



فصلنامه علمی تحقیقات موتور

تارنمای فصلنامه: www.engineersearch.ir

DOI:10.22034/ER.2022.697917



اثر نیروی برشی اعمالی بر مورفولوژی و اندازه دندریته‌ها در نانوکامپوزیت‌های A356-Al2O3

محسن استاد شعبانی^{۱*}، محمدرضا رحیمی پور^۲، منصور رضوی^۳، محمد ذاکری^۴، لیلا نیکزاد^۵، ایمان مباشرپور^۶

^۱استادیار، پژوهشگاه مواد و انرژی، m-ostadshabany@merc.ac.ir

^۲استاد، پژوهشگاه مواد و انرژی، m-rahimi@merc.ac.ir

^۳دانشیار، پژوهشگاه مواد و انرژی، m-razavi@merc.ac.ir

^۴دانشیار، پژوهشگاه مواد و انرژی، m_zakeri@merc.ac.ir

^۵استادیار، پژوهشگاه مواد و انرژی، l.nikzad@merc.ac.ir

^۶استادیار، پژوهشگاه مواد و انرژی، i.mobasherpour@merc.ac.ir

*نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۵ بهمن ۱۴۰۰

پذیرش: ۲۹ اردیبهشت ۱۴۰۱

کلیدواژه‌ها:

خودرو

دندریته

ریختگی

گلوبولار

نیروی برشی

نیمه جامد

آلیاژهای Al-Si در صنایع خودروسازی بسیار پرکاربرد می‌باشند. مهمترین فاکتور ریزساختاری که تغییرات آن تأثیر بسیار زیادی بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های ریختگی زمینه آلومینیومی برجای می‌گذارد فواصل بین بازوهای دندریته می‌باشد. در این پژوهش تأثیر نیروی برشی اعمالی بر مورفولوژی بازوهای دندریته کامپوزیت‌های ساخته شده به روش سنتی، کوبشی و نیمه جامد مورد بررسی قرار گرفته است، همچنین تأثیر نیروی برشی اعمالی، زمان و دمای کامپوزیت‌سازی و تأثیر آنها بر مورفولوژی بازوهای دندریته نیز مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به نتایج به دست آمده بهترین شرایط گلوبولارسازی برای این نوع کامپوزیت در حالت کامپوکستینگ محاسبه شده است. در زمان هم‌زدن با جریان الکترومغناطیسی ۷۰ آمپر در مدت زمان حدود ۶۰ ثانیه، هم زمان کروی‌ترین و کوچک‌ترین ذرات α به دست آمد، که انتظار بهترین خواص مکانیکی و سایشی را می‌توان داشت.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

به منظور ارتقای کیفیت قطعات خودرو در سالیان گذشته، رویکرد طراحی مواد با تأکید بر وزن کمتر، سازگاری با محیط زیست، هزینه پایین و کیفیت بالا توسعه پیدا کرده است. به این ترتیب کامپوزیت‌های زمینه فلزی مورد توجه قرار گرفته و به طور روزافزونی در حال توسعه می‌باشند [۱-۴]. در حال حاضر این نوع کامپوزیت‌ها در صنایع مهمی از جمله صنایع حمل و نقل و خودرو مورد استفاده قرار گرفته است. به طور کلی، کامپوزیت‌های زمینه فلزی شامل فاز زمینه و فاز تقویت‌کننده می‌باشد که در آنها فاز زمینه به طور عمده آلیاژ و فاز تقویت‌کننده معمولاً از جنس سرامیک است. از مهمترین ارزان‌ترین کامپوزیت‌های زمینه فلزی می‌توان به کامپوزیت‌های زمینه آلومینیومی اشاره کرد که به دلیل مزایایی از قبیل دانسیته پایین، استحکام ویژه بالا، مقاومت به سایش عالی و مقاومت به خوردگی و خستگی مناسب، امروزه در صنایع گوناگون دارای کاربرد فراوان هستند [۵-۹].

