نحوه استناد به این مقاله: پورعباس، محمد؛ قبیتی حسب، مهدی؛ حیدری مقدم، علی (۱۳۹۵). بررسی خواص کامپوزیت $Al-SiO_2$ ساخته شده به روش متالورژی پودر. تبدیل انرژی، ۲ (۱)، .....

بررسی خواص کامپوزیت $Al-SiO_2$ ساخته شده به روش متالورژی پودر

محمد پورعباس [۱]، مهدی قبیتی حسب [۲و*] و علی حیدری مقدم [۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک-ساخت و تولید، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: دی ۹۴، بازنگری: بهمن ماه ۹۴، پذیرش: فروردین ۹۴

چکیده

در این تحقیق، کامپوزیت آلومینیوم - سیلیس با روش متالورژی پودر و با مقادیر وزنی مختلف از پودرهای آلومینیوم و سیلیس ساخته شد. پس از اختلاط پودرها، پرس یکطرفه با فشار ۶۰۰ مگاپاسکال و فرایند زینتر با دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد تحت اتمسفر آرگون به مدت ۲ ساعت انجام شد. با ۱۰ گرم پودر، قرصهایی به قطر ۳ سانتی متر و ضخامت حدود ۵ میلی متر تهیه گردید. نتایج نشان داد که با افزایش درصد سیلیس، چگالی و سختی کامپوزیت کاهش می یابد. با افزودن سیلیس تا ۱۵ درصد، مقاومت به سایش کامپوزیت افزایش اما بیش از این مقدار، مقاومت به سایش افت کرد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** ghobeiti@ut.ac.ir

کلمات کلیدی: کامپوزیت آلومینیوم- سیلیس، چگالی، سختی، مقاومت به سایش، متالورژی پودر.

۱- مقدمه

آلومینیوم رایج ترین فلز مورد استفاده در کامپوزیت های زمینه فلزی است. از علل جذاب بودن این فلز به عنوان زمینه کامپوزیت ها می توان به چگالی کم، قابلیت استحکام بخشی با روش رسوب سختی، مقاومت به خوردگی خوب، هدایت حرارتی و الکتریکی بالای آن اشاره کرد [۱]. با افزودن فازهای سرامیکی سخت سیلیس، اکسید آلومینیوم و کاربید سیلیسیوم می توان خواص مکانیکی بخصوص مقاومت به سایش آلومینیوم را تقویت کرد [۲]. بدین ترتیب با ساخت کامپوزیت زمینه آلومینیومی و ذرات سرامیکی فوق الذکر ترکیبی از خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب حاصل می شود [۳]. این خواص در صنایع خودرو سازی و هوافضا مورد توجه بسیار هستند [۴]. روش ساخت و در نتیجه خصوصیات کامپوزیت حاصل همچون اندازه دانه زمینه، تخلخل و توزیع ذرات تقویت کننده به شدت بر خواص مکانیکی آن اثر گذار است [۵]. روش متالورژی پودر از میان سایر روش های ساخت به دو دلیل پایین بودن دمای فرایند و مناسب بودن توزیع فاز تقویت کننده در زمینه ترجیح داده می شود [۶]. مراحل این روش شامل مخلوط کردن پودرهای زمینه و تقویت کننده و سپس فشرده سازی آنها در یک قالب و در نهایت زینتر کردن آن در درجه حرارت مناسب است تا بر اساس نفوذ اتمی، ذرات به یکدیگر متصل و قطعه ای یکپارچه و مستحکم به دست آید [۷]. قطعه ای که دارای توزیع یکنواختی از فاز تقویت کننده در زمینه بوده و تخلخل ناچیز و به طبع چگالی بالا داشته باشد معمولا از لحاظ خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب می باشد [۸].

در تحقیق حاضر، کامپوزیت $Al-SiO_2$ به روش متالورژی پودر تهیه و خواص آن از قبیل چگالی، تخلخل، سختی و مقاومت به سایش آن مورد بررسی قرار می‌گیرند.

