

تأثیر پارامترهای تولید بر ریزساختار و میزان تخلخل کامپوزیت‌های Al/SiCp تولید شده به روش اسپری دوغاب کامپوزیتی

ورژ طروسیان خویگانی و فرشاد اخلاقی

چکیده: در این تحقیق کامپوزیت‌های Al/SiCp به روش اسپری دوغاب کامپوزیتی تولید شدند. برای این منظور ابتدا ذرات اکسید شده SiC به آلیاژ نیمه - جامد نیمه مایع اضافه شد و توسط پروانه گرافیتی هم‌زده شد. سپس دوغاب تولید شده مجدداً تا دمای بالای لیکوئیدوس آلیاژ گرم شده و به دستگاه اسپری فورمینگ منتقل گردیده و به روش متداول اسپری شد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پارامترهای تولید نظیر ارتفاع پرواز و فشار گاز اتمیزه کننده بر ریزساختار کامپوزیت و میزان تخلخل کامپوزیت نهائی می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش فشار گاز اتمیزه کننده باعث بهبود توزیع ذرات در زمینه، ریز شدن دانه‌های زمینه و افزایش تخلخل کامپوزیت نهائی می‌شود. همچنین افزایش ارتفاع پرواز باعث ریز شدن دانه‌های زمینه می‌شود در حالیکه تأثیری بر روی توزیع ذرات در زمینه ندارد. در ضمن با افزایش ارتفاع پرواز، تخلخل ابتدا کاهش یافته تا به یک مقدار بهینه می‌رسد و با افزایش بیشتر ارتفاع تخلخل مجدداً افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت Al/SiCp، اسپری دوغاب کامپوزیتی، توزیع ذرات، تخلخل

۱. مقدمه

در کامپوزیت‌های زمینه فلزی با فاز دوم سرامیکی، مجموعه‌ای از خواص مطلوب آلیاژهای فلزی از قبیل انعطاف پذیری و چقرمگی همراه با استحکام و مدول بالای مواد سرامیکی باعث ایجاد خواص مطلوبی در این مواد می‌شوند. کامپوزیت‌های زمینه فلزی اغلب دارای خواص تریبولوژیکی عالی، استحکام کششی و سفتی مطلوب همراه با دانسیته کم، ضریب انبساط حرارتی پائین و نفوذ پذیری حرارتی قابل قبول هستند [1,2]. روش‌های تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی ذره‌ای را می‌توان بر اساس حالت آلیاژ زمینه در حین فرآیند تولید بصورت:

- ۱- روش‌های حالت جامد
- ۲- روش‌های حالت مایع
- ۳- روش‌های نیمه جامد - نیمه مایع طبقه‌بندی کرد.

فرآیند ریخته‌گری معمولی برای مدت زمان طولانی روش تولید مناسب این کامپوزیت‌ها بوده است بطوریکه با این روش می‌توان قطعات کامپوزیتی با اشکال پیچیده، در تیراژ بالا و هزینه پائین تولید نمود. در سال‌های اخیر بدلیل مشکلات همراه با ریخته‌گری معمولی، روش‌های دیگر تولید نظیر روش‌های اسپری مورد توجه محققین قرار گرفته است [3,4]. چراکه این روش‌ها برتری‌هایی از قبیل ریزدانه‌گی ریزساختار، کاهش جدایش، توزیع مناسب ذرات در زمینه و در موارد خاص قابلیت تولید قطعات بشکل نهائی را دارا می‌باشند. در روش پاشش همزمان که اساساً شبیه فرآیند تولید پودر فلزات از طریق اتمیزه کردن گازی می‌باشد، باریکه‌ای از فلز مذاب پس از برخورد با یک جریان پر انرژی از گاز اتمیزه کننده (ازت، آرگون یا هلیوم) به قطراتی تبدیل می‌شود.

ذرات سرامیکی نیز بوسیله افشانک‌هایی به داخل مخروط اسپری پاشیده می‌شود و با رسوب همزمان قطرات آلیاژ (به صورت نیمه جامد) و ذرات سرامیکی در روی یک زیر لایه، کامپوزیت زمینه فلزی ایجاد می‌شود. حسن این روش عدم امکان انجام واکنش‌های مخرب در فصل مشترک سرامیک - زمینه به دلیل زمان تماس کوتاه بین مذاب فلزی و ذرات سرامیکی می‌باشد.

مقاله در تاریخ ۱۳۸۳/۷/۱۱ دریافت شده و در تاریخ ۱۳۸۳/۱۱/۲۴ به تصویب نهایی رسیده است.

ورژ طروسیان خویگانی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه تهران، vrej_torosian@yahoo.com
دکتر فرشاد اخلاقی، دانشیار دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، fakhlagh@ut.ac.ir

سپس ارتفاع همزن تا کف بوته کاهش داده شده و دمای دوغاب به ۵۹۰ درجه سانتیگراد (محدوده نیمه جامد - نیمه مایع) کاهش داده شده و عمل همزدن مدت ۱۵ دقیقه ادامه یافت.