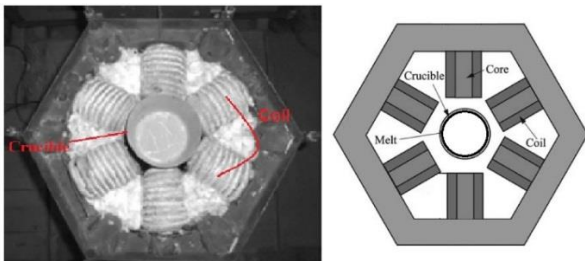
فرایند نیمه‌جامد تکنولوژی نسبتاً جدیدی است، برش و شکستن دندریت‌های موجود در یک آلیاژ نیمه‌جامد منجر به بروز رفتار تیکسو تروپیک در یک آلیاژ نیمه‌جامد می‌شود. از سال ۱۹۷۱ تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد روش‌های تولید قطعات با استفاده از فرایند نیمه‌جامد انجام گرفته است [۱۰-۱۳]. عمده این پژوهش‌ها بر مبنای نحوه ایجاد ساختار هم‌محور و غیردندریتی در حالت نیمه‌جامد بوده است. در رابطه با نوع ماده مورد پژوهش نیز باید گفت که در سال‌های ابتدایی آلیاژهای فولادی مورد نظر بوده‌اند ولیکن با گذشت زمان و نیاز روزافزون صنایع خودروسازی به آلیاژهای سبک نوع ماده اولیه فرایند به سمت آلیاژهای آلومینیوم و آلیاژهای منیزیم سوق یافته است. امروزه فرایند نیمه‌جامد به عنوان یک روش کاملاً علمی و در عین حال باصرفه اقتصادی مطرح است، به طوری که قطعات حاصل از این روش امکان برخورداری از خواص مکانیکی مطلوب اشکال پیچیده و همچنین ابعاد دقیق را دارا هستند [۱۴-۱۶]. نیمه‌جامدها، به آلیاژهایی گفته می‌شود که دمای آنها در محدوده بین خطوط لیکویدوس و سالییدوس است [۱۷]. ریخته‌گری این‌گونه مواد از حدود ۳۰ سال پیش مورد توجه قرار گرفته است و این به خاطر خواص سودمندی است که این‌گونه مواد از خود نشان داده‌اند. این نوع ریخته‌گری، به علت صرف انرژی زیاد نسبت به سایر روش‌های ریخته‌گری، گران‌تر می‌باشد با این حال امروزه به عنوان یکی از روش‌های مهم در تولید قطعه به حساب می‌آید و حجم قابل توجهی از قطعات ریختگی در خودرو با این روش تولید می‌شود [۱۸ و ۱۹].

در کامپوزیت‌سازی به روش کمپوکستینگ آلیاژ در حالت نیمه‌جامد می‌باشد، به این شکل که آلیاژ را در دمایی کمتر از حد مایع به شدت به هم زده می‌شود [۲۰]. در نتیجه مذابی دوغابی شکل حاصل شده که در آن فاز جامد دارای شکل غیردندریتی یا گلوبولار است و شکل‌دادن

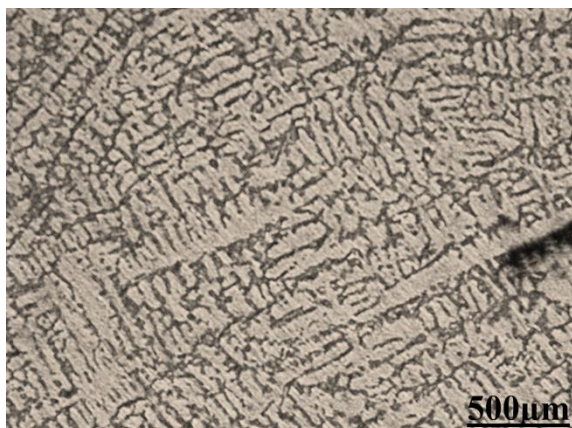
آن توسط ریخته‌گری و ترجیحاً با اعمال فشار جهت سیلان مذاب ویسکوز امکان‌پذیر است. در این پژوهش تأثیر نیروی برشی اعمالی بر ریزساختار کامپوزیت‌های ساخته‌شده به روش سنتی، کوبشی و کمپوکستینگ مورد بررسی قرار می‌گیرد، همچنین تأثیر نیروی برشی اعمالی، زمان و دمای کامپوزیت‌سازی نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- روش تحقیق

