چکیده

چکیده

دراین مطالعه به بررسی تاثیر ارتعاش بر روی خواص مکانیکی و رفتار انجمادی نمونه‌های ریختگی پرداخته می شود. تاثیرات اصلی ارتعاش شامل بهبود جوانه‌زنی و در نتیجه آن کاهش اندازه دانه ریختگی، کاهش تخلخل‌های انقباضی در نتیجه بهبود تغذیه فلز و تولید یک ساختار همگن می‌باشد.تاکنون اطلاعات کاملی در مورد اینکه چگونه ارتعاشات مکانیکی بر روی میکروساختار ترکیبات مختلف تاثیر می گذارند، ارائه نشده است.تمامی اطلاعاتی که از تحقیقات اخیر به دست آمده‌اند به صورت کیفی بوده و هنوز این اطلاعات به صورت کمی ارائه نشده‌اند.همچنین در این مطالعه توانایی ارتعاش مکانیکی در تولید محلول نیمه جامد با ساختار تیگزوتروپیک آلیاژ A۳۵۶ مورد بررسی قرار گرفته است.تاثیر فرکانس و زمان ارتعاش نیز بر روی اندازه و شکل فاز آلفا و میزان بازیابی دانه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است.

فصل اول

1-1.مقدمه

کنترل میکروساختار که در نتیجه کنترل فرآیند ریختگی حاصل می‌شود، یکی از مسائل بسیار مهمی است که امروزه صنایع مختلف با آن مواجه هستند. به طور کلی یک میکروساختار با دانه‌های ریز هم محور، بهترین خواص مکانیکی و داکتیلیته مناسب با حداقل امکان بوجود آمدن ترک یا میکروتخلخل در درون ساختار را ایجاد می‌کند. برای بدست آوردن ساختار ریزدانه و هم‌محور جهت حصول یک ساختار با خواص مکانیکی مطلوب، روش‌های بسیار مختلفی وجود دارد. از نقطه نظر کاهش هزینه‌ها، روش‌هایی که در هنگام ریختگی آلیاژهای مختلف به کار گرفته می شود، بهترین حالت را ایجاد می‌کنند. از جمله این روش‌ها می توان به انجماد سریع، اضافه کردن عناصرآلیاژی جهت ریز کردن دانه ها و ریخته‌گری حالت نیمه جامد اشاره کرد. تمامی این روش‌ها موفقیت‌های زیادی را در تولید قطعات با ساختار ریزدانه و هم محور داشته‌اند ولی به هر حال هر یک از این روش‌ها دچار معایبی نیز هستند. در انجماد سریع ممکن است در هنگام تولید قطعه ترک ایجاد شده و این موضوع برای قطعات ریختگی با مقاطع نازک اصلاً مطلوب نیست. در هنگام اضافه کردن عناصر آلیاژی ممکن است این عناصر باعث آلودگی محیط اطراف خود شده و همچنین مشکلاتی همچون مسمومیت را بوجود آورند. از جمله معایب روش نیمه جامد هم می‌توان به فرآهم آوردن دشوار مواد اولیه ، زمان بر بودن فرآیند و هزینه‌های بالای آن اشاره کرد.

تاکنون اطلاعات کاملی در مورد اینکه چگونه ارتعاشات مکانیکی بر روی میکروساختار ترکیبات مختلف تاثیر می گذارند، ارائه نشده است.تمامی اطلاعاتی که از تحقیقات اخیر به دست آمده‌اند به صورت کیفی بوده و هنوز این اطلاعات به صورت کمی ارائه نشده‌اند. استفاده از ارتعاش مکانیکی، صوتی یا فراصوتی ممکن است فوایدی همچون: بهبود عملکرد جوانه زنی(ریزتر شدن دانه ها)، افزایش دانسیته، گاز زدایی، کاهش تخلخل‌های انقباضی و تغییر شکل،اندازه و توزیع فاز دوم را در پی داشته باشد.

به طور کلی، میکروساختارهای حاصل از ارتعاش در مقایسه با میکروساختارهای حاصل از ریخته‌گری ثقلی بدون ارتعاش نشان می‌دهند که با افزایش دامنه ارتعاش، فضاهای بین لایه‌ای کاهش پیدا کرده و شکل سیلیکون ها به سمت

رشته‌ای شدن پیش می‌روند. به هر حال این موضوع نیز گزارش شده است که با افزایش دامنه ارتعاش بیشتر از یک مقدار بحرانی، سیلیکون‌ها تمایل به درشت‌تر شدن پیدا خواهند کرد.

روش ارتعاش به دلیل عدم وجود روابط کمی که بتواند رابطه بین پارامترهای ارتعاش و میکرساختار را مشخص کند از جمله روش‌هایی است که از ابتدا تاکنون به میزان کمتری مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین مشکلات دیگری نیز در ارتباط با استفاده از روش ارتعاش در تولید ساختار ریزدانه وجود دارد که می توان به عدم قابلیت استفاده برای ریخته گری قطعات بزرگ، تاثیر دمای اولیه قالب و دمای ریخته گری، مناسب نبودن برای ریخته گری در قالب های ماسه ای،هزینه بالا و بقیه موارد اشاره کرد.