سپس دما مجدداً تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد بالا برده شد و پس از سرباره گیری مذاب به داخل کوره اسپری که قبلاً تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد پیش گرم شده بود منتقل شد.

در شکل ۱ شماتیکی از دستگاه اسپری مورد استفاده برای اسپری دوغاب کامپوزیتی نشان داده شده است.

ارتفاع پرواز (که عبارت است از فاصله نقطه تمیزه شدن تا سطح رسوب) از قبل تنظیم شده و زیر لایه در فاصله مشخصی از اتمایزر قرار داده شده بود.

جهت یکنواخت نمودن رسوب، زیر لایه با سرعت ۳ دور بر دقیقه توسط یک موتور الکتریکی دوران داده می شد.

پس از ریختن مذاب به داخل کوره اسپری، توپی (استوپر) برداشته شده و همزمان با جاری شدن مذاب، جریان گاز اتمیزه کننده با فشار از قبل تعیین شده به داخل اتمایزر جریان یافت.

قطرات اتمیزه شده به سمت زیر لایه شتاب گرفته و بر روی هم انباشته می شدند.

عمل اسپری در حدود ۴۵ ثانیه طول می کشید. پس از اسپری رسوبی تقریباً مسطح تولید می شد.

ولی در کناره ها به دلیل پائین بودن دانسیته اسپری ضخامت تا حدودی کمتر بود.

بعد از سرد شدن، رسوبات تحت عملیات برشکاری قرار گرفته و نمونه هائی از قسمت مرکزی رسوب بریده شده و تحت بررسی قرار می گرفتند. به منظور مطالعه نحوه توزیع ذرات در زمینه کامپوزیت از دستگاه آنالیز تصویری استفاده شده است.

در این روش از مقطع هر نمونه ۸۰ میدان مورد آزمایش قرار گرفت و برای هر میدان کسر حجمی ذرات (V_p) اندازه گیری شد.

سپس فاکتور توزیع (D.F.) که عبارت است از نسبت انحراف معیار استاندارد به میانگین کسر حجمی ذرات [4]، بعنوان معیاری برای تخمین نحوه توزیع ذرات در زمینه در نظر گرفته شده است.

بالا بودن این کمیت (D.F.) به منزله توزیع غیر یکنواخت ذرات در زمینه است. برای اندازه گیری تخلخل از روش ارشمیدس استفاده شده است.

بدین ترتیب که در ابتدا وزن نمونه در دو حالت (در هوا و غوطه ور در آب) اندازه گیری شده و دانسیته ظاهری محاسبه شد.

دانسیته تئوری نیز با استفاده از قانون مخلوطها محاسبه شد. سپس درصد حجمی تخلخل با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شد.

$$\text{porosity (\%)} = \frac{\rho_{the} - \rho_{meas}}{\rho_{the}} \times 100 \quad (1)$$

اما عیب این روش توزیع نامناسب ذرات در زمینه است [3,4]. روش جدید اسپری دوغاب کامپوزیتی که با نام DMD¹ شناخته می شود، برای تولید کامپوزیت های زمینه فلزی ذره ای در حال تحقیق و توسعه می باشد.

در روش اسپری دوغاب کامپوزیتی ابتدا ذرات سرامیکی توسط عمل همزدن (مکانیکی یا مغناطیسی) در داخل مذاب فلزی توزیع شده و سپس این دوغاب توسط دستگاه اسپری به قطراتی تبدیل شده و این قطرات کامپوزیتی در روی سطح زیر لایه رسوب می کنند. حسن این روش توزیع یکنواخت ذرات در داخل زمینه می باشد.

کامپوزیت های تولید شده به این روش علاوه بر دارا بودن خواص مربوط به مواد سریع منجمد شده (از قبیل ریز دانگی، کاهش جدایش، افزایش حلالیت جامد، خواص تیکسوتروپیک و...)، دارای توزیع کاملاً یکنواختی از ذرات در زمینه و استحکام مناسب در فصل مشترک ذرات/ زمینه هستند و این دو عامل تعیین کننده خواص مکانیکی نهائی می باشند [5,6,7].

علیهذا تا بحال در خصوص تاثیر پارامترهای فشار گاز اتمیزه کننده و ارتفاع پرواز بر ریز ساختار قطعات کامپوزیتی تولید شده از روش DMD مطالعات سیستماتیک انجام نشده است که در این پژوهش به این موضوع پرداخته شده است.

۲. مواد مورد استفاده و روش انجام تحقیق

در این تحقیق از آلیاژ آلومینیم ۳۵۶ به عنوان آلیاژ زمینه استفاده شده است که ترکیب اسمی آن در جدول شماره ۱ آورده شده است. همچنین از کاربید سیلیسیم با اندازه میانگین ۵۰ میکرون به عنوان فاز تقویت کننده استفاده شده است.