سیستم ریخته‌گری سنتی در ماسه از سه بخش اصلی کوره، همزن و قالب تشکیل شده است. کوره مورد استفاده برای ذوب‌نمودن شمش‌های آلومینیم یک کوره مقاومتی بوده که با توان ۷۰ کیلووات و تا دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد کار می‌کند. به منظور کامپوزیت‌سازی با تکنیک ریخته‌گری کوبشی از یک قالب مکعب مستطیل شکل که در پایان توسط یه وزنه پرس شد استفاده شد. در هر ذوب‌ریزی حدود یک کیلوگرم ذوب مورد نیاز بود. بعد از گاززدایی با فلاکس و سرباره‌گیری مذاب در دمای ۷۲۰ درجه سانتی‌گراد ذرات تقویت‌کننده به شکل قرص به مذاب اضافه، هم‌زده و زمانی که مخلوط به دمای مورد نظر رسید در قالب فلزی از جنس فولاد زنگ‌نزن ریخته و بلافاصله با یک وزنه ۵۰ کیلوگرمی پرس شد، در پایان مدل از قالب بیرون آورده شد و مرکز مدل مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، به منظور بررسی نیروی برشی اعمالی بر نحوه گلبولی‌شدن ریزساختار کامپوزیت که تمایل زیادی به رشد دندریت‌های ستونی و محوری دارد، از یک همزن الکترومغناطیسی سه‌فاز متناوب مطابق شکل ۱ استفاده شد. جهت ذوب و تهیه مذاب مورد نیاز برای استفاده در دستگاه همزن الکترومغناطیسی، ذرات تقویت‌کننده به داخل مذاب انداخته شده و مخلوط شدند در ادامه مذاب به داخل قالب استوانه‌ای از جنس فولاد زنگ‌نزن در وسط دستگاه همزن الکترومغناطیسی ریخته شد و هم‌زمان دستگاه همزن که از قبل شدت جریان آن تنظیم شده بود، روشن شد. با استفاده از یک کرنومتر، زمان هم‌زدن ثبت و پس از سپری‌شدن زمان مورد نظر دستگاه خاموش شد. در ادامه نمونه‌ها به ریزساختار، آماده‌سازی سطحی نمونه‌ها با استفاده از سمباده، خمیر الماسه و پودر آلومینای ۰.۵ میکرون و اچ‌کردن در اسید هیدروفلوئوریدریک (HF) ۰.۵ درصد در مدت زمان‌های ۲۰ ثانیه صورت پذیرفت.



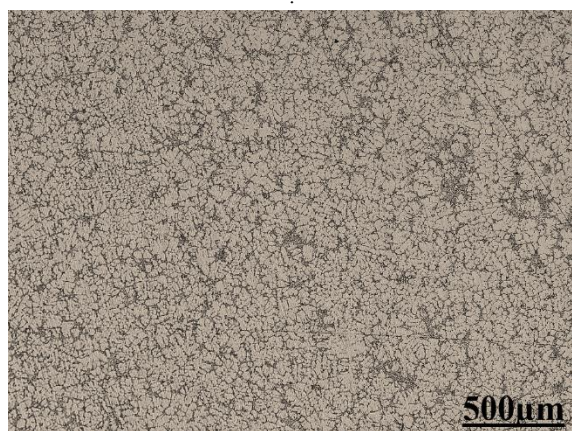
شکل ۱: دستگاه ریخته‌گری نیمه‌جامد



الف



ب



ج

شکل ۲: تصویر میکروسکوپ نوری. الف) ریخته‌گری در ماسه، ب) روش ریخته‌گری کوبشی، ج) روش کامپوزیت‌سازی در حالت نیمه‌جامد

در ریخته‌گری کوبشی و کامپوزیت‌سازی در حالت نیمه‌جامد، به دلیل تغییر قالب از ماسه‌ای به فلزی و افزایش ضریب انتقال حرارتی قالب، سرعت سرد شدن مذاب نسبت به حالت ریخته‌گری در ماسه افزایش پیدا می‌کند، همچنین فشار خارجی اعمالی موجب حذف حباب‌های گازی محبوس در مذاب می‌شود. مجموعه پارامترهای ذکر شده افزایش شدیدتر سرعت سرد شدن را منتج می‌شود و فواصل بازوهای دندریتی کاهش بیشتری نسبت به ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای پیدا می‌کند که در شکل ۲ قابل مشاهده است.