2-1.بررسی انواع ارتعاش

بر اساس منبع ارتعاش، سه نوع انرژی ارتعاشی وجود دارد: ارتعاش مکانیکی، ارتعاش صوتی و فراصوتی، ارتعاش الکترومغناطیسی. در میان این سه نوع انرژی ارتعاشی، تنها ارتعاش الکترومغناطیسی است که در مقیاس صنعتی برای تولید میکروساختار تیگزوتروپیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. به هر حال روش ارتعاش الکترومغناطیسی با مشکلاتی از جمله هزینه زیاد، میکروساختار غیرهمگن در جهت محوری شمش‌های تولیدی و حضور فاز جامد اولیه با شکل غیر کروی(ولی غیر دندریتی) مواجه است. اخیراً استفاده از ارتعاش فراصوتی برای تولید میکروساختار تیگزوتروپیک مورد توجه قرار گرفته است ولی این روش نیز مانند روش الکترومغناطیسی با مشکلاتی از قبیل هزینه زیاد، پایداری کم ترانسفورماتورهای فراصوتی، بوجود آمدن فاصله هوایی در زیر سطح ترانسفورماتور که منجر به بازگشت امواج فراصوتی می‌شود، مواجه است. تاکنون روش ارتعاش مکانیکی، نسبت به دو روش دیگر در تولید میکروساختار تیگزوتروپیک، کمتر مورد مطالعه محققین قرار گرفته است. بیشتر این مطالعات نیز بر روی کاربرد روش ارتعاش مکانیکی در طول زمان انجماد با سرعت‌های زیاد و زمان‌های ارتعاش کوتاه برای ریز کردن دانه‌ها و بوجود آوردن میکروساختار با دانه‌های هم محور صورت پذیرفته است.

فصل دوم

تاثیر ارتعاش بر روی خواص مکانیکی و رفتار انجمادی آلیاژهای Al-Si

در این مطالعه به بررسی چهار مورد خاص از تاثیرات ارتعاش بر روی خواص مکانیکی و رفتار انجمادی آلیاژهای Al-Si پرداخته شده است که در زیر به تفصیل آنها را مورد بررسی قرار می دهیم:

2-1 تاثیر ارتعاش بر روی رفتار انجمادی و خواص مکانیکی آلیاژ۱۸٪Si-Al

2-1-1چکیده

دراین مطالعه به بررسی تاثیر ارتعاش بر روی خواص مکانیکی و رفتار انجمادی نمونه‌های ریختگی پرداخته می شود.تاثیرات اصلی ارتعاش شامل بهبود جوانه‌زنی و در نتیجه آن کاهش اندازه دانه ریختگی، کاهش تخلخل‌های انقباضی در نتیجه بهبود تغذیه فلز و تولید یک ساختار همگن می‌باشد. در این مطالعه تاثیر ارتعاش مکانیکی قالب بر روی آلیاژ هیپویوتکتیک Al-Si در یک دامنه فرکانس ثابت و فرکانس‌های متفاوت مورد مطالعه قرار می‌گیرد.استحکام شکست با اعمال ارتعاش در فرکانس‌های پایین بهبود پیدا می‌کند ولی در فرکانس‌های بالا، استحکام شکست در مقایسه با ریختگی‌های ثقلی بدون ارتعاش کاهش پیدا خواهد کرد. مکانیزم انتقال حرارت جوابگوی تاثیر ارتعاش بر روی خواص مکانیکی این آلیاژ خواهد بود.[1]

2-1-2معرفی

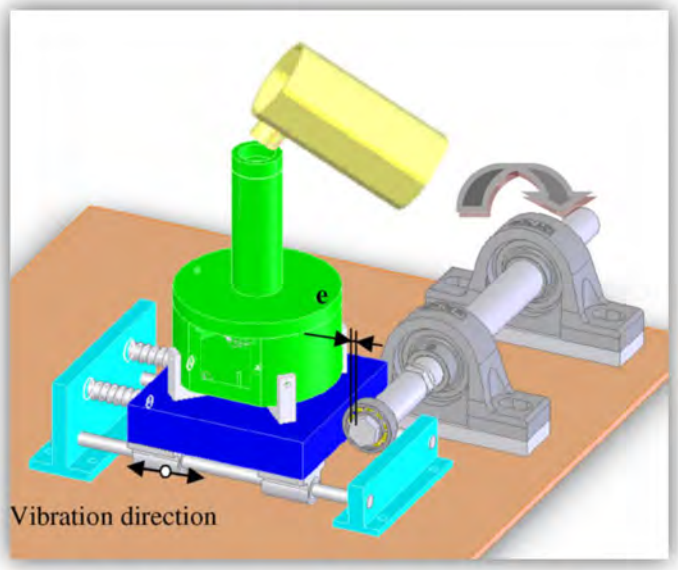
آلیاژهای Al-Si به دلیل فوایدی همچون هدایت حرارتی خوب، قابلیت ریختگی فوق‌العاده، نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت به خوردگی و سایش خوب و جوش‌پذیری مناسب، جزو یکی از رایج‌ترین آلیاژهای صنعتی محسوب می شوند.

کنترل میکروساختار که در نتیجه کنترل فرآیند ریختگی حاصل می‌شود، یکی از مسائل بسیار مهمی است که امروزه صنایع مختلف با آن مواجه هستند. به طور کلی یک میکروساختار با دانه‌های ریز هم محور، بهترین خواص مکانیکی و داکتیلیته مناسب با حداقل امکان بوجود آمدن ترک یا میکروتخلخل در درون ساختار را ایجاد می‌کند. استفاده از ارتعاش مکانیکی، صوتی یا فراصوتی ممکن است فوایدی همچون: بهبود عملکرد جوانه زنی(ریزتر شدن دانه ها)، افزایش دانسیته، گاز زدایی، کاهش تخلخل‌های انقباضی و تغییر شکل،اندازه و توزیع فاز دوم را در پی داشته باشد.