جهت تولید کامپوزیت $Al/SiCp$ از روش اسپری دوغاب کامپوزیتی، دوغاب اولیه به روش نیمه جامد نیمه مایع تهیه شد.

برای این منظور ذرات SiC در کوره مقاومتی قرار داده شده و در دمای $1000^\circ C$ بمدت حدود ۱/۵ ساعت اکسیده شدند.

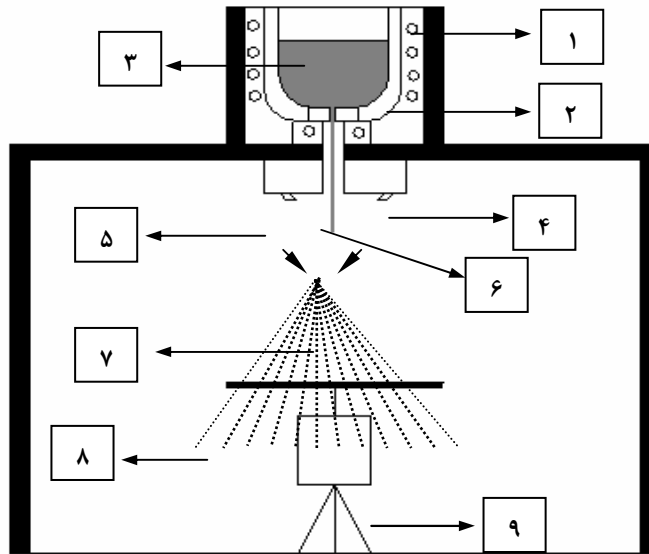
جهت متلاشی نمودن آگلومره ها، این ذرات پس از سرد شدن مجدداً سرد شدند.

جهت تهیه دوغاب کامپوزیتی در حدود ۲۲۰۰ گرم آلیاژ $Al 356$ در بوته قرار داده شده و توسط کوره مقاومتی ذوب گردید.

پس از ذوب آلیاژ وقتی که دمای آن به ۶۰۰ درجه سانتیگراد رسید همزن در ارتفاع پنج سانتیمتری از کف بوته قرار داده شد و مذاب با سرعت ۷۵۰ دور در دقیقه هم زده می شد.

ذرات SiC اکسید شده (که قبلاً مطابق درصد مورد نیاز توزین شده بودند) با نرخ ۱۰ گرم در دقیقه توسط دستگاه تغذیه کننده ارتعاشی به مذاب اضافه شدند.

¹ Disintegrated Melt Deposition



شکل ۱. شماتیکی از دستگاه اسپری فورمینگ استفاده شده در تحقیق حاضر
 ۱- کوره مقاومتی ۲- بوتۀ کفریز ۳- مذاب ۴- اتمایزر ۵- نازل خروجی گاز
 ۶- باریکه مذاب ۷- قطرات اتمیزه شده ۸- زیرلایه مسی چرخان
 ۹- موتور الکتریکی

که در این رابطه ρ_{the} دانسیته تئوری و ρ_{meas} دانسیته اندازه‌گیری شده می‌باشند.

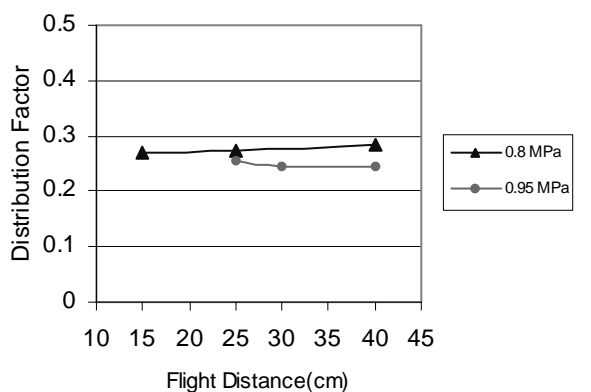
جدول ۱. ترکیب اسمی آلیاژ ۳۵۶

Al	Si	Fe	Cu	Mg	Ni	Zn
91.75	7.24	0.49	0.13	0.32	0.03	0.04

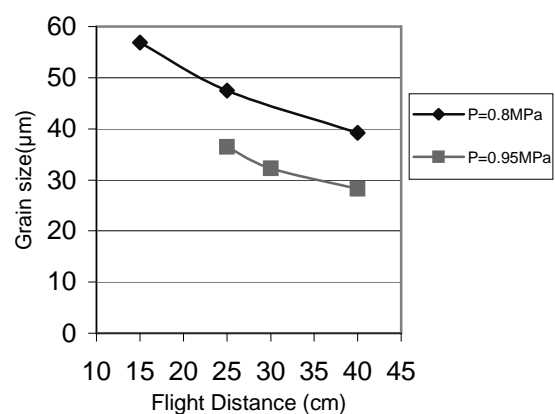
اتمیزه کننده افزایش یافته و کسر جامد قطرات افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش ارتفاع پرواز مقدار انتقال حرارت از طریق جابجایی در سطح رسوب بوسیله گاز اتمیزه کننده کاهش می‌یابد. اما چون نسبت سطح به حجم قطرات خیلی بیشتر از سطح به حجم رسوب می‌باشد، لذا افزایش ارتفاع پرواز باعث کاهش دمای سطح رسوب می‌شود.