جهت بررسی ریزساختار و همچنین فاصله بین‌دندریتی و مورفولوژی دندریت‌ها در کامپوزیت‌های ساخته شده از میکروسکوپ نوری استفاده شد. جهت محاسبه نتایج و اعداد مربوط به ریزساختار آلیاژها می‌توان از سیستم آنالیز تصویری استفاده کرد. همان‌طور که در قبل اشاره شد مهمترین پارامتر ریزساختاری، تأثیرگذار بر روی خواص مکانیکی آلیاژ مورد مطالعه این پروژة و اکثر آلیاژهای پایه آلومینیومی فاصله بازوهای دندریتی می‌باشد، بنابراین برای کسب نتیجه‌ای دقیق‌تر به منظور اندازه‌گیری DAS دو روش اندازه‌گیری مستقیم و روش مقطع زنی می‌تواند استفاده شود [۲۱].

۱-۲- اندازه‌گیری مستقیم

در این روش نمونه‌ها از طریق میکروسکوپی نوری که قابلیت انتقال تصویر به سیستم آنالیز تصویری را داشت بررسی شدند در این روش از قسمت‌های مختلف هر نمونه اندازه بازوهای دندریتی به طور مستقیم اندازه‌گیری شد و میانگین اعداد حاصله ثبت شد. این روش به علت تعداد بیشتر نقاط اندازه‌گیری شده دقیق‌تر و مورد اطمینان‌تر می‌باشد.

۲-۲- استفاده از روش مقطع زنی

روش کار بر این اساس است که چند بازوی متوالی متعلق به یک شاخه را در نظر می‌گیریم و فاصله مرکز تا مرکز این بازوها اندازه‌گیری می‌شود.

به منظور محاسبه فاصله بین‌دندریتی قطر متوسط α ها و بررسی کروی شدن آنها از نرم‌افزارهای آنالیز تصویری با نام‌های تجاری [ImageJ، Clemex و aquinto] استفاده شد.

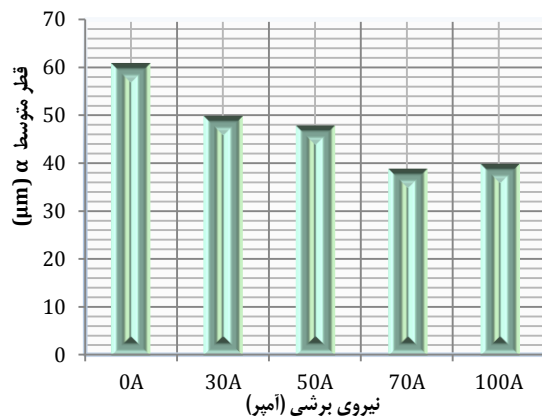
۳- نتایج و بحث

مهمترین فاکتور ریزساختاری که تغییرات آن تأثیر بسیار زیادی بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی آلیاژ برجای می‌گذارد فواصل بین بازوهای دندریتی می‌باشد. هرچه سرعت سرد شدن و گرادیان دمایی بیشتر می‌شود فواصل بازوهای دندریتی کمتر می‌شوند. با ایجاد مادون انجماد و تأمین انرژی لازم برای جوانه‌زنی، عمل جوانه‌زنی در کل سیستم صورت می‌پذیرد و شرایط انجمادی در تمامی حجم مذاب تأمین می‌شود. حال اگر شرایطی فراهم شود که تعداد جوانه‌های بیشتری در زمینه مذاب به وجود آیند انتظار می‌رود ریزساختار ظریف‌تر با فاصله بازوهای کمتر حاصل شود.

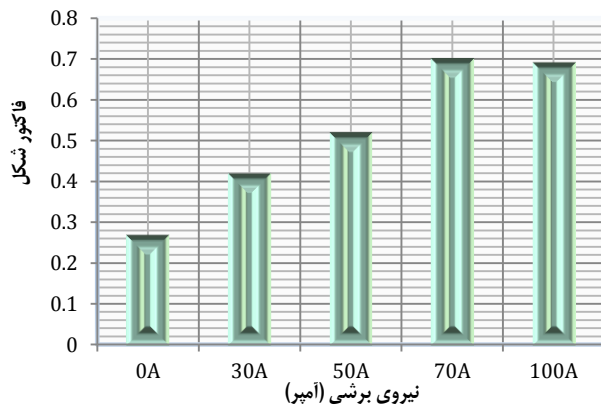
در این پژوهش به سه روش این امر صورت می‌پذیرد:

- اضافه کردن فاز ثانویه، که به عنوان هسته‌های اولیه نیز عمل می‌کنند.
- سرعت سرد شدن بالا، که هم‌زمان، هم تعداد جوانه‌ها را افزایش می‌دهد و هم قطر بحرانی هسته‌ها را کم می‌کند.
- شکسته شدن نوک دندریت‌ها به وسیله نیروی برشی اعمالی، که موجب تبدیل شدن آنها به هسته‌های جدید می‌شوند.

می‌شوند این فرایند خود متأثر از نرخ برش است. افزایش نرخ برش سبب افزایش تماس ذرات می‌شود، اما زمان تماس ذرات جامد-جامد کاهش می‌یابد که تشکیل این باند به‌شدت به زمان تماس ذرات جامد وابسته است [۲۲]. از طرف دیگر، با کاهش نرخ برش، ذرات در زمان بیشتری با یکدیگر در تماس قرار دارند و احتمال آگلومره شدن ذرات نیز در نتیجه آن افزایش می‌یابد و سبب عدم همگنی در ساختار می‌شود، در کل هرچه نیروی برشی بیشتر باشد، احتمال آگلومره شدن کمتر، ساختار ریزتر و کروی‌تر است که شکل ۳ این مطلب را نشان می‌دهد. زیرا افزایش نیروی برشی باعث افزایش مکانیزم‌های اشاره شده می‌شود.



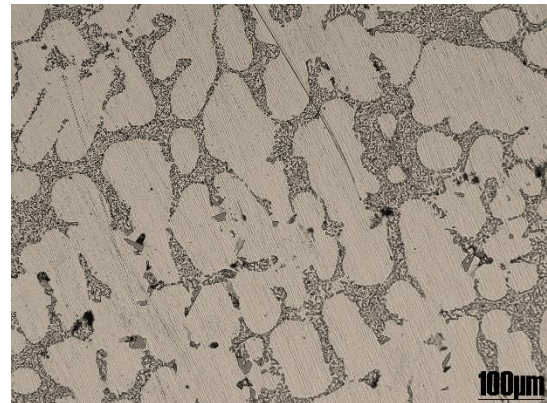
الف



ب

شکل ۴: تأثیرات نیروی برشی بر الف: قطر متوسط ذرات و ب: فاکتور شکل

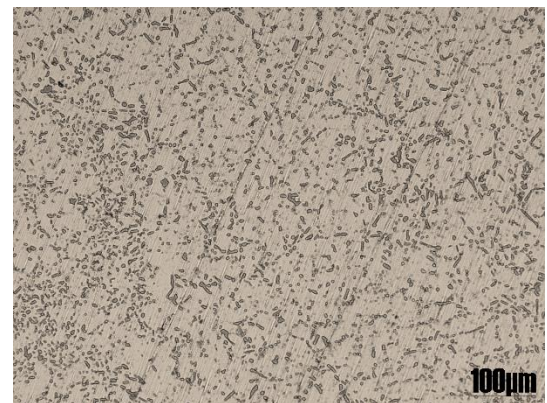
شکل ۴ نمودار قطر متوسط α ها و فاکتور شکل آن‌ها بر حسب نیروی برشی را نشان می‌دهد همان‌طور که دیده می‌شود ساختار ریخته‌گری کوبشی کمتر نسبت به ریخته‌گری در ماسه حالت دندریتی دارد که دلیل آن افزایش سرعت انجماد و تعداد هسته‌های اولیه بیشتر و برخورد بیشتر دندریت‌ها و رشد کمتر آن‌ها به دلیل افزایش سرعت سرد شدن که منشأ آن تغییر قالب از ماسه‌ای به فلزی و ضربه انتقال حرارتی بالاتر است [۲۳]. همچنین به دلیل اعمال فشار و کاهش



الف



ب



ج

شکل ۳: تصویر میکروسکوپ نوری از تغییرات مورفولوژی دندریت‌ها در کامپوزیت‌سازی در حالت نیمه‌جامد با نیروی برشی.