به طور کلی، میکروساختارهای حاصل از ارتعاش در مقایسه با میکروساختارهای حاصل از ریخته‌گری ثقلی بدون ارتعاش نشان می‌دهند که با افزایش دامنه ارتعاش، فضاهای بین لایه‌ای کاهش پیدا کرده و شکل سیلیکون ها به سمت رشته‌ای شدن پیش می‌روند. به هر حال این موضوع نیز گزارش شده است که با افزایش دامنه ارتعاش بیشتر از یک مقدار بحرانی، سیلیکون‌ها تمایل به درشت‌تر شدن پیدا خواهند کرد. در این مطالعه مکانیزمی پیشنهاد خواهد شد که طبق آن دلایل تغییر خواص مکانیکی و متالورژیکی تحت شرایط ارتعاشی، توضیح داده خواهد شد.

3-1-2 روش آزمایش

مواد اولیه در دمای 800 درجه سانتی گراد ذوب شده و در یک قالب پیش‌گرم شده در درمای 130 درجه سانتی گراد، ریخته گری می‌شوند.کوره القایی با فرکانس بالا همراه با یک محفظه خلا برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای هر بار ذوب مقدار 240 گرم ماده اولیه تحت خلا، ذوب می‌گردد. پس از بدست آوردن مذاب، آنرا در یک قالب که به یک سیستم ارتعاش مکانیکی متصل است، ریخته‌گری می‌کنیم(شکل 2-1). ارتعاش به صورت خطی و با دامنه فرکانس ثابت 0/5 میلیمتر و در فرکانس های صفر، 8 و 24 هرتز بر روی نمونه ریختگی اعمال می‌شود.



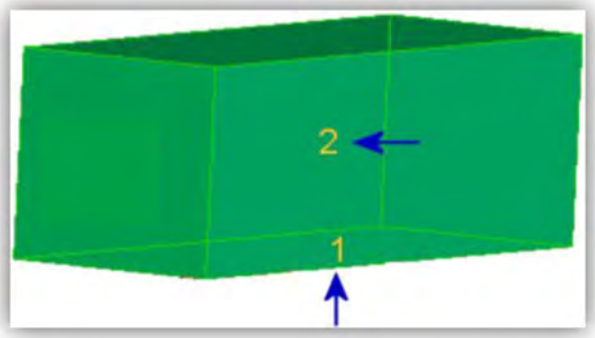
شکل ۲-۱. شماتیکی از دستگاه ایجاد ارتعاش مکانیکی[1]

پس از ریخته‌گری، نمونه‌ها را به مدت 8 ساعت تحت عملیات حرارتی در دمای 200 درجه سانتی‌گراد قرار می‌دهیم.

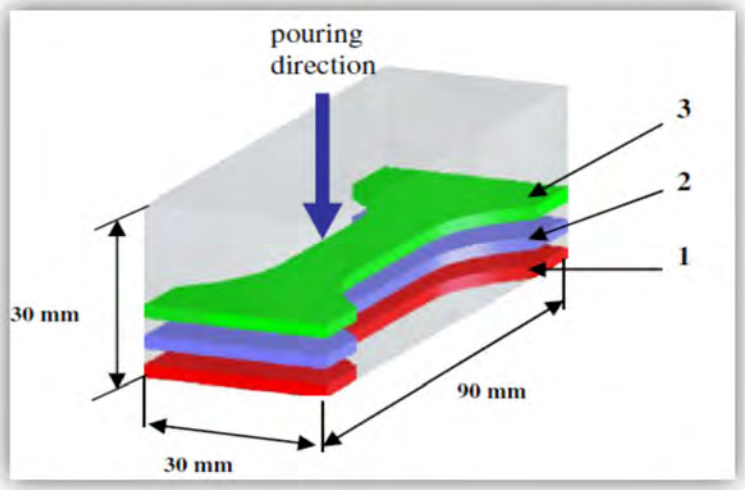
برای آنالیز رفتار انجمادی نمونه ها، دو ترموکوپل نوع k به دو نقطه قالب متصل می‌شوند تا تغییرات دما را درطول زمان ریختگی و انجماد اندازه‌گیری کنند.(شکل 2-2 و 2-3)

نمونه‌هایی که برای آزمایش کشش مورد استفاده قرار می‌گیرند، از سه لایه مختلف در درون نمونه ریخته شده بدست می‌آیند(شکل 2-4). این موضوع به این دلیل انجام می‌شود که علاوه بر بررسی خواص آلیاژ آلومینیوم در فرکانس‌های مختلف، این خواص در نقاط مختلف شمش نیز مورد بررسی قرار گیرد.