۳. نتایج و بحث

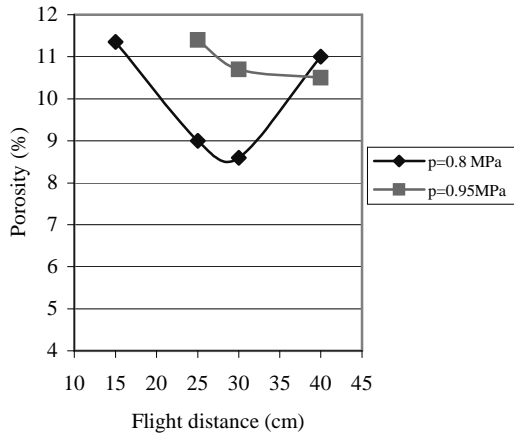
در شکل ۲ تاثیر ارتفاع پرواز بر روی اندازه دانه‌های زمینه برای رسوبات اسپری که در دو فشار متفاوت تولید شده‌اند، نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در هر دو مورد با افزایش ارتفاع پرواز در فشار ثابت، اندازه دانه‌های زمینه کاهش می‌یابد. با افزایش ارتفاع پرواز مدت زمان تماس قطرات اتمیزه شده با گاز



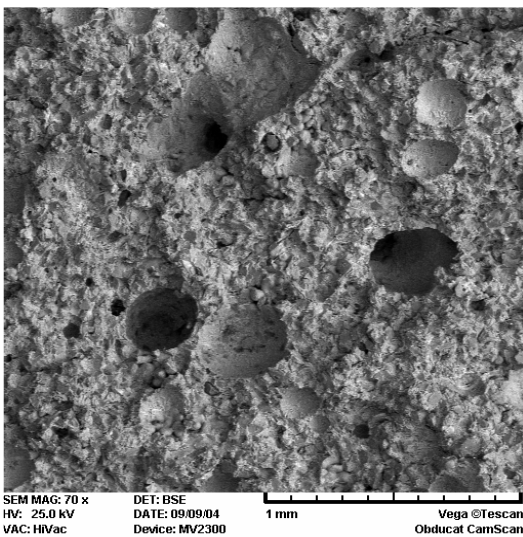
شکل ۳. نمودار تغییرات فاکتور توزیع بر حسب ارتفاع پرواز



شکل ۲. نمودار تغییرات اندازه دانه‌های زمینه بر حسب ارتفاع پرواز

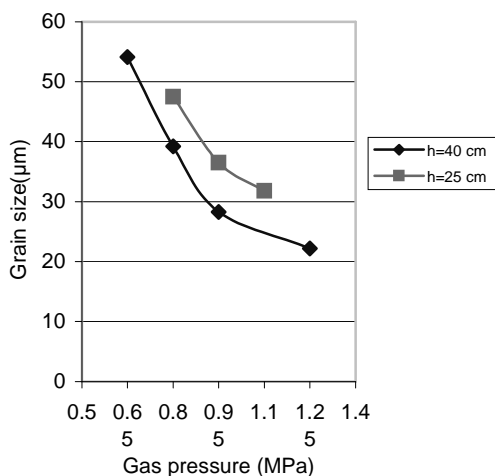


شکل ۴. نمودار تغییرات تخلخل بر حسب ارتفاع پرواز



شکل ۵. تصویر SEM حفرات گازی مشاهده شده در

کامپوزیت تولید شده در فشار ۰/۸ MPa و ارتفاع پرواز ۱۵ سانتیمتر



شکل ۶. نمودار تغییرات اندازه دانه‌های زمینه بر حسب

فشار گاز اتمیزه کننده

همچنین با افزایش ارتفاع پرواز نرخ جرمی ورود قطرات به سطح رسوب در واحد زمان کاهش یافته (مخروط اسپری با افزایش ارتفاع با تر می‌شود) و در نتیجه نرخ ورود گرما نیز کاهش می‌یابد. بنابراین مجموعه این عوامل که عبارتند از کاهش دمای سطح رسوب و افزایش کسر جامد شده (مراکز جوانه‌زنی) باعث ریز شدن دانه‌های زمینه می‌شود. در مورد تغییرات اندازه دانه‌های رسوبات اسپری فورمینگ بر حسب ارتفاع پرواز گزارشات مشابهی در منابع ارائه شده است [4,12].