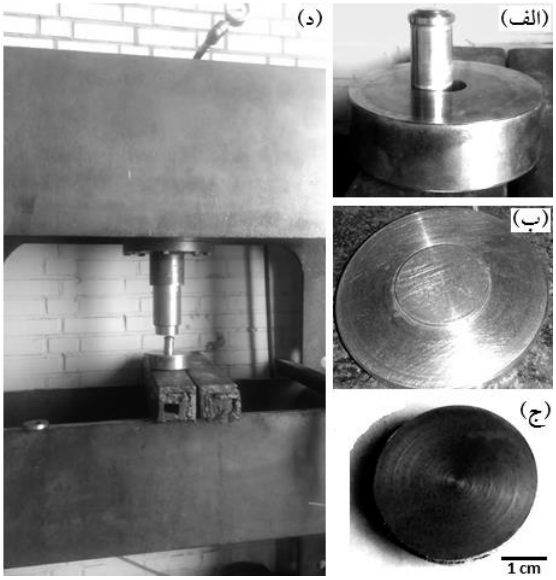
۲- مواد و روش انجام آزمایش

پودر آلومینیوم و پودر سیلیس هر کدام با اندازه ذرات کمتر از ۴۰ میکرون و خلوص بیش از ۹۹ درصد مورد استفاده قرار گرفتند. برای اختلاط پودرها از هم زن برقی استفاده شد. فشردن سرد به صورت یکطرفه با پرس هیدرولیک به ظرفیت ۱۰۰ تن و قالبی سه تکه از جنس فولاد VCN 200 با قطر داخلی ۳ سانتی متر انجام شد. از آنجا که چگالی تئوری آلومینیوم (۲/۷ گرم بر سانتی متر مکعب) و سیلیس (۲/۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب) نزدیک به هم هستند برای اختلاط پودرها، نسبت وزنی مورد نظر قرار داده شد. قرص هایی به قطر ۳ سانتی متر و ضخامت حدود ۵ میلی متر با نسبت های وزنی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1395.3.1.2.1]

مختلف سیلیس (۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) تهیه شد. برای ساخت هر نمونه، ۱۰ گرم پودر استفاده شد. برای پرس، فشار ۶۰۰ مگاپاسکال اعمال گردید. فرایند زینتر در یک کوره تیوبی تحت اتمسفر آرگون در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت انجام شد. در شکل(۱) قالب و پرس مورد استفاده و همچنین یک نمونه از قرص کامپوزیت تولیدی نشان داده شده است.



شکل(۱): (الف) بدنه قالب و سنبه متحرک، (ب) تکه پایین قالب، (ج) قرص تولید شده و (د) دستگاه پرس یکطرفه

چگالی بالک و تخلخل نمونه ها به روش ارشمیدس محاسبه و با یکدیگر مقایسه گردید. سختی نمونه ها با دستگاه سختی سنج برینل اندازه گیری شد. نرخ سایش نمونه ها توسط تست پین بر روی دیسک مورد ارزیابی قرار گرفت. جنس پین، فولاد کروم دار ۵۲۱۰۰ با نیروی اعمالی ۵ نیوتن، قطر چرخش۲ سانتی متر، سرعت چرخش خطی ۱۵ متر بر ثانیه و مسافت طی شده ۵۰۰ متر بود. توزیع ذرات تقویت کننده سیلیس در زمینه آلومینیوم با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ چگالی و تخلخل

چگالی تئوری، چگالی بالک و تخلخل نمونه ها به ترتیب بر اساس روابط (۱) تا (۳) محاسبه شدند.

(۱) چگالی تئوری = (کسر آلومینیوم × ۲٫۷۰) + (کسر سیلیس × ۲٫۶۵)

(۲) چگالی بالک = $W_1 /(W_3 - W_2)$

(۳) تخلخل = ۱ − (چگالی بالک / چگالی تئوری)