شکل 2-2 موقعیت ترموکوپل‌ها در قالب [1]

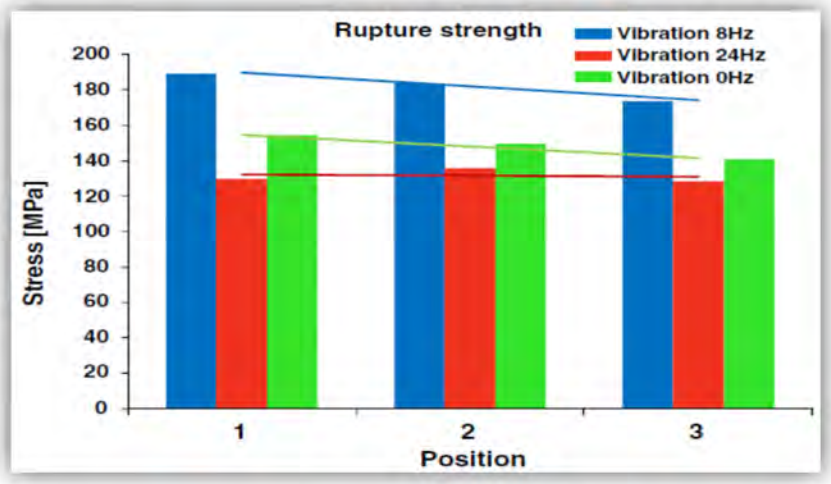


شکل 2-3. موقعیت‌های اندازه‌گیری دما در دیواره قالب 1- پایین قالب 2- جلوی قالب[1]

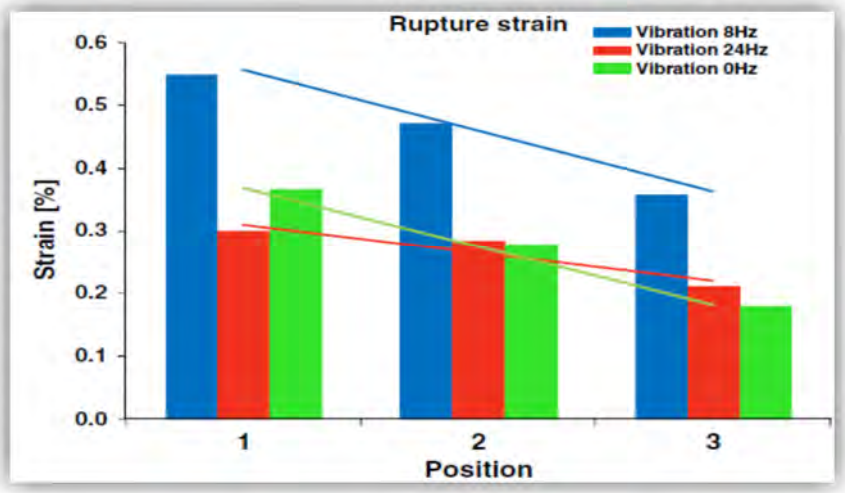


شکل2-4. موقعیت نمونه‌های کششی در نمونه ریختگی[1]

4-1-2 نتایج: استحکام شکست و کرنش شکست درشکل‌های 2-5و 2-6 نمایش داده شده است.در تصویر 5 این موضوع کاملاً مشخص است که استحکام شکست نمونه‌هایی که تحت ارتعاش 8 هرتز قرار گرفته‌اند نسبت به نمونه‌های ریختگی بدون ارتعاش، 31 درصد افزایش پیدا کرده است. این در حالی است که استحکام شکست نمونه‌هایی که تحت ارتعاش با فرکانس 24 هرتز قرار می‌گیرند در حدود 13 درصد کاهش می‌یابد. همچنین در این تصویر می‌توان به این موضوع نیز پی برد که در فرکانس‌های صفر و 8 هرتز، خواص مکانیکی از موقعیت 3 به1 روبه افزایش است در حالی که در فرکانس 24 هرتز، تمایلی به این افزایش دیده نمی‌شود.



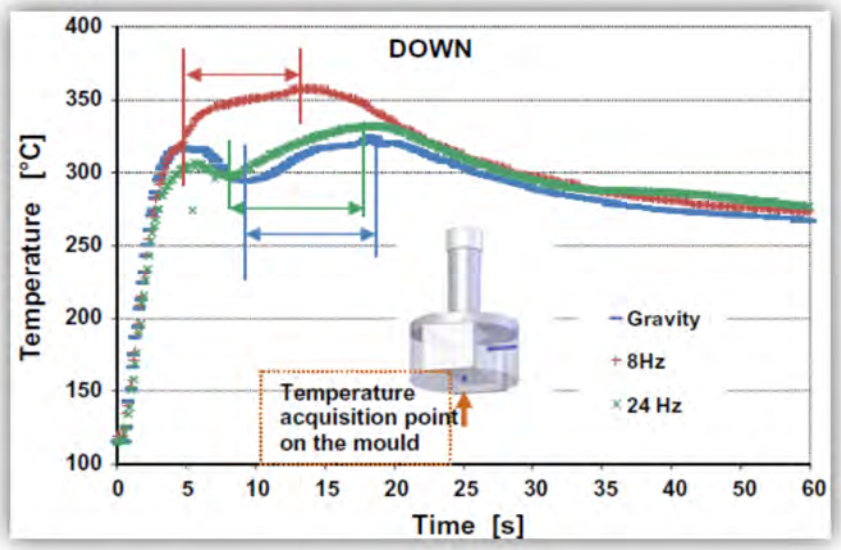
شکل 2-5. استحکام شکست در فرکانس های صفر، 8 و 24 هرتز برای سه موقعیت نمونه[1]



