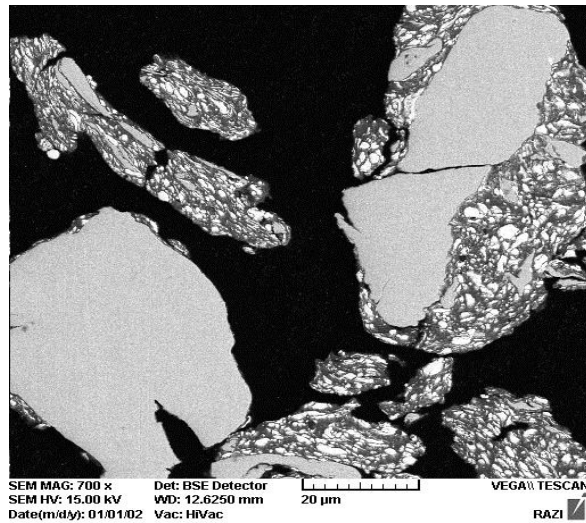


شکل ۵. مقایسه الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودر $\text{Ni}_{25}\text{Cr}_{25}\text{Al}_{50}$ (a) نمونه اولیه، (b) ۶۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی شده و سپس ۱ ساعت عملیات آنیل شده در دمای 800°C و (c) آنیل شده برای ۲ ساعت در دمای 800°C .

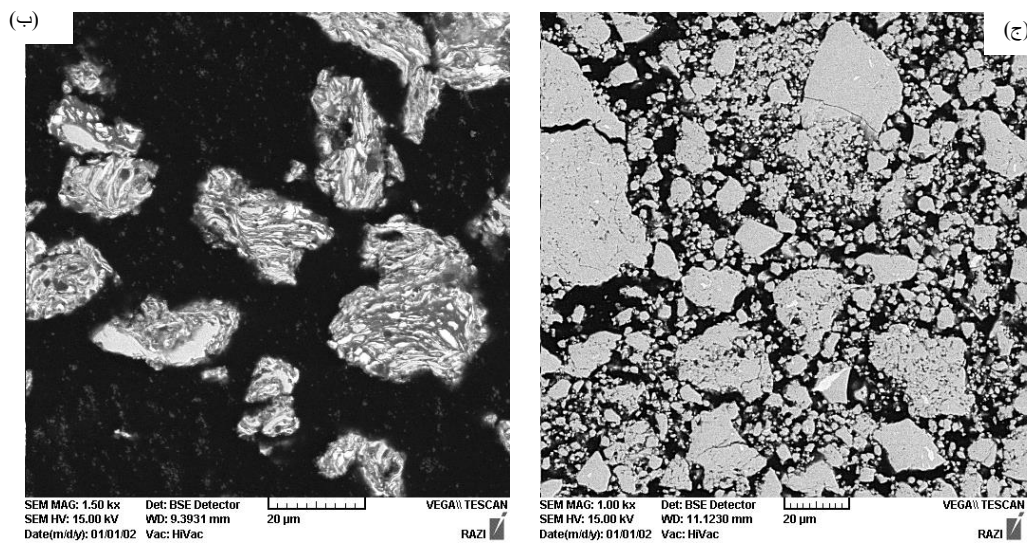


شکل ۶. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مورفولوژی ذرات پودر $\text{Ni}_{25}\text{Cr}_{25}\text{Al}_{50}$ پس از (الف) ۵۰ و (ب) ۵۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی

(الف)



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع مخلوط پودر $\text{Ni}_{25}\text{Cr}_{25}\text{Al}_{50}$ پس از (الف) ۲ ساعت آلیاژسازی مکانیکی



ادامه شکل ۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع مخلوط پودر $\text{Ni}_{25}\text{Cr}_{25}\text{Al}_{50}$ پس از (الف) ۲، (ب) ۵ و (ج) ۵۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی.

Effect of mechanical alloying and heat treatment process on the phase transformation of Ni-Cr-Al powders mixture

A.R. Shirani-Bidabadi^{a*}, A. Shokuhfar^b, M.H. Enayati^c

^{a*}Corresponding Author Address: Imam ali complex, Materials Engineering Department, Islamic Azda university of karaj, Karaj, Tehran, Iran.

Corresponding Author E-mail (amir4738_il@yahoo.com)

^bDepartment of Mechanical Engineering., K.N.Toosi University of Technology, vanac square, molla sadra street, Tehran, Iran

^cDepartment of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Daneshgah Blvd, Daneshgah square, Imam Khomeini street, Isfahan, Iran

Abstract

In this study Ni₅₀Al₅₀ and Ni₂₅Cr₂₅Al₅₀ were undergone mechanical alloying and heat treatment. The structural changes of powder particles during processes were studied by

X-ray diffraction (XRD). It appeared that there are different phase transformations after both treatments: $\text{Ni}_{50}\text{Al}_{50}$ formed a nanocrystalline, orderly NiAl intermetallic compound; on the other hand (NiCr)Al intermetallic which itself was produced from $\text{Ni}_{50}\text{Cr}_{25}\text{Al}_{25}$. The morphology and cross sectional area of the powder particles were characterized by scanning electron microscopy (SEM). The conclusion was that during initial stages of milling the layers of Cr, Ni, and Al are produced which subsequently are transformed into the final product upon further treatments.

Keywords: Mechanical alloying (MA), Intermetallic compounds, nanostructure materials, CrNiAl