

به نام خدا



# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## بهینه سازی روش متالورژی پودر در تولید کامپوزیت رشته ای آلومینیم بازالت

فرشید عهدی<sup>۱</sup>، فرشاد اخلاقی<sup>۲</sup>

### چکیده

کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای، به دلیل اینکه فاز تقویت کننده در آنها به طور پیوسته در فاز زمینه قرار می گیرد، دارای خواص و ویژگی های منحصر به فردی هستند. این دسته از کامپوزیت ها در مقایسه با کامپوزیت های زمینه فلزی تقویت شده ذره ای، دارای استحکام و سفتی ویژه بالاتری بوده و نیز رفتار آنیزوتروپیک از خود نشان می دهند. از الیاف بازالت معمولاً به عنوان یک فاز تقویت کننده پیوسته که دارای خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوبی بوده و در مقایسه با سایر الیاف (گرافیت، آلومینا، SiC و ...) دارای قیمت مناسبی است، در ساخت کامپوزیت های زمینه پلیمری استفاده می شود. از این الیاف تنها در یک تحقیق جهت تولید کامپوزیت های زمینه فلزی استفاده شده است، که به دلیل استفاده از روش ذوبی در فراوری کامپوزیت مذکور، الیاف بازالت صدمه دیده و استحکام کامپوزیت به شدت افت کرده است. به دلیل پائین تر بودن دمای فرایندهای حالت جامد نسبت به روش های ذوبی، در این تحقیق روش متالورژی پودر جهت تولید کامپوزیت آلومینیم-بازالت بهینه سازی شده است. برای توزیع یکنواخت ذرات پودر آلومینیم در میان الیاف بازالت، نیاز به یک ماده واسطه پلیمری (چسب) می باشد. بر این اساس سه نوع چسب پلیمری انتخاب شده و مشخصات آنها از قبیل قابلیت رقیق شوندگی، میزان آلودگی، خاکستر باقیمانده و دمای سوختن آنها مورد بررسی قرار گرفت. نهایتاً پلیمر پلی متیل متاکریلات به همراه حلال تولوئن به عنوان چسب مناسب این فرایند انتخاب شد. جهت فراوری این کامپوزیت روش لایه گذاری پیوسته مورد بررسی قرار گرفته و بهینه سازی شد. به کمک روش لایه گذاری پیوسته پیش شکل هایی با توزیع مناسب الیاف در زمینه تهیه شد. پیش شکل ها در شرایط بهینه از نظر دما، زمان و فشار تحت پرس گرم قرار گرفته و در نهایت کامپوزیت آلومینیم-بازالت فراوری شد. بررسی های انجام شده توسط میکروسکوپ های نوری و الکترونی مبین توزیع نسبتاً مناسب الیاف در زمینه می باشد.

واژه های کلیدی: کامپوزیت آلومینیم-بازالت، چسب پلی متیل متاکریلات، لایه گذاری پیوسته، متالورژی پودر دوغابی

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب (تحصیلات تکمیلی)

۲. دانشیار دانشکده مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه تهران

## مقدمه

بازالت یکی از مهمترین سنگ های تشکیل دهنده پوسته زمین می باشد. این سنگ تیره، سخت و چگال از دسته سنگ های آذرین بوده و در اغلب کشورهای جهان یافت می شود. فرایند تولید الیاف بازالت تا حدود زیادی مشابه فرایند تولید الیاف شیشه می باشد. بدین ترتیب در یک فرایند پیوسته سنگ های بازالت در دمایی در حدود ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد ذوب شده و مذاب آن از طریق رشتن تبدیل به الیاف می شود. در جدول (۱) ترکیب شیمیایی متداول الیاف بازالت در مقایسه با الیاف شیشه نوع E آورده شده است. از لحاظ اقتصادی، قیمت الیاف بازالت کمتر از الیاف شیشه نوع S و بیشتر از الیاف شیشه نوع E است. الیاف بازالت دارای خواص مکانیکی مطلوبی بوده و به علت داشتن ویژگی هایی نظیر عایق بودن در برابر صوت، الکتریسیته و گرما و نیز مقاومت شیمیایی بسیار خوب، کاربردهای متنوعی پیدا کرده اند. یکی از کاربردهای این الیاف استفاده از آنها در تولید کامپوزیت های زمینه پلیمری می باشد [۴-۱].