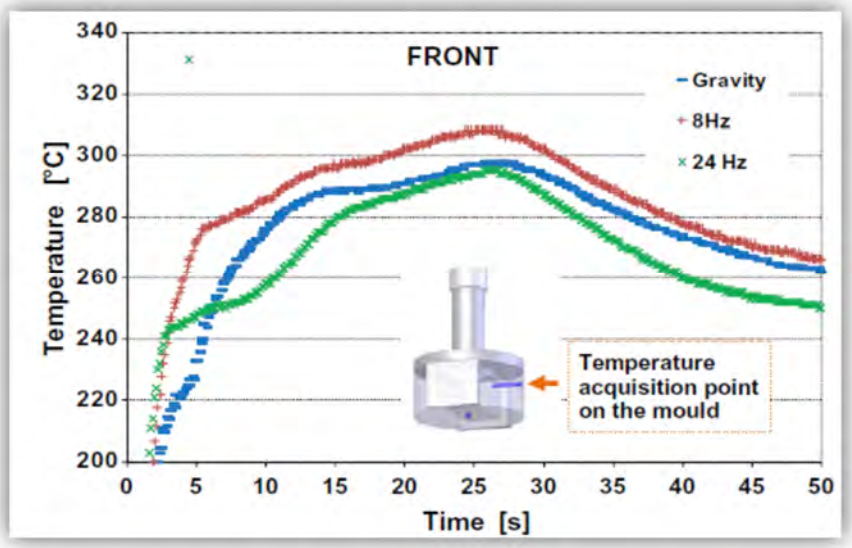
شکل 2-6. کرنش شکست در فرکانس‌های صفر، 8 و 24 هرتز برای سه موقعیت نمونه[1]

بنابراین خواص مکانیکی برای نمونه‌هایی که تحت ارتعاش ریخته‌گری می‌شوند تا یک سطح مشخص از فرکانس افزایش پیدا کرده ولی با افزایش بیشتر از این سطح فرکانس، خواص مکانیکی کاهش پیدا خواهند کرد.

در تصاویر 2-7 و 2-8، تغییرات دما در طول زمان انجماد برای نمونه های ریخته شده در سه فرکانس اعمالی، نشان داده شده است. همانطور که از تصاویر مشخص است بالاترین دما مربوط به نمونه‌هایی است که تحت فرکانس 8 هرتز ریخته گری شده اند. این موضوع برای هر دو موقعیت جلو و پایین قالب صادق است.



شکل 2-7. منحنی‌های انجماد برای سطوح مختلف ارتعاش در موقعیت پایین قالب[1]



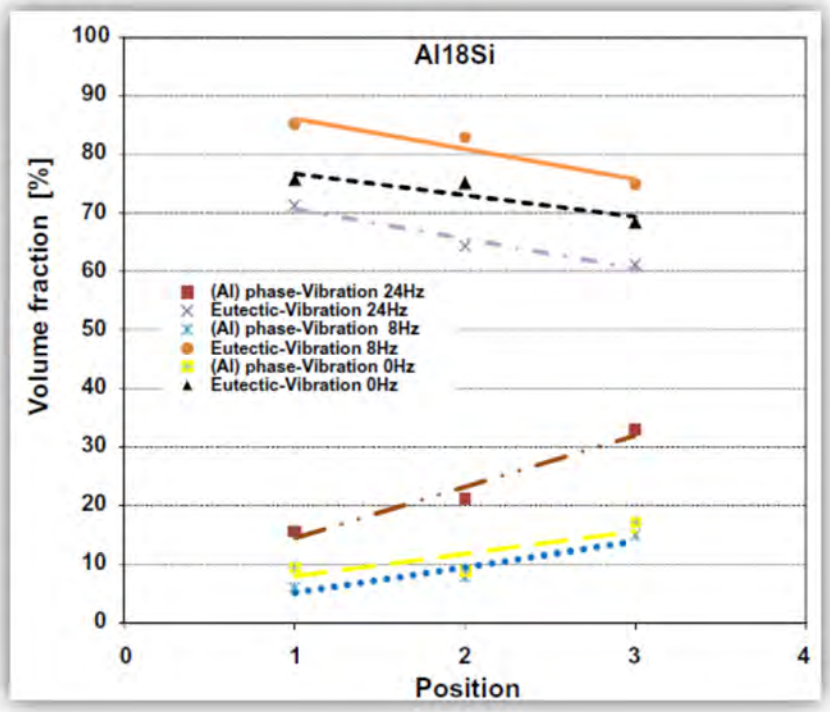
شکل 2-8. منحنی‌های انجماد برای سطوح مختلف ارتعاش در موقعیت جلوی قالب[1]

در جدول2-1، نقطه شروع انجماد و فاصله زمانی بین شروع و پایان انجماد برای موقعیت پایین قالب و برای سه فرکانس اعمالی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که برای فرکانس 8 هرتز، انجماد زودتر آغاز شده و برای انجماد کامل آن نیز زمان کوتاهتری طول می‌کشد. برای فرکانس های صفر و24 هرتز نیز، نتایجی بسیار نزدیک به هم در مورد شروع انجماد و فاصله زمانی بین شروع و پایان انجماد به دست خواهد آمد.