W_1 وزن نمونه خشک، W_2 وزن نمونه غوطه ور در آب و W_3 وزن نمونه اشباع از آب است. برای تهیه نمونه اشباع، آن را به مدت دو ساعت در آب جوش قرار داده و پس از خارج کردن از آب جوش، بلافاصله در آب سرد خنک کرده و سپس سطح آن را با پارچه مرطوب پاک می کنند. نتایج در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس مقادیر جدول (۱) با افزایش مقدار سیلیس چگالی کامپوزیت کاهش می یابد. از آنجا که چگالی تئوری سیلیس از آلومینیوم کمتر است این نتیجه قابل انتظار بود. دلیل دیگر این است که با افزایش سیلیس که فازی سرامیکی و سخت است، شکل پذیری کامپوزیت مشکل تر و در نتیجه فشردگی آن کمتر می شود. از طرفی قرار گیری ذرات سیلیس که نقطه ذوب بسیار بالایی دارند (۱۶۰۰ درجه سانتی گراد) در بین ذرات آلومینیوم با نقطه ذوب پایین (۶۶۰ درجه سانتی گراد) مانع نفوذ اتمی بین ذرات آلومینیوم شده و اتصال و فشردگی آنها به خوبی صورت نمی گیرد.

جدول(۱): مقایسه چگالی و تخلخل نمونه های تهیه شده با درصد مختلف سیلیس

مقدار سیلیس (%wt.)	چگالی تئوری (g/cm^3)	چگالی بالک (g/cm^3)	تخلخل (%vol.)
۰	۲٫۷۰۰۰	۲٫۶۶۳	۱٫۳۷
۵	۲٫۶۹۷۵	۲٫۶۴۷	۱٫۸۷
۱۰	۲٫۶۹۵۰	۲٫۶۱۶	۲٫۹۳
۱۵	۲٫۶۹۲۵	۲٫۶۰۳	۳٫۳۲
۲۰	۲٫۶۹۰۰	۲٫۵۸۲	۴٫۰۱

۳-۲ سختی

نتایج آزمون سختی سنجی مربوط به نمونه های تهیه شده با درصدهای مختلف سیلیس در جدول(۲) ارائه شده است. بر اساس جدول(۲) با افزایش در صد فاز تقویت کننده (سیلیس)، سختی کامپوزیت کاهش می یابد که علت آن می تواند کاهش چگالی و افزایش تخلخل باشد (جدول(۱)).

جدول(۲): مقایسه سختی نمونه های تهیه شده با درصد مختلف سیلیس

مقدار سیلیس (%wt.)	سختی (HB)
۰	۶۳٫۹
۵	۶۳٫۶
۱۰	۶۰٫۷
۱۵	۶۰٫۵
۲۰	۵۹٫۱

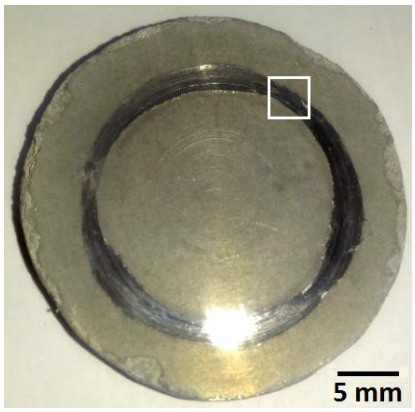
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-06]

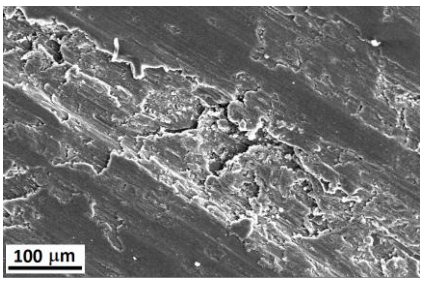
[DOR: 20.1001.1.20089813.1395.3.1.2.1]

وقتی ذرات سیلیس به زمینه آلومینیوم اضافه می شوند و نمونه تحت پرس قرار می‌گیرد ذرات آلومینیوم و سیلیس به علت تفاوت در مورفولوژی، به خوبی در کنار یکدیگر قرار نگرفته و فضاهای خالی و تخلخل در کامپوزیت ایجاد می شود. این عدم پیوستگی در ماده موجب می شود سختی کاهش یابد.