(الف) صفر، (ب) ۳۰ و (ج) ۷۰ آمپر

تأثیر نیروی برشی اعمالی بر ریزساختار

برای ایجاد مورفولوژی گلوبولار و دانه‌ریز چندین مکانیزم ارائه شده است که عبارتند از خرد شدن بازوهای دندریتی، ذوب ریشه بازوهای دندریتی و رشد کنترل شده، این عوام باعث ریزدانه و کروی شدن دندریت‌ها می‌شود [۱۰]. هنگامی که برش به دلیل استفاده از نیروی خارجی اعمالی ایجاد می‌شود، ذرات جامد در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند و اگر از نظر انرژی شرایط فراهم باشد پیوند جامد-جامد بین ذرات رخ می‌دهد و اگر شرایط مهیا نباشد ذرات دوباره جدا

- [6] A. Mazahery, M. Shabani, M. Rahimipour, A. Tofigh, M. Razavi, Kovove Mater, 50, (2012), 107-113.
- [7] A. Mazahery, M. O. Shabani, Tribology Transactions, 56, (2013), 342-348.
- [8] M. O. Shabani, A. Mazahery, Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 54, (2013), 154-160.
- [9] M. Shamsipour, Z. Pahlevani, M. O. Shabani, A. Mazahery, Applied Physics A, 122, (2016), 1-14.
- [10] A. A. Tofigh, M. R. Rahimipour, M. O. Shabani, P. Davami, Journal of Composite Materials, 49, (2015), 1653-1663.
- [11] A. Mazahery, M. O. Shabani, Journal of Materials Science & Technology, 29, (2013), 423-428.
- [12] A. Mazahery, M. Shabani, Archives of Metallurgy and Materials, 57, (2012), 93-103.
- [13] M. Shamsipour, Z. Pahlevani, M. Shabani, A. Mazahery, KOVOVE MATERIALY-METALLIC MATERIALS, 55, (2017), 33-43.
- [14] A. Mazahery, M. O. Shabani, Powder technology, 245, (2013), 146-155.
- [15] A. A. Tofigh, M. O. Shabani, Ceramics International, 39, (2013), 7483-7490.
- [16] M. R. Rahimipour, A. A. Tofigh, A. Mazahery, M. O. Shabani, Neural Computing and Applications, 24, (2014), 1531-1538.
- [17] A. D. Moghadam, E. Omrani, P. L. Menezes, P. K. Rohatgi, Composites Part B: Engineering, 77, (2015), 402-420.
- [18] H. Liu, X. He, P. Guo, editors. Numerical simulation on semi-solid die-casting of magnesium matrix composite based on orthogonal experiment. AIP Conference Proceedings; 2017: AIP Publishing.
- [19] A. Mazahery, M. Alizadeh, M. O. Shabani, Transactions of the Indian Institute of Metals, 65, (2012), 393-398.
- [20] K. M. Sree Manu, L. Ajay Raag, T. P. D. Rajan, M. Gupta, B. C. Pai, Metallurgical and Materials Transactions B, 47, (2016), 2799-2819.
- [21] محسن استاد شعبانی، اثر دما، زمان و نیروی برشی اعمالی بر مورفولوژی و اندازه دندریتها در نانوکامپوزیت‌های زمینه فلزی، گزارش پایانی از پروژه قراردادی، پژوهشگاه مواد و انرژی، ۱۴۰۰.
- [22] M. O. Shabani, M. Shamsipour, A. Mazahery, Z. Pahlevani, Transactions of the Indian Institute of Metals, 71, (2018), 2095-2103.
- [23] M. Shamsipour, Z. Pahlevani, M. O. Shabani, A. Mazahery, Applied Physics A, 122, (2016), 457.

تخلخل باز هم انتقال حرارت شدت بیشتری به خود گرفته و دندریتها ریزتر می‌شوند. در حالت کامپوزیت‌سازی در حالت نیمه‌جامد، دندریتها تبدیل به یک ساختار گلولی می‌شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهد، که متوسط قطر دانه‌ها در این نمونه‌ها افت کرده است. همچنین سه نوع مورفولوژی ساختاری شامل ذرات دندریتی، گل‌برگی شکل و کروی در ساختارها وجود دارد و تعداد بسیار زیادی از دندریتها در حالت کامپوزیت‌سازی در حالت نیمه‌جامد شکسته شده است. شکل ۴-الف، نمودار قطر متوسط ذرات بر حسب نیروی برشی را نشان می‌دهد، که با توجه به مباحث ارائه شده (مکانیزم خردشدن بازوها) و افزایش بیشتر خردشدن بازوهای دندریتی با افزایش نیروی برشی اعمالی منطقی به نظر می‌رسد.