جدول 2-1 مشخصات انجماد برای سه فرکانس اعمال شده[1]

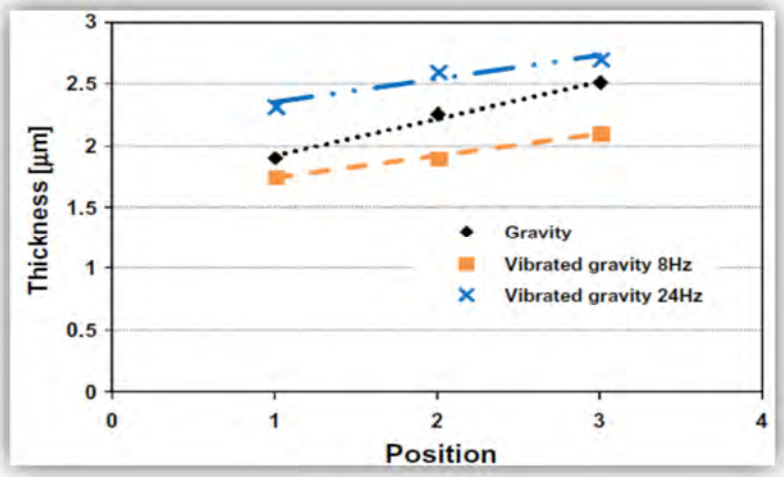
Solidification frequency (Hz)	Reading position: down		
	0	8	24
Starting solidification point (s)	9.6	5.0	8.5
Solidification interval (s)	9.5	9.3	10.5

در شکل 2-9، با در نظر گرفتن فرکانس صفر به عنوان مقیاس، مقدار فاز یوتکتیک برای فرکانس 8 هرتز در حدود 11 درصد افزایش و برای فرکانس 24 هرتز در حدود 8 درصد کاهش می‌یابد.



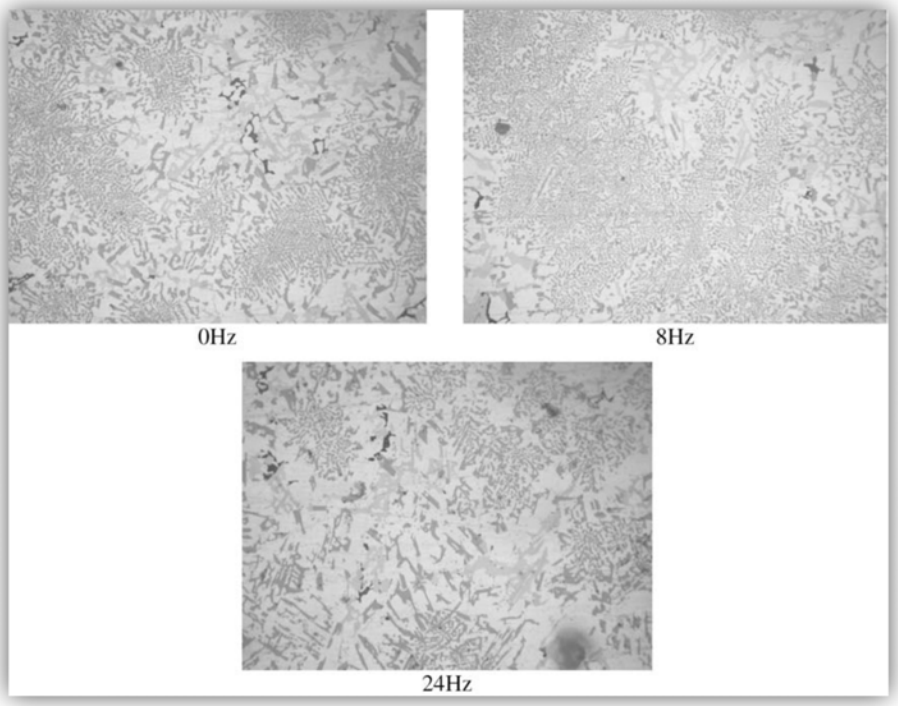
شکل 2-9.کسر حجمی فاز جامد در سه فرکانس مختلف و برای سه موقعیت نمونه[1]

در شکل 2-10 ضخامت لایه‌های سیلیکونی در فرکانس‌های مختلف قابل مشاهده است. همانطور که نشان داده شده است برای فرکانس 8 هرتز نازک‌ترین لایه‌های سیلیکونی و برای فرکانس 24 هرتز ضخیم‌ترین آنها به دست خواهد آمد(این موضوع برای هر سه موقعیت صادق است).



شکل 2-10. ضخامت لایه سیلیکونی در سه فرکانس اعمال شده برای سه موقعیت نمونه[1]

تصاویر میکروسکوپی در فرکانس‌های مختلف در شکل2-11 نمایش داده شده است.



شکل 2-11. میکروساختار نمونه ریختگی در فرکانس‌های مختلف (بزرگ نمایی 500×)[1]

به طور کلی، ساختار ریزتر برای فرکانس 8 هرتز و ساختاری درشت‌تر برای فرکانس 24 هرتز حاصل خواهد شد.همچنین می‌توان مشاهده کرد که شکل سیلیکون‌های یوتکتیکی که در حالت بدون ارتعاش، حالت مرجان مانند دارند، در فرکانس 8 هرتز بهبود پیدا کرده و ریزتر و حالت کروی بیشتری به خود خواهند گرفت در حالی که با اعمال فرکانس 24 هرتز، شکل این سیلیکون‌ها به سمت تیغه های درشت‌تر و بشقاب مانند با میزان کمتر یوتکتیک های مرجان مانند، پیش خواهند رفت.