۳-۳ مقاومت به سایش

نتایج تست سایش، ارائه شده در جدول(۳)، نشان می دهد که با افزایش میزان سیلیس تا ۱۵ درصد، نرخ سایش کاهش می یابد. متناسب با کاهش در نرخ سایش، ضریب اصطکاک نیز کاهش می یابد. ولی با افزایش میزان سیلیس به ۲۰ درصد با توجه به اینکه پیوستگی زمینه کم می شود، نرخ سایش افزایش می یابد. به علاوه در این نمونه ذرات سخت سیلیس کنده شده از زمینه بین پین و دیسک قرار گرفته و ایجاد پدیده سایش سه جسمی نموده و سایش را تشدید و ضریب اصطکاک را افزایش می دهند. شکل(۲)، سطح سایش یافته کامپوزیت $Al\text{-}\%15SiO_2$ را نشان می‌دهد.





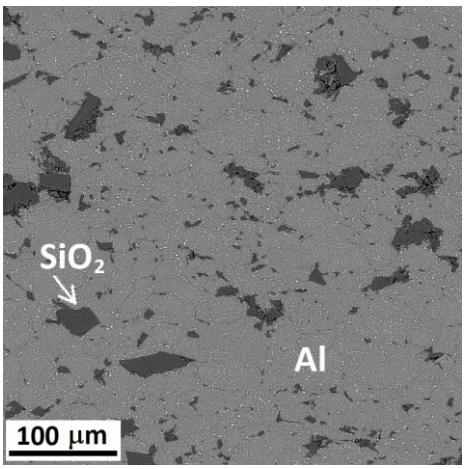
شکل(۲): سطح سایش یافته کامپوزیت $Al\text{-}\%15SiO_2$

۳-۴ ریز ساختار

شکل(۳) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ریزساختار نمونه شامل ۱۵ درصد سیلیس، زینتر شده در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت تحت اتمسفر آرگون را نشان می دهد. توزیع نسبتا یکنواخت ذرات سیلیس در زمینه آلومینیوم به خوبی مشهود است.

جدول(۳): مقایسه نرخ سایش و ضریب اصطکاک نمونه های کامپوزیتی تهیه شده با مقادیر مختلف سیلیس

مقدار سیلیس (%wt.)	نرخ سایش ($mm^3/N.M$)	ضریب اصطکاک
۰	۰٫۰۰۶۰۷	۲٫۲۴۸
۵	۰٫۰۰۲۵۳	۱٫۸۵۱
۱۰	۰٫۰۰۲۲۸	۱٫۱۵۸
۱۵	۰٫۰۰۰۵۲	۰٫۸۲۲
۲۰	۰٫۰۰۶۴۹	۱٫۹۱۵