جدول ۱: ترکیب شیمیایی الیاف بازالت در مقایسه با الیاف شیشه نوع E بر حسب درصد وزنی [۱]

ترکیب شیمیایی								نوع الیاف
NaO + K <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	B <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	
4-5%	3-5%	15-18%	7-12%	0.8-2.3%	6-9%	<1%	48-59%	بازالت
0-1%	0-5%	12-14%	<1%	0-1.5%	21-24%	5-10%	52-56%	شیشه نوع E

علیرغم کاربرد نسبتاً وسیع الیاف بازالت در کامپوزیت های زمینه پلیمری، تا کنون تحقیقات خاصی در جهت استفاده از این الیاف در کامپوزیت های زمینه فلزی صورت نگرفته است، تنها در یک تحقیق [۵] کامپوزیت آلومینیم-بازالت از طریق روش های ذوبی فراوری شده است، که به علت بالا بودن دمای فرایند تولید، الیاف به شدت صدمه دیده و کامپوزیت تهیه شده خواص مکانیکی مطلوبی نداشته است. از این رو نیاز به بررسی امکان فراوری این کامپوزیت از طریق روش های حالت جامد وجود دارد. روش متالورژی پودر دوغابی یکی از روش های فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای در حالت جامد می باشد. در این روش به کمک مخلوط کردن ذرات پودر فاز زمینه با یک چسب فرار، دوغاب پودری بدست می آید. این دوغاب ممکن است به صورت یک نوار پودری، یا یک نوار الیافی (دسته الیاف) پوشش داده شده با پودر، و یا تک لیف پوشش داده شده با پودر، نورد و یا شکل داده شود. بدین ترتیب با این روش پیش شکل هایی (پریفرم) حاوی الیاف و پودر تهیه شده و در نهایت این پیش شکل ها تحت عملیات متراکم سازی قرار می گیرند. طی این عملیات چسب دوغاب پودری تجزیه شده و نمونه نیز تحت پرس گرم متراکم می گردد. بدین ترتیب طی یک فرایند نفوذی کامپوزیت زمینه فلزی رشته ای از طریق روش متالورژی پودر فراوری می شود [۸-۶]. در این پژوهش سعی شده است تا فرایند متالورژی پودر دوغابی جهت فراوری کامپوزیت آلومینیم-بازالت بهینه سازی شود.

## مواد و روش تحقيق

الياف بازاليت مورد استفاده در اين تحقيق محصول کشور اوکراين می باشد. اين الياف به صورت دسته ای بوده و هر دسته شامل ۱۱۲۴ ليف ۱۰ میکرونی است. چگالی اين الياف  $2/816 \text{ g/cm}^3$  بوده و سطح مقطع هر دسته از الياف  $10^{-8} \times 8/8288 \text{ m}^2$  می باشد [۵].

فاز زمينه مورد بررسی در اين تحقيق آلياژ آلومينيم A413 می باشد. بدین منظور از روش SAMD جهت توليد پودر A413 بهره برده شده است. در اين روش مخلوطی از مذاب آلياژ آلومينيم به همراه ذرات آلومينا (به عنوان عامل اتميزه کننده) توسط هم زن الکتریکی هم زده می شود و انرژی حرکتی در دو جهت شعاعی و محوری به ذرات آلومينا منتقل شده و اين ذرات باعث متلاشی شدن مذاب آلومينيم می شوند. اين ذرات مذاب متلاشی شده پس از کاهش دما و سرد شدن تبديل به ذرات پودر آلومينيم می شوند [۹و۱۰]. به منظور تهيه پودر آلومينيم A413 به روش SAMD از ذرات  $\text{Al}_2\text{O}_3$  با حداکثر اندازه ۶۰۰ میکرون (مش ۳۰) استفاده شد. در هر بار ۲۰ گرم شمش آلومينيم A413 به همراه ۶۰ گرم  $\text{Al}_2\text{O}_3$  درون بوته ای ريخته شده و تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد در داخل یک کوره مقاومتي حرارت داده شد تا شمش آلومينيم ذوب شود. سپس مخلوط حاصل به کمک یک هم زن برقی با پروانه گرافیتی با سرعت ۱۴۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه هم زده شد. پس از آن عمل هم زدن در خارج از کوره به مدت ۱۵ دقیقه ادامه داده شد. سرانجام اين مخلوط بر روی یک صفحه فلزی ريخته شده و سرد گردید. سپس توسط یک الک مش ۳۵ ذرات  $\text{Al}_2\text{O}_3$  به همراه ذرات بزرگ آلومينيم از بقيه پودر آلومينيم جدا شده و پودر آلومينيم A413 با اندازه ۵۰۰- میکرون تهيه گردید. با انجام اين کار در دفعات متوالی، به مقدار مورد نیاز پودر آلومينيم A413 توليد شد. از آنجائیکه با کاهش اندازه پودر، امکان نفوذ آنها بين الياف افزايش می يابد، لذا در اين تحقيق پودرهای ۵۰۰- میکرونی تهيه شده نیز با الک ۲۱۲ میکرونی (مش ۷۰) دوباره الک شده و از پودرهای ۲۱۲- میکرونی جهت فراوری کامپوزيت استفاده شد.