۴- نتیجه‌گیری

ساختار ریخته‌گری کوبشی کمتر نسبت به ریخته‌گری در ماسه حالت دندریتی دارد که دلیل آن افزایش سرعت انجماد و تعداد هسته‌های اولیه بیشتر و برخورد بیشتر دندریتها و رشد کمتر آن‌ها به دلیل افزایش سرعت سردشدن که منشأ آن تغییر قالب از ماسه‌ای به فلزی و ضریب انتقال حرارتی بالاتر است. در حالت کامپوزیت‌سازی در حالت نیمه‌جامد، دندریتها تبدیل به یک ساختار گلولی می‌شوند بررسی‌ها نشان می‌دهد که متوسط قطر دانه‌ها در این نمونه‌ها افت کرده است. به نظر می‌رسد در زمان هم‌زدن با جریان الکترومغناطیسی ۷۰ آمپر در مدت زمان حدود ۶۰ ثانیه، هم زمان کروی‌ترین و کوچک‌ترین ذرات α به‌دست آورده شود، که انتظار بهترین خواص مکانیکی و سایشی را می‌توان داشت.

مراجع و منابع

- [1] M. C. Srivastava, O. Lohne, International Journal of Metalcasting, 10, (2016), 556-565.
- [2] A. A. Tofigh, M. O. Shabani, Acta Metallurgica Slovaca, 19, (2013), 94-104.
- [3] M. O. Shabani, A. A. Tofigh, M. R. Rahimipour, M. Razavi, A. Mazahery, F. Heydari, Materiali in tehnologije, 48, (2014), 459-466.
- [4] A. A. Tofigh, M. R. Rahimipour, M. O. Shabani, M. Alizadeh, F. Heydari, A. Mazahery, et al., Journal of Manufacturing Processes, 15, (2013), 518-523.
- [5] J. Yang, O. J. Ilegbusi, Journal of Materials Engineering and Performance, 7, (1998), 637-642.



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineerresearch.ir

DOI:10.22034/ER.2022.697917



The effects of shear force on size and morphology of the dendrite arm spacing of A356-Al₂O₃ nano composites

M. Ostad Shabani^{*1}, M. R. Rahimpour², M. Razavi³, M. Zakeri⁴, L. Nikzad⁵, I. Mobasherpour⁶¹ Faculty of Materials and Energy Research Center, Tehran, Iran, m-ostadshabany@merc.ac.ir² Faculty of Materials and Energy Research Center, Tehran, Iran, m-rahimi@merc.ac.ir³ Faculty of Materials and Energy Research Center, Tehran, Iran, m-razavi@merc.ac.ir⁴ Faculty of Materials and Energy Research Center, Tehran, Iran, m_zakeri@merc.ac.ir⁵ Faculty of Materials and Energy Research Center, Tehran, Iran, l.nikzad@merc.ac.ir⁶ Faculty of Materials and Energy Research Center, Tehran, Iran, i.mobasherpour@merc.ac.ir**Corresponding Author*

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 04 February 2022

Accepted: 19 May 2022

Keywords:

Al-Si

Automotive

Casting

Nano

ABSTRACT

Al-Si alloys are widely used in the automotive industry. The most important microstructural factor, the changes of which have a great impact on the physical and mechanical properties of cast aluminum composites, is the distance between the dendritic arms. In this study, the effect of applied shear force on the morphology of dendritic arms of composites made by traditional casting, squeeze and semi-solid casting methods has been investigated. The effect of applied shear force, time and temperature of compositing and their effect on dendritic arm morphology have also been investigated. According to the obtained results, the best globular temperature and time for this type of composite in semi-solid state has been calculated. When stirring with a 70 amp electromagnetic current for about 60 seconds, the smallest spherical and smallest α particles are obtained at the same time, which can be expected to have the best mechanical and abrasive properties.



© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.