در شکل ۳ تغییرات فاکتور توزیع بر حسب تابعی از ارتفاع پرواز برای نمونه‌های اسپری شده در دو فشار متفاوت نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، با تغییر ارتفاع پرواز در هیچکدام از موارد مذکور تغییر محسوسی در فاکتور توزیع مشاهده نمی‌شود.

همانطور که قبلاً ذکر شد، اندازه قطرات اتمیزه شده به عواملی نظیر فشار گاز اتمیزه‌کننده، نوع آلیاژ، فوق گداز و... بستگی دارد و اندازه قطرات تابع ارتفاع پرواز نیست.

از طرفی، بر اساس نظر Gupta و همکارانش [9]، گیرافتادن مکانیکی ذرات در داخل زمینه در هنگام برخورد با سطح رسوب به انرژی سینتیک آنها بستگی دارد، در ضمن سرعت قطرات اتمیزه شده پس از طی مسافتی کوتاه تقریباً ثابت می‌شود [10]، و لذا انرژی سینتیک قطرات فقط به اندازه آنها بستگی خواهد داشت و چون توزیع اندازه قطرات برای هر فشار گاز مشخص در این نمونه‌ها یکسان می‌باشد، لذا تغییر ارتفاع پرواز تاثیر محسوسی بر روی توزیع ندارد.

در شکل ۴ نحوه تغییرات تخلخل بر حسب ارتفاع پرواز برای نمونه‌های اسپری شده در دو فشار متفاوت نشان داده شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود، در ارتفاع پروازهای کم تخلخل زیاد بوده، با افزایش ارتفاع کاهش یافته و به یک حداقل مقدار می‌رسد، و با افزایش مجدد ارتفاع پرواز، (در مورد نمونه تهیه شده در فشار کمتر) میزان تخلخل مجدداً افزایش می‌یابد.

در ارتفاع پروازهای خیلی کم، کسر مایع زیاد بوده و چون سطح رسوب به نازل‌های خروجی گاز نزدیک است، لذا سرعت گاز نیز زیاد است و مقدار قابل توجهی گاز وارد مذاب در سطح رسوب می‌شود و باعث ایجاد تخلخل‌های گازی می‌شود (شکل ۵).

از طرفی کسر مایع زیاد شرایط را برای تشکیل رسوب گرم فراهم کرده و در نتیجه تخلخل‌های انقباضی نیز شکل می‌گیرند.

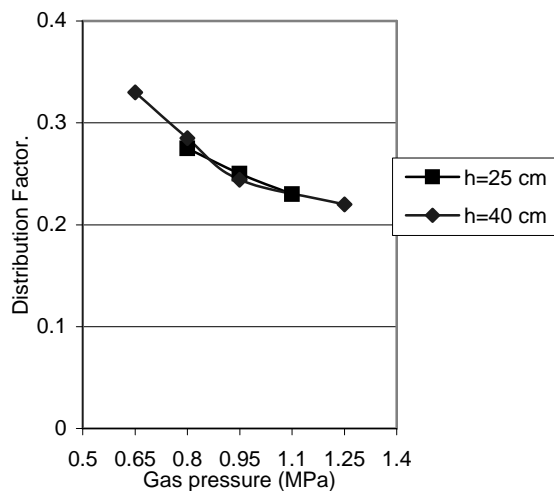
در ادامه با افزایش ارتفاع پرواز، از کسر مایع لایه نیمه جامد سطحی کاسته می‌شود. همچنین ورود گاز با فاصله گرفتن از نازل‌های خروجی گاز، کم می‌شود که این عوامل سبب کاهش تخلخل در رسوب اسپری شده می‌شوند.

ولی با افزایش بیشتر ارتفاع پرواز، کسر جامد قطرات و رسوب به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد و شرایط اسپری بسمت رسوب سرد و تشکیل حفرات بین ذره‌ای سوق پیدا می‌کند.

تخلخل افزایش یافته و سپس تا حدودی ثابت مانده و مجدداً افزایش می‌یابد.

در مورد نمونه‌هایی که در ارتفاع پرواز ۲۵ سانتیمتری تولید شده‌اند نیز افزایش تخلخل با افزایش فشار گاز متمیزه کننده مشاهده می‌شود. در نمونه‌های تولید شده در فشارهای پائین، تخلخل‌ها اغلب از نوع انقباضی و گازی هستند.

در حقیقت با کاهش فشار گاز متمیزه کننده، سرعت گاز خروجی از نازل کاهش یافته و در نتیجه قطرات درشت تری تشکیل می‌شوند. لذا نرخ سرد شدن قطرات متمیزه شده کاهش و مقدار گرمای ورودی به سطح رسوب افزایش می‌یابد. در این حالت که به رسوب گرم موسوم است کسر مایع در سطح رسوب افزایش یافته و انجماد به تاخیر می‌افتد که این امر شرایط را برای تشکیل حفرات انقباضی مهیا می‌کند.