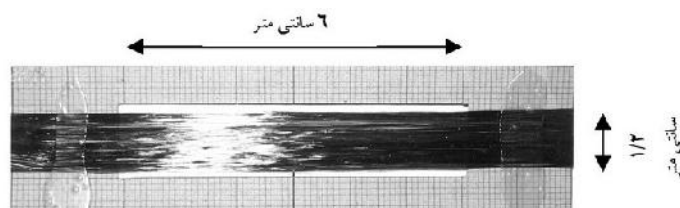
یکی از پارامترهای مهم در فرايند متالورژی پودر دوعابی انتخاب صحيح سيستم چسب می باشد. سيستم یک چسب شامل چسب و ماده رقيق کننده (حلال) آن می باشد. در اين تحقيق دو نوع چسب تجاری با نام های Allplast و PVC به همراه چسب پلی متيل متاکريلات (PMMA) مورد بررسی قرار گرفتند. چسب PMMA به دليل کاربرهای خاص آن به صورت تجاری در دسترس نمی باشد. لذا در اين تحقيق اين چسب از مواد اولیه اش تهيه شده است. برای اين کار صفحاتی از جنس پلی متيل متاکريلات با نام تجاری پلکسی گلاس به کمک دریل برقی ماشین کاری شده و براده های حاصل به کمک یک هاون خرد شده و پودری از جنس پلی متيل متاکريلات بدست آمد. اين پودر در داخل حلال مناسب (تولون) ريخته شده و به مدت ۳۰ دقیقه به شدت هم زده شد. بدین ترتیب چسب PMMA تهيه گردید.

در اين بخش پارامترهای نوع حلال، ميزان خاکستر باقی مانده و آلودگی چسب ها مورد بررسی قرار گرفت. پس از انتخاب چسب مناسب پارامتر دمای سوختن نیز بررسی شد. ابتدا چسب های مذکور در

حلالهای بنزین، الکل، استون و تولوئن حل شده و حلال مناسب جهت رقیق کردن چسب ها انتخاب شد. در نهایت با حرارت دادن چسب ها (در حالت Cure شده) در یک کوره مقاومتی میزان آلودگی چسب ها به کمک توزین خاکستر باقی مانده تعیین شد.

به طور کلی از روش های متالورژی پودر دوغابی جهت فراوری کامپوزیت هایی استفاده می شود که در آنها فاز تقویت کننده به صورت مونوفیلانت است، که در این صورت قطر الیاف در حدود ۱۰۰ میکرون می باشد. در صورتیکه الیاف بازالت مورد استفاده در این تحقیق به صورت دسته ای بوده و قطر هر لیف در حدود ۱۰ میکرون است، لذا می بایست روش های فراوری کامپوزیت برای این نوع الیاف بهینه سازی شوند.