5-1-2. بحث و نتایج

نتایج مکانیکی وابسته به خواص مکانیکی هستند که این خواص خود نیز وابسته به رفتار انجمادی ماده مورد نظر هستند. از منحنی‌های انجمادی کاملاً مشخص است که با اعمال ارتعاش با فرکانس 8 هرتز بر روی نمونه‌ها، انجماد در زمان های کوتاهتری آغاز شده و در زمان کمتری انجماد به طور کامل به پایان می‌رسد.بنابراین میکروساختار ریزتر برای این نمونه ها بدست خواهد آمد(شکل 2-10 و 2-11). همچنین مقدار بیشتر از فاز یوتکتیک و در نتیجه خواص مکانیکی مطلوب-تر مورد انتظار خواهد بود(شکل 5 و 6).

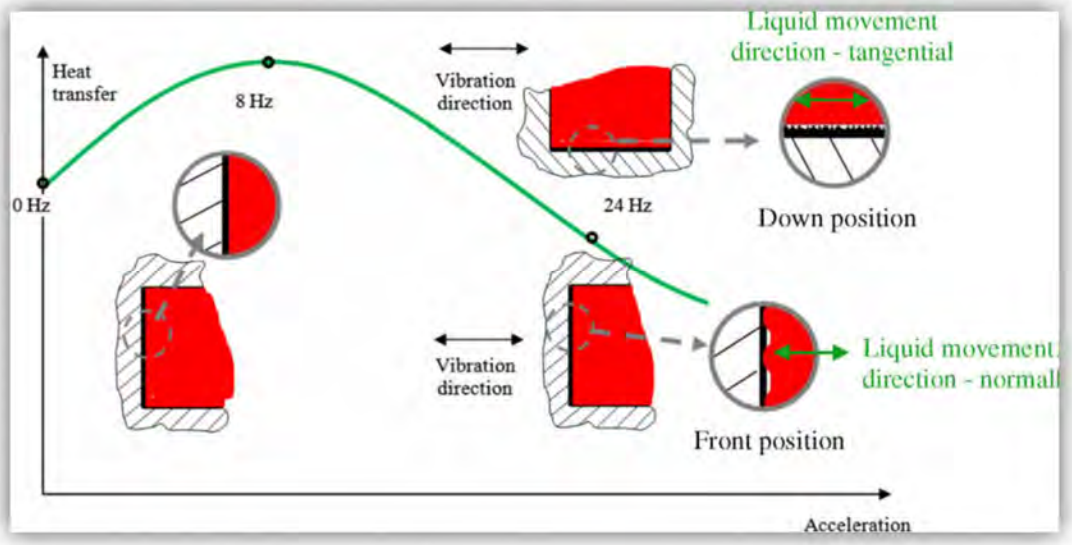
با مقایسه بین نمونه‌های بدون ارتعاش و نمونه‌های با ارتعاش و فرکانس 24 هرتز به این نتیجه می‌رسیم که با اعمال ارتعاش با فرکانس 24 هرتز زمان انجماد طولانی‌تر خواهد شد(جدول 2-1)، مقدار کمتری فاز یوتکتیک به دست خواهد آمد(شکل 2-10)، و در نتیجه خواص مکانیکی ضعیف تر(به ویژه استحکام کششی)، حاصل خواهد شد.بنابراین یک ارتباط کامل بین رفتار انجمادی، میکروساختار و خواص مکانیکی وجود دارد.

این نتایج به طور کلی در مراجع دیگری نیز حاصل شده است. بنابراین یک روند صعودی در بهبود خواص مکانیکی، پس از اعمال ارتعاش تا یک مقدار مشخص از فرکانس، قابل دسترس خواهد بود.

تفاوت بین خواص مکانیکی موقعیت های 1 تا 3 را نیز می‌توان توسط فاصله موقعیت تا کف قالب و رفتار انجماد متفاوت این موقعیت‌ها، شرح داد. بدین معنی که مذاب در موقعیت 1، زودتر از موقعیت 2 و 3 منجمد می‌شود و بنابراین میکروساختار ریزتر، مقدار فاز یوتکتیک بیشتر و در نتیجه خواص مکانیکی بهتری خواهد داشت. به همین دلیل، موقعیت 3، ضعیف‌ترین خواص مکانیکی را خواهد داشت.

مهم‌ترین نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که باید بتوان راه‌حلی پیدا کرد که این راه حل توجیه فیزیکی را برای این پدیده ارائه دهد که چرا خواص مکانیکی با اعمال ارتعاش در مقادیر مختلف از فرکانس اینگونه تغییر می‌کند.

6-1-2 مکانیزم پیشنهادی: این مکانیزم بر اساس مکانیزم انتقال حرارت در فاز مایع و در فصل مشترک دیواره قالب توضیح داده می‌شود. مکانیزم پیشنهادی به طور شماتیک در شکل 2-12 نمایش داده شده است و به صورت زیر است:



شکل ۷-۱۷.تغییرات انتقال حرارت با افزایش فرکانس و نمایش مکانیزم[1]