شکل ۷. منحنی تغییرات فاکتور توزیع بصورت تابعی از فشار گاز متمیزه کننده

از طرفی با افزایش کسر مایع، امکان تشکیل حفرات گازی می‌شود. با افزایش فشار گاز متمیزه کننده سرعت و دبی خروجی گاز افزایش می‌یابد. افزایش سرعت گاز باعث ریز شدن اندازه قطرات و در نتیجه افزایش نرخ سرد شدن قطرات و کسر جامد آنها می‌شود.

این قطرات که دارای کسر جامد زیادی هستند، در هنگام برخورد با سطح رسوب نمی‌توانند کاملاً پخش شوند و لایه‌های جامد بر روی هم قرار گرفته و در بین لایه‌ها حفراتی باقی می‌ماند.

در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که با افزایش فشار گاز متمیزه کننده نوع تخلخل‌های ایجاد شده تغییر کرده و از حالت تخلخل‌های انقباضی و گازی به تخلخل‌های بین ذره‌ای تبدیل می‌شود ولی تخلخل‌های بین ذره‌ای دارای کسر حجمی زیادتری هستند و لذا به طور کلی افزایش فشار باعث افزایش تخلخل در رسوب می‌شود.

این حفرات نیز کسر حجمی زیادی داشته و باعث افزایش تخلخل می‌شوند که این مطلب در مورد رسوبات اسپری شده در فشار کمتر مشهود است. در مورد رسوبات اسپری شده در فشار بیشتر، از همان ابتدا تا حدودی شرایط رسوب سرد فراهم بوده و لذا نرخ تغییرات تخلخل با افزایش فاصله پرواز کندتر بوده و در ضمن در اغلب موارد تخلخل بیشتری نسبت به نمونه‌های تولید شده در فشار کمتر حاصل شده است. نتایج مشابهی در مورد تغییرات تخلخل در رسوبات اسپری فورمینگ بر حسب فاصله پرواز در گزارشات قبلی ارائه شده است [1].

در شکل ۶ تاثیر فشار گاز متمیزه‌کننده بر اندازه دانه‌های زمینه نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش فشار گاز در ارتفاع پرواز ثابت، اندازه دانه‌های زمینه کاهش می‌یابد. همچنین در مورد رسوباتی که ارتفاع پرواز برای آنها بیشتر بوده اندازه دانه‌های زمینه ریزتر شده است.

با افزایش فشار گاز، انرژی جنبشی گاز در هنگام برخورد به باریکه مذاب افزایش یافته و باعث ریزتر شدن قطرات می‌شود. در نتیجه نرخ سرد شدن قطرات افزایش یافته و کسر جامد قطرات نیز زیاد می‌شود.

بنابراین نرخ گرمای ورودی به سطح رسوب کم شده، دمای سطح رسوب کاهش یافته و تعداد مراکز جوانه‌زنی در سطح رسوب افزایش می‌یابد و باعث ریز شدن دانه‌های زمینه می‌گردد. این نتایج در توافق با گزارشات قبلی در خصوص کاهش اندازه دانه‌ها در رسوبات اسپری فورمینگ با افزایش فشار گاز متمیزه کننده می‌باشد [14,12].

در شکل ۷ تاثیر فشار گاز متمیزه کننده، در ارتفاع پرواز ۲۵ و ۴۰ سانتیمتر، بر روی توزیع ذرات SiC در داخل زمینه نشان داده شده است. در این شکل ملاحظه می‌شود افزایش فشار گاز باعث کاهش فاکتور توزیع (بهبود توزیع ذرات در زمینه) شده است. با افزایش فشار گاز، سرعت گاز و انرژی سینتیک آن افزایش یافته و در اثر برخورد با باریکه مذاب قطراتی با قطر متوسط ریزتر تولید می‌کند.