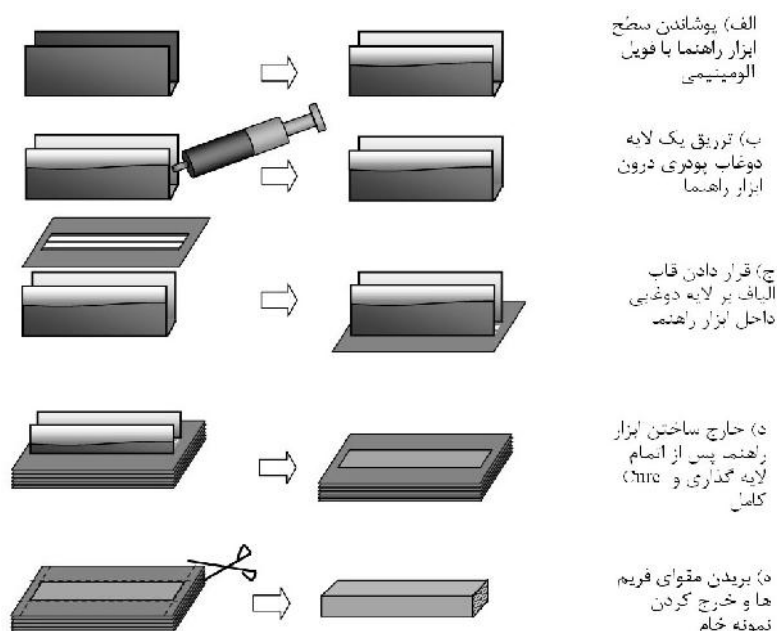
در این تحقیق روشی به نام لایه گذاری پیوسته جهت فراوری کامپوزیت آلومینیم-بازالت بهینه سازی شده است. این فرایند تلفیقی از روش های مختلف تکنیک متالورژی دوغابی می باشد. در این روش قاب هایی از جنس مقوا با ابعاد  $6 \times 1/2$  سانتی متر تهیه شده و در هر قاب به کمک چسب مایع ۵ ردیف دسته الیاف بازالت چسبانده شد. در شکل (۱) تصویر این قاب نشان داده است. سپس قطعه ای به نام ابزار راهنما از یک ورق فولاد گالوانیزه به قطر ۰/۵ میلی متر تهیه شد. ابعاد کف این قطعه  $6 \times 1/2$  سانتی متر بوده و ارتفاع آن ۳ سانتی متر بود. در مرحله بعد دوغاب پودری با غلظت مناسب تهیه شده و درون یک سرنگ ۶۰ میلی لیتری ریخته شد. بدین ترتیب قاب های حاوی الیاف بازالت بر روی ابزار راهنمای پوشش داده شده با یک فویل آلومینیمی، قرار داده شده و بین هر قاب با قاب مجاورش مقداری دوغاب پودری تزریق شد. پس از آنکه لایه گذاری به تعداد مورد نظر انجام شد، به نمونه ۴۸ ساعت فرصت داده شد تا چسب آن به طور کامل Cure شود. سپس مقواهای فریم به دقت برش خورده و از نمونه جدا شد. بدین ترتیب نمونه خام نهایی در پوششی از فویل آلومینیمی بدست آمد. این روش به دلیل اینکه نمونه خام در آن به طور پیوسته تهیه گردیده است به نام روش لایه گذاری پیوسته نام گذاری شد. در شکل (۲) شماتیک مراحل این روش نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر قاب های مورد استفاده در روش لایه گذاری پیوسته.

نمونه های خام (پیش شکل ها) تولید شده با این روش تحت پرس گرم قرار گرفتند. الیاف بازالت مورد استفاده در این تحقیق نسبت به دما حساس بوده و طبق بررسی های انجام شده در مطالعات پیشین [۵] استحکام خود را در دماهای بیش از ۴۰۰ درجه به شدت از دست می دهند. از طرفی جهت تجزیه کامل چسب و نیز امکان اتصال نفوذی در حین پرس هرچه دما بالاتر باشد، فرایند بهتر و کامل تر انجام

می گیرد. لذا با در نظر گرفتن این پارامترها دمای بهینه پرس نمونه ۳۳۰ درجه سانتی گراد انتخاب گردید. در حین پرس گرم، هرچه فشار بالاتر باشد امکان شکستن و آسیب دیدن الیاف بیشتر می شود و از طرفی در مقادیر کمتر فشار پرس فرایند اتصال نفوذی ذرات پودر به تعویق می افتد. با در نظر گرفتن این پارامترها و مطالعات پیشین [۵] فشار پرس ۴۰۰ Mpa انتخاب گردید. بدین ترتیب در این تحقیق تاثیر زمان پرس بر روی دانسیته کامپوزیت در دما و فشار ثابت بررسی شده است. برای این منظور سه نمونه خام مشابه کامپوزیتی با ۱۰ درصد کسر حجمی الیاف آماده شده و در دمای ۳۳۰ درجه سانتی گراد، فشار ۴۰۰ Mpa و زمان های ۱۰، ۲۰ و ۴۰ دقیقه پرس شدند. پس از انجام پرس، نمونه ها از قالب خارج شده و پلیسه های آنها جدا گردید. سپس دانسیته هر یک از نمونه ها به روش ارشمیدس اندازه گیری شد.



شکل ۲: شماتیک مراحل تولید نمونه خام به روش لایه گذاری پیوسته.

## یافته ها

چسب های تجاری Allplast و PVC به همراه چسب پلی متیل متاکریلات (PMMA) به حلال های بنزین، الکل، استون و تولوئن اضافه شدند. چسب های مذکور تنها به کمک حلال تولوئن رقیق شدند و در هیچ یک از حلال های دیگر حل نشدند. بدین ترتیب تولوئن به عنوان حلال مناسب جهت رقیق کردن چسبها انتخاب گردید.