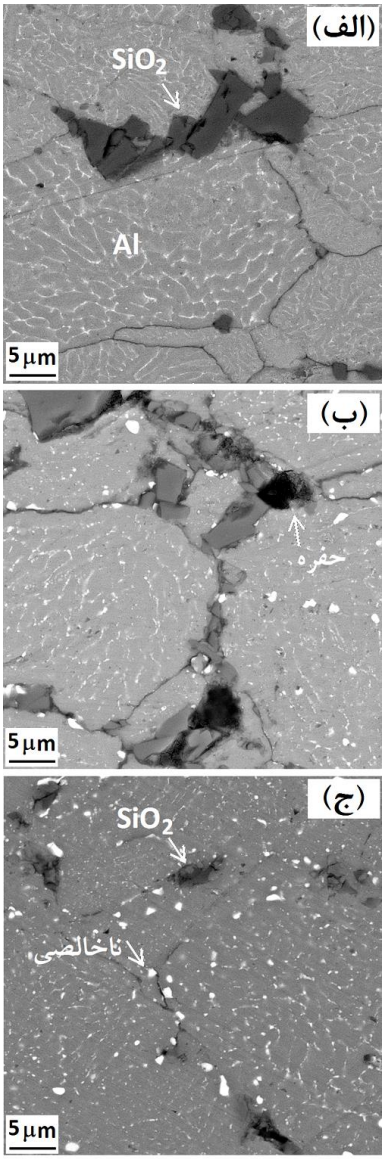


شکل(۳): ریز ساختار کامپوزیت $Al\text{-}\%15SiO_2$

در شکل(۴) کامپوزیت $Al\text{-}\%15SiO_2$در سه شرایط زینتر نشده، زینتر شده در هوا و زینتر شده تحت اتمسفر آرگون نشان داده شده است. در نمونه زینتر نشده، فصل مشترک ذرات یا به عبارتی مرز دانه ها به خوبی مشخص است. در نمونه زینتر شده در هوا، لایه اکسید آلومینیوم در سطح ذرات آلومینیوم تشکیل شده و مانع نفوذ اتمی گردیده، لذا مرز دانه ها کاملا مشخص بوده و در نتیجه انتظار می رود که قطعه یکپارچگی لازم را پس از زینتر کردن به دست نیاورده باشد. اما در نمونه زینتر شده در اتمسفر آرگون، ذرات به خوبی با هم جوش خورده اند و مرز دانه ها بطور واضح قابل تشخیص نیستند؛ لذا در متالورژی پودر آلومینیوم استفاده از یک اتمسفر زینتر خنثی همچون گاز آرگون ضرورت دارد. ذرات ریز سفید رنگ موجود در تصاویر میکروسکوپی، ترکیبات بین فلزی حاصل از عناصر ناخالصی موجود در پودرهای اولیه هستند.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1395.3.1.2.1]



شکل(۴): تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه $Al\text{-}15\%\ SiO_2$ (الف) زینتر نشده، (ب) زینتر شده در هوا، (ج) زینتر شده در اتمسفر آرگون

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، کامپوزیت Al-SiO2 با استفاده از روش متالورژی پودر ساخته شد. نتایج حاصل از بررسی ها به شرح زیر است:

۱- با افزایش درصد سیلیس، چگالی کامپوزیت حاصل کاهش و درصد تخلخل آن افزایش می یابد.

۲- با افزودن سیلیس به ترکیب کامپوزیت، سختی کاهش می یابد.

۳- با افزودن سیلیس تا ۱۵ درصد وزنی به کامپوزیت، مقاومت به سایش کامپوزیت افزایش می یابد، اما افزودن سیلیس بیش از این مقدار موجب کاهش مقاومت به سایش آن می شود.

۴- برای جلوگیری از اکسایش سطحی ذرات آلومینیوم طی فرایند زینتر، استفاده از اتمسفری خنثی همچون آرگون ضرورت دارد.

مراجع

[1] M. Rahimian, N. Parvin, N. Ehsani, The effect of production parameters on microstructure and wear resistance of powder metallurgy Al-Al_2O_3 composite, Mater. Des, 32 (2011) 1031–1038.

[2] M. Rahimian, N. Ehsani, N. Parvin, H.R. Baharvandi, The effect of particle size, sintering temperature and sintering time on the properties of Al–Al_2O_3 composites made by powder metallurgy, J. Mater. Proc. Tech., 209 (2009) 5387–5393.

[3] H.L. Rizkalla, A. Abdulwahed, Some mechanical properties of metal-nonmetal Al-SiO_2 particulate composites, J. Mater. Proc. Tech., 56 (1996) 398–403.

[4] G. Abouelmagd, Hot deformation and wear resistance of P/M aluminum metal matrix composites, J. Mater. Proc. Tech., 155–156 (2004) 1395–1401.

[5] L.A. Dobrzanski, A. Weodarczyk, M. Adamiak, The structure and properties of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the BN or Al_2O_3 ceramic particles, J. Mater. Proc. Tech., 175 (2006) 186–191.

[6] K.H. Min, S.P. Kang, D.G. Kim, Y.D. Kim, Sintering characteristic of Al_2O_3-reinforced 2xxx series Al composite powders, J. Alloys Compd., 400 (2005) 150–153.

[7] B.G. Park, A.G. Crosky, A.K. Hellier, Materials characterization and mechanical properties of Al_2O_3–Al metal matrix composites, J. Mater. Sci., 36 (2001) 2417–2426.

[8] A. Slipenyuk, V. Kuprin, Y. Milman, V. Goncharuk, J. Eckert, Properties of P/M processed particle reinforced metal matrix composites specified by reinforcement concentration and matrix-to-reinforcement particle size ratio, Acta Mater., 54 (2006) 157–166.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1395.3.1.2.1]