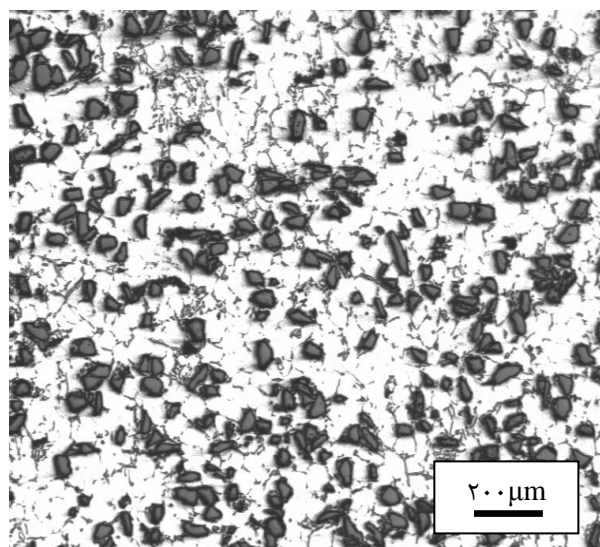
در نتیجه چنانچه در داخل مذاب کلوخه‌ای از ذرات وجود داشته باشد، به اجزاء ریزتر تفکیک می‌شود. همچنین افزایش سرعت گاز باعث افزایش سرعت قطرات در هنگام برخورد با سطح ورود گاز متمیزه کننده به داخل رسوب افزایش یافته و لذا باعث رسوب می‌شود. در نتیجه نیروهای برشی زیاد در هنگام برخورد باعث توزیع یکنواخت‌تر ذرات در زمینه می‌گردد. از طرفی، همانطور که قبلاً اشاره شد، افزایش فشار گاز باعث ریزتر شدن قطرات و افزایش کسر جامد آنها می‌شود. این عوامل باعث کاهش دمای سطح رسوب و افزایش سرعت انجماد می‌شود. در نتیجه احتمال رانده شدن ذرات بوسیله جبهه انجماد کاهش می‌یابد.

همانطور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود در مورد نمونه‌هایی که در ارتفاع پرواز ۴۰ سانتیمتری تهیه شده‌اند با افزایش فشار، ابتدا

در شکل ۹ ریز ساختار و تصویر میکروسکوپ الکترونی کامپوزیت تولید شده با فشار گاز اتمیزه کننده $1/25 \text{ MPa}$ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، تخلخل‌ها در این فشار عمدتاً از نوع تخلخل‌های بین لایه‌ای (بین ذره‌ای) می‌باشند. در تصویر SEM دیده می‌شود که ذرات از پیش منجمد شده بر روی هم قرار گرفته‌اند و مذاب کافی برای پر کردن حفرات مابین آنها وجود نداشته است و در نتیجه باعث تولید حفرات بین لایه‌ای شده است. کامپوزیت‌های تولید شده به روش اسپری دوغاب کامپوزیتی در تحقیق حاضر دارای ساختار هم‌محور و ریز دانه بودند و اندازه دانه‌های زمینه مابین ۲۰ تا ۵۰ میکرون بسته به شرایط تولید متغیر می‌باشد.

این کامپوزیت‌ها چنانچه در شرایط بهینه تولید شده باشند توزیع یکنواختی از ذرات SiC و فازهای سیلیسیم اولیه ایجاد می‌شود.

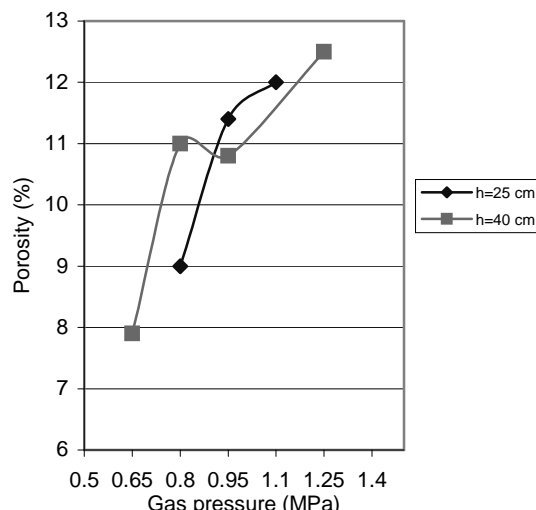
در شکل ۱۰ ریز ساختار کامپوزیت Al/SiCp تولید شده در شرایط بهینه نشان داده شده است.



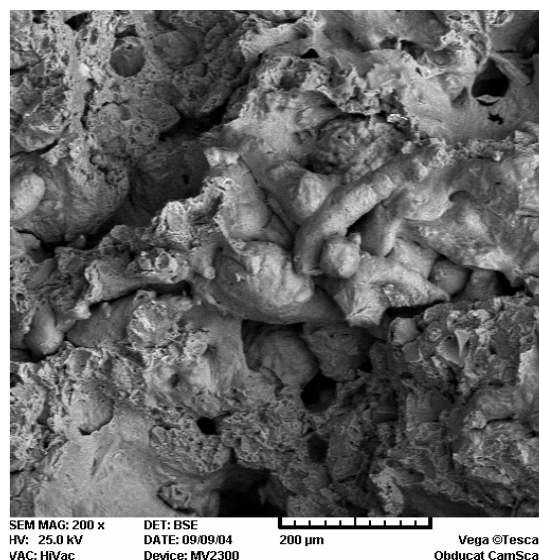
شکل ۱۰. ریزساختار کامپوزیت حاوی ۱۰ درصد حجمی از ذرات با اندازه متوسط ۵۰ میکرون تولید شده با فشار گاز اتمیزه‌کننده $0/95 \text{ MPa}$ و ارتفاع پرواز 25 cm

۳- افزایش ارتفاع پرواز از 15 cm تا 40 cm باعث ریز شدن دانه‌های زمینه می‌شود در حالیکه تاثیری بر روی توزیع ذرات در زمینه ندارد.