جهت اندازه گیری میزان آلودگی و خاکستر باقی مانده چسب های فوق، از هر نمونه ۲۰ گرم چسب Cure شده در داخل یک ظرف آلومینیومی قرار داده شده و تا تجزیه کامل در داخل یک کوره مقاومتی

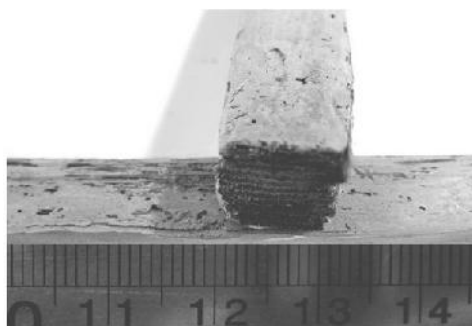
حرارت داده شدند. سپس وزن خاکستر باقی مانده با دقت ۰/۱ میلی گرم اندازه گیری گردید. نتایج این آزمایش در جدول (۲) ذکر شده است. به طوریکه ملاحظه می شود، چسب PMMA کمترین خاکستر باقی مانده را نسبت به دو چسب دیگر دارد.

جدول ۲: میزان خاکستر باقی مانده چسب های مختلف

چسب	درصد وزنی خاکستر باقی مانده
Allplast	۱/۵۴
P.V.C	۱/۶۸
PMMA	۰/۱۷

بر اساس نتایج بدست آمده چسب PMMA به عنوان چسب مناسب جهت فرایند متالورژی دوغابی انتخاب گردید. پس از انتخاب این چسب، به منظور تعیین دمای سوختن (تجزیه)، ۱۰ گرم چسب Cure شده PMMA درون یک ظرف آلومینیمی قرار داده شده و در داخل یک کوره مقاومتی در معرض حرارت قرار گرفت. طبق نتایج این آزمایش تغییرات در چسب از دمای ۲۷۰ درجه سانتی گراد با ذوب شدن شروع می گردد و در دمای ۳۶۰ درجه سانتی گراد چسب مشتعل می گردد. بر این اساس این گونه می توان نتیجه گرفت که جهت آغاز تجزیه این چسب به حداقل ۲۷۰ درجه سانتیگراد دما نیاز است و جهت اطمینان از تجزیه حرارتی کامل چسب می بایست دما تا حدود ۳۶۰ درجه سانتی گراد افزایش یابد. در این صورت فرایند تجزیه چسب به طور کامل انجام شده و آلودگی و یا چسب باقیمانده ای در محصول نهایی باقی نخواهد ماند.

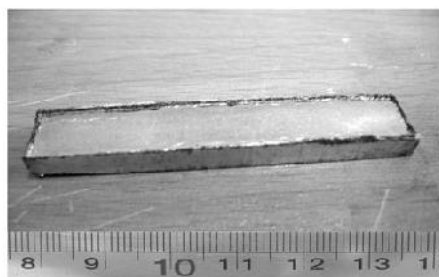
در شکل (۳) تصویر ماکروسکوپی نمونه خام کامپوزیت آلومینیم-بازالت نشان داده شده است. این نمونه با استفاده از دوغاب پودری با نسبت پودر به چسب ۲:۱ و به روش لایه گذاری پیوسته تولید شد. غلظت چسب PMMA مصرفی در این نمونه ۴۴ g/lit می باشد. این نمونه حاوی ۷۲ ردیف دسته الیاف بازالت می باشد، که بر اساس دانسیته و وزن پودر A413 و الیاف بازالت، کسر حجمی الیاف در کامپوزیت نهایی ۱۰ درصد محاسبه شده است.



شکل ۳: تصویر سطح مقطع نمونه خام کامپوزیت آلومینیم-بازالت تولید شده به روش لایه گذاری پیوسته.

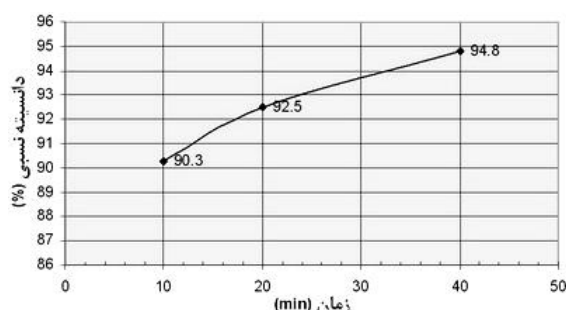


در شکل (۴) تصوير کامپوزيت آلومينيم-بازالت نشان داده شده است که حاوی ۱۰ درصد کسر حجمی الیاف بوده و در دمای ۳۳۰ درجه سانتی گراد، فشار ۴۰۰ Mpa و مدت زمان ۴۰ دقیقه پرس شده است.



شکل ۴: تصوير کامپوزيت آلومينيم-بازالت تهیه شده به روش لایه گذاری پیوسته.

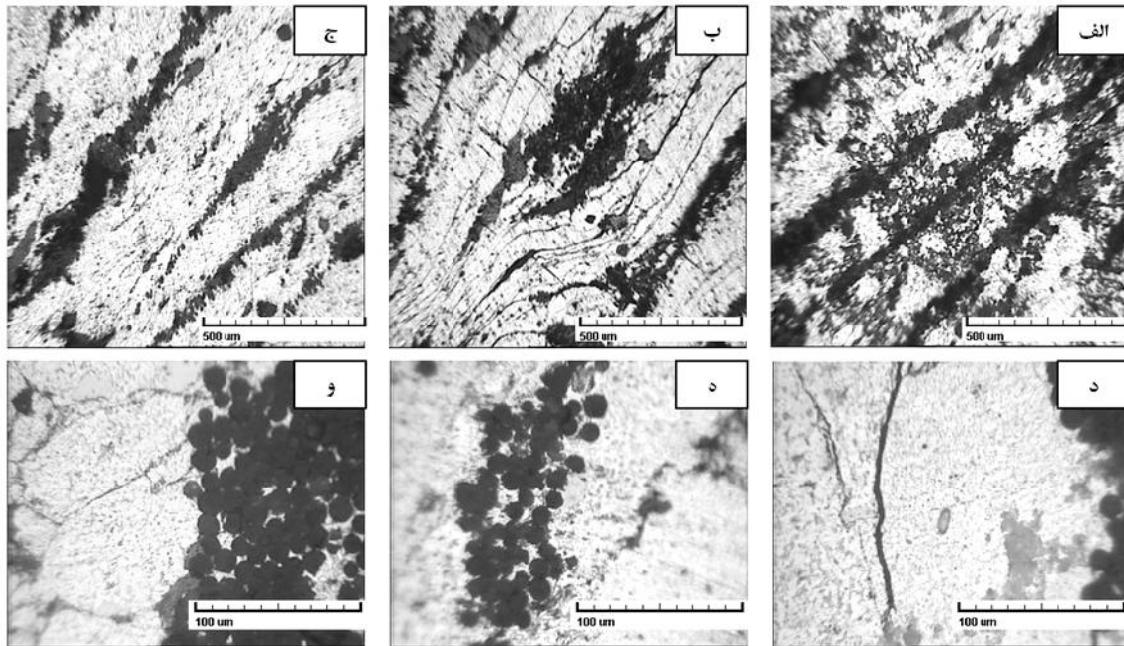
دانشیته نمونه های پرس شده در زمان های ۱۰، ۲۰ و ۴۰ دقیقه به ترتیب ۲/۴۱، ۲/۴۷ و ۲/۵۳ گرم بر سانتی مترمکعب اندازه گیری شد. دانشیته الیاف بازالت  $2/816 \text{ g/cm}^3$  و دانشیته آلیاژ A413،  $2/66 \text{ g/cm}^3$  می باشد و با توجه به اینکه کسر حجمی الیاف در این نمونه ۱۰ درصد است، به کمک قانون مخلوط ها دانشیته تئوری این کامپوزیت  $2/67 \text{ g/cm}^2$  محاسبه شد. در شکل (۵) تغییرات دانشیته نسبی نمونه ها بر حسب زمان پرس نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود، با افزایش زمان پرس، دانشیته نمونه ها نیز افزایش می یابد. بر اساس روند صعودی نمودار بدست آمده می توان اینگونه پیش بینی کرد که در زمانهای بیش از ۴۰ دقیقه نیز کماکان دانشیته افزایش یابد. هرچه زمان پرس افزایش یابد فرصت سیلان ذرات پودری بیشتر شده لذا تخلخل های بیشتری پر خواهد شد، بدین ترتیب دانشیته افزایش می یابد. علیرغم اینکه با افزایش زمان پرس، دانشیته نمونه ها افزایش می یابد، اما با توجه به مطالعات پیشین [۵]، در صورتیکه الیاف بازالت در مدت زمان های بیش از ۲۰ دقیقه در معرض دماهای بالا قرار گیرند، به شدت استحکامشان افت خواهد کرد، لذا در این تحقیق از انجام پرس هایی با مدت زمان بیش از ۴۰ دقیقه صرف نظر شده است.



شکل ۵: تاثیر زمان پرس بر دانشیته نسبی کامپوزيت آلومينيم-بازالت.