۴- با افزایش ارتفاع پرواز تخلخل ابتدا کاهش یافته تا در فاصله ۳۰-۲۵ سانتیمتری به یک مقدار بهینه می‌رسد. با افزایش بیشتر ارتفاع پرواز تخلخل مجدداً افزایش می‌یابد.



شکل ۸. نمودار تغییرات تخلخل بر حسب فشار گاز اتمیزه کننده



شکل ۹. تصویر SEM مقطع شکست در کامپوزیت تولید شده با فشار گاز $1/25 \text{ MPa}$ (اندازه متوسط ذرات ۵۰ میکرون و کسر حجمی ذرات ۱۰٪)

۴. نتیجه گیری

۱- با استفاده از روش اسپری دوغاب کامپوزیتی می‌توان کامپوزیت‌های زمینه فلزی ذره‌ای را بصورت موفقیت آمیزی تولید نمود.

۲- افزایش فشار گاز اتمیزه‌کننده از $0/65 \text{ MPa}$ تا $1/25 \text{ MPa}$ باعث بهبود توزیع ذرات در زمینه، ریز شدن دانه‌های زمینه و افزایش تخلخل کامپوزیت نهائی می‌شود.

مراجع

- [8] Akhlaghi, F., Lajevardi, A., Maghanaki, H. M., "Effects of Casting Temperature on the Microstructure and Wear Resistance of Compcast A 356/SiCp Composites: A Comparison Between SS and SL Routes", Journal of Materials Processing Technology, Vol.155-156, 2004, pp. 1874-1880.
- [9] Gupta, M., Mohamed, F. A., Lavernia, E. J., "The Effect of Solidification Phenomena on the Distribution of SiC Particulates During Spray Atomization and Deposition", Rapid Solidification, Vol.6, 1991, pp.247-284.
- [10] Hattle, J. H., Pryds, N. H., Thorborg, J., "The Effect of Droplet Size on Gas Temperature During the Spray Forming Process", Scripta Mater, Vol.42, 2000, pp.145-150.
- [11] Akhlaghi, F., Beech, J., Jones, H., in PM into the, Vol. III, The Institute of Metals, London, 2-6 July 1990, pp. 85-88.
- [12] Lavernia, E. J., Rai, G., Grant, N. J., Internat. J. Powder Metallurgy, Vol. 22, 1986, pp. 9-16.
- [13] Akhlaghi, F., Beech, J., Jones, H., "Influence of Operating Variables on Characteristics of Aluminum Powders and Spray-cast Deposits", Proc. First Internat. Conf on Spray forming, Swansea, UK, 17-19th Sept. 1990, pp. 601-612.
- [14] Akhlaghi, F., "Spray forming of Aluminum alloys and Aluminum based Metal Matrix Composites", PhD thesis, University of Sheffield, UK, 1991.
- [1] Torralba, J. M., Casta, C. E., Velasco, F., "P/M Aluminum Matrix composites: an Overview", Materials Processing Technology Vol.133, 2003, pp.203-206.
- [2] Ejifor, J. U., Reddy, R. G., "Developments in the Processing and Properties of Particulate Al/SiC Composites", JOM, Vol.49(11), 1997, pp.31-37.
- [3] Xu, Q., Huges, R. W., Hunt, W. H., Lavernia, E. J., "Mechanical Properties and Fracture Behavior of Layered 6061/SiCp Composites Produced by Spray Atomization and Co-deposition", Acta Mater, Vol.47, No.1, 1999, pp.43-53.
- [4] Li, B., Lavernia, E. J., "Particulate Penetration into Solid Droplets", Metallurgical and Materials Transaction A, Vol.31A, 2000, pp.387-395.
- [5] Gupta, M., Loke, C. Y., "Synthesis of Free Standing, one Dimensional, Al-SiC Based Functionally Gradient Materials Using Gradient Slurry Disintegration and Deposition", Materials Science and Engineering, Vol.A276, 2000, pp.210-217.
- [6] Gupta, M., Lai, M.O., Soo, G.Y., "Processing-Microstructure-Mechanical Properties of an Al-Cu/SiC Metal Matrix Composite Synthesized Using Disintegrated Melt Deposition (DMD) Technique", Materials Research Bulletin, Vol.30, No.12, 1995, pp.1524-1534.
- [7] Gupta, M., Lai, M. O., Soo, C. Y., "Effect of Type of Processing on the Microstructural Features and Mechanical Properties of Al-Cu/SiC Metal Matrix Composites", Materials Science and Engineering, Vol.A210, 1996, pp.114-122.