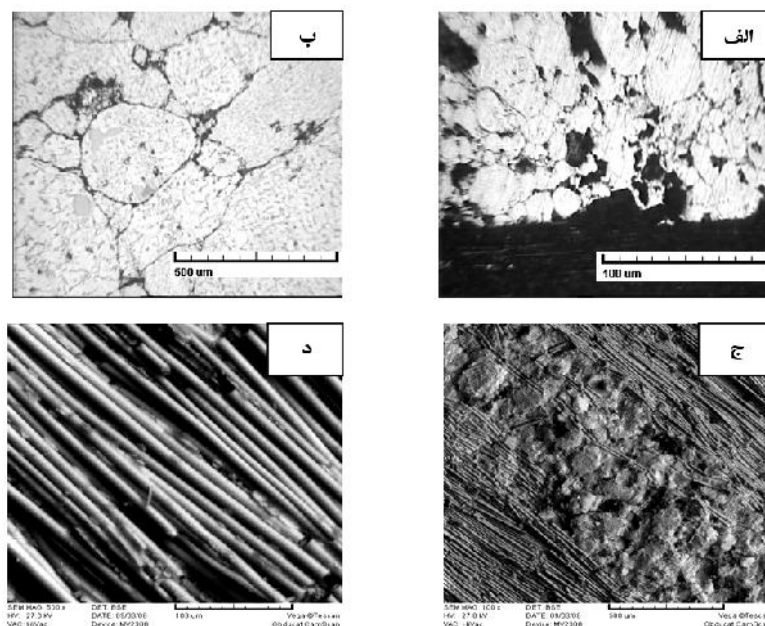
در شکل (۶) تصاویر میکروسکوپ نوری از مقطع عرضی کامپوزيت آلومينيم-بازالت، که در مدت زمان های مختلف پرس شده اند. در بزرگنمایی های مختلف نشان داده شده است.





شکل ۶: تصاویر میکروسکوپ نوری از مقطع عرضی کامپوزیت های آلومینیم-بازالت، پرس شده در زمان های الف و د (۱۰، ب و ۲۰ (۵ و ج و ۴۰ دقیقه.

در شکل (۷) تصاویر مقطع طولی کامپوزیت آلومینیم-بازالت به کمک میکروسکوپ نوری و SEM نشان داده شده است، که در مدت زمان ۲۰ دقیقه پرس شده اند. تمامی این نمونه ها در دمای ۳۳۰ درجه سانتی گراد و فشار ۴۰۰ Mpa تولید شده اند.



شکل ۷: تصاویر مقطع طولی کامپوزیت آلومینیم-بازالت، پرس شده در زمان ۲۰ دقیقه در بزرگنمایی های مختلف، الف و ب) میکروسکوپ نوری (OM) و ج و د) میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).

## بحث

در این تحقیق چسب پلی متیل متاکریلات به همراه حلال تولوئن به عنوان چسب مناسب جهت فراوری کامپوزیت آلومینیم-بازالت انتخاب گردید. به دلیل اینکه دمای سینتر پودرهای آلومینیم A413 در محدوده دمای تجزیه این چسب قرار دارد، لذا چسب در حین پرس گرم کاملاً تجزیه می گردد و از آنجائیکه خاکستر باقی مانده ناچیزی دارد، کمترین آلودگی ممکن را به کامپوزیت تحمیل می کند. روش فراوری لایه گذاری پیوسته نیز به عنوان روشی مناسب جهت فراوری این کامپوزیت بهینه سازی گردید. به علت قطر کم الیاف بازالت و شکنندگی آنها، نمی توان این الیاف دسته ای را قبل از استفاده در کامپوزیت، از هم جدا کرد. لذا برای اینکه فاز زمینه در میان الیاف توزیع گردد، از پودرهای ریز (۲۱۲- میکرون) به همراه چسب رقیق شده PMMA استفاده گردید. میزان نفوذ دوغاب پودری در میان الیاف، در روش لایه گذاری پیوسته مناسب می باشد. در تصاویر (۶-ه) و (۶-و) مشاهده می شود که وجود پودرهای ریز در توزیع اندازه ذرات، باعث شده تا این پودرها در فواصل بین الیاف رسوخ کند، که این موضوع سبب می شود تا بارهای وارده به ماتریس بهتر به الیاف منتقل گردد. در شکل (۷-ب) نیز مشاهده می شود که وجود پودرهای ریز در توزیع اندازه ذرات پودر، سبب تراکم بهتر در فاز زمینه شده است. بررسی های انجام شده بر روی دانسیته نمونه ها در مدت زمان های مختلف پرس مبین این موضوع است که با افزایش زمان پرس سیلان پودرها بیشتر شده، لذا تخلخل ها کاهش یافته و دانسیته افزایش می یابد. در شکل (۶-ب) تغییر شکل ذرات پودری و طولیل شدن آنها در اثر پرس گرم دیده می شود. هرچه زمان پرس گرم افزایش یابد به علت نفوذ بیشتر تا حدودی قطر لایه مرزی بین ذرات پودر کاهش می یابد، در مقایسه شکل های (۶-د) و (۶-و) مشاهده می شود که ضخامت لایه مرزی بین ذرات پودر کاهش یافته است. به دلیل ماهیت شکننده الیاف بازالت، تا حدودی شکست آنها در حین پرس گرم اجتناب ناپذیر است، در شکل های (۷-ج) و (۷-د) مشاهده می شود که تعدادی از الیاف در اثر پرس گرم شکسته شده اند. البته با افزایش زمان پرس، الیاف مدت زمان بیشتری را در معرض حرارت قرار گرفته و بیشتر صدمه می بینند. لذا مدت زمان پرس می بایست به صورت بهینه انتخاب گردد تا هم افزایش دانسیته و هم آسیب دیدگی کمتر الیاف با هم حاصل شود، لذا بر این اساس بهتر است تا مدت زمان بهینه پرس در حدود زمان ۲۰ دقیقه انتخاب گردد. بدین ترتیب در مدت زمان ۲۰ دقیقه الیاف صدمه کمتری دیده و دانسیته کامپوزیت نیز در حد یک قطعه متالورژی پودر قابل قبول خواهد بود. با بررسی تصاویر میکروسکوپی تهیه شده از این کامپوزیت مشخص می گردد که توزیع الیاف در فاز زمینه نسبتاً مناسب بوده و بر اساس شکل های (۶-الف) و (۷-ج) ساختاری شبیه به کامپوزیت های لایه ای را ایجاد می کنند.

## نتیجه گیری

- ۱- روش لایه گذاری پیوسته با استفاده از چسب PMMA می تواند به طور موفقیت آمیزی در تولید کامپوزیت آلومینیم-بازالت، با استفاده از پودر آلیاژی آلومینیم A413 و دسته الیاف بازالت به کار رود.
- ۲- در اثر افزایش فشار پرس گرم (در محدوده زمانی ۱۰ تا ۴۰ دقیقه)، که در شرایط دمای ۳۳۰ درجه سانتی گراد و فشار ۴۰۰ Mpa روی پیش شکل های کامپوزیتی آلومینیم-بازالت حاوی ۱۰ درصد کسر حجمی الیاف انجام شده، دانسیته نسبی کامپوزیت از ۹۰/۳ به ۹۴/۸ درصد افزایش می یابد. با این حال با توجه به کاهش شدید استحکام الیاف بازالت در اثر قرارگیری به مدت طولانی در دمای بالا، زمان بهینه جهت پرسکاری این کامپوزیت ۲۰ دقیقه بدست تعیین شد.
- ۳- بررسی تصاویر میکروسکوپ نوری و SEM از کامپوزیت های آلومینیم-بازالت نشان داد که افزایش زمان پرس در محدوده ۱۰ تا ۴۰ دقیقه و در شرایط مندرج در بند ۲، سبب اتصال بهتر دانه های پودری می شود.

## مراجع

- 1- M. Swink, "Continuous Filament Basalt, a Unique Fiber Capable of Leadership in High Temperature Applications", Techtextil North America Symposium, Atlanta-USA, April 2002, 1-16
- 2- A. Ross, "Basalt Fibers: Alternative To Glass?", Composites Technology, August 2006
- 3- Q. Liu and M.T. Shaw and R.S. Parnas and A.M. McDonnell, "Investigation of Basalt Fiber Composite Mechanical Properties for Application in Transportation", Polymer Composites, 2006, Vol. 27, 41-48
- 4- N.N. Morozov and V.S. Bakunov and E.N. Morozov and L.G. Aslanova and P.A. Granovskii and V.V. Prokshin and A.A. Zemlyanitsyn, "Materials Based on Basalts From the European North of Russia", Glass and Ceramics, 2001, Vol. 8, 100-104
- 5- محمد ثابت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب (تحصیلات تکمیلی)، ۱۳۸۶
- 6- N. Chawla and K.K. Chawla, Metal Matrix Composites, 2006, Springer Science
- 7- B. Cantor and F. Dunne and I. Stone, Metal and Ceramic Matrix Composites, 2004, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia
- 8- Z.X. Guo, "Slurry PM: lower cost for high performance MMCs", PM Special Feature, 1998, 18-21
- 9- F. Akhlaghi and H. Esfandiari, "Aluminium powder particles produced by SAMD technique: typical characteristics and correlations between processing conditions and powder size", Materials Science and Technology, 2007, Vol. 23, 646-652
- 10- F. Akhlaghi and H. Esfandiari, "Solid-assisted melt disintegration (SAMD), a novel technique for metal powder production", Materials Science and Engineering A, 2007, 70-77