- در نمونه‌های بدون ارتعاش یک تماس "طبیعی" بین فلز مذاب و قالب وجود دارد. انتقال حرارت به صورت "طبیعی" رخ می‌دهد و نرخ انجماد یک مقدار مشخص دارد که ساختار نهایی را حاصل می‌کند.
- در حالتی که ارتعاش با فرکانس 8 هرتز اعمال می‌شود مقدار بیشتری انتقال حرارت از دیواره قالب به دلیل حرکت متناوب مذاب فلز صورت می‌پذیرد(شکل 2-7 و 2-8 دمای اولیه انجماد بالاتری را در درون قالب نشان می دهند). بنابراین این حرکت مذاب ممکن است جابه‌جایی مکان‌های جوانه‌زنی و در نتیجه سرعت انجماد بالاتر را فرآهم آورد. تماس بین فلز مذاب و قالب در این حالت، تقریباً مشابه حالت بدون ارتعاش است. ولی به هر حال، انتقال حرارت در فاز مایع به دلیل حرکت‌های ارتعاشی بهبود پیدا می‌کند. زمان‌های انجماد کوتاهتر(جدول 2-1) به دلیل نرخ انجماد سریع‌تر و بهبود خصوصیات جوانه به دلیل توزیع بهتر جوانه در فاز مایع، بدست خواهد آمد. نتیجه این خواهد بود که میکروساختار ریزتر و مقدار فاز یوتکتیک بیشتر حاصل خواهد شد. بنابراین خواص مکانیکی مطلوب‌تر بدست خواهد آمد.
- در فرکانس 24 هرتز، ارتعاش باعث افزایش انتقال حرارت از درون مذاب به فصل مشترک قالب می‌شود که این پدیده به دلیل حرکت تناوبی سریع‌تر مذاب رخ می‌دهد. به هر حال به نظر می‌رسد که سرعت نسبی بین مذاب و دیواره قالب در این حالت بیش از اندازه نیاز است که باعث عدم تماس کافی مذاب با دیواره قالب می شود(مناطق کم فشار در فصل مشترک مذاب فلز و قالب)(در موقعیت جلوی قالب). در نتیجه این عدم تماس

کافی، حباب‌های با فشار کم همانند حفره های اصلی را بوجود می‌آورد. این حالت هنگامی اتفاق می‌افتد که کشش سطحی(مذاب و دیواره قالب) به اندازه کافی ضعیف نیست که مذاب بتواند تماس سطحی بین خود و دیواره قالب را در سرعت‌های بالا(دامنه فرکانس زیاد) حفظ کند. عدم تماس کافی مذاب با دیواره قالب بدین معنی است که انتقال حرارت در فصل مشترک از حالت کلی هدایت حرارتی به حالت هدایت حرارتی+ جابه جایی تغییر می کند.به دلیل اینکه انتقال حرارت از طریق جابه جایی نسبت به هدایت به میزان خیلی کمتر صورت می‌پذیرد، بنابراین سرعت انجماد در این حالت کاهش پیدا خواهد کرد. در نتیجه یک میکروساختار درشت‌تر با مقدار فاز یوتکتیک کمتر حاصل خواهد شد. خواص مکانیکی نیز به دلیل بوجود آمدن این چنین ساختاری، کاهش پیدا خواهد کرد(به خصوص در مورد استحکام شکست این موضوع کاملاً واضح است).

- مکانیزمی که باعث عدم تماس کافی مذاب با کف قالب می شود همانند مکانیزم دیواره جلویی قالب است با این تفاوت که علاوه بر حرکت مذاب، اثرات زبری کف قالب نیز بر این مکانیزم تاثیرگذار است.
- از بررسی‌های صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که ارتعاش می‌تواند وابسته به عوامل زیر بر روی ساختار نهایی مفید یا مضر واقع شود: میزان سرعت نسبی بین مذاب و دیواره قالب و ارتباط این سرعت با میکروساختار، کشش سطحی فلز مذاب و جنس قالب. این موضوع می‌تواند دلیلی باشد بر اینکه چرا در بعضی مطالعات ارتعاش را عاملی مفید در بهبود خواص مکانیکی و برخی دیگر آنرا عاملی مضر می‌دانند.

7-1-2 نتیجه‌گیری

رفتار انجمادی که از طریق منحنی‌های انجماد، آنالیز میکروساختار و نتایج مکانیکی حاصل می‌شود نشان می‌دهد که:

- ارتعاش بر روی نرخ انجماد و خصوصیات آن تاثیرگذار است.
- ارتعاش بر روی خواص مکانیکی تاثیرگذار است.
- تاثیر ارتعاش بر روی ساختار قطعه، به تاثیر ارتعاش بر روی مکانیزم انتقال حرارت در درون ساختار برمی‌گردد.
- ارتعاش، انتقال حرارت در درون مذاب فلز را افزایش می‌دهد.
- ارتعاش ممکن است باعث کاهش انتقال حرارت در فصل مشترک مذاب و دیواره قالب شود. این موضوع به دلیل عدم تماس کافی که تحت دو مکانیزم هیپوتکتیک زیر اتفاق می‌افتد، صورت می گیرد: 1- کشش سطحی بالا 2- اثر زبری دیواره قالب

2-2 بهبود مرفولوژی Si در آلیاژ یوتکتیک Al-Si با استفاده از ارتعاش مکانیکی

2-2-1چکیده

تاکنون اطلاعات کاملی در مورد اینکه چگونه ارتعاشات مکانیکی بر روی میکروساختار ترکیبات مختلف تاثیر می گذارند، ارائه نشده است.تمامی اطلاعاتی که از تحقیقات اخیر به دست آمده‌اند به صورت کیفی بوده و هنوز این اطلاعات به صورت کمی ارائه نشده‌اند. در این مطالعه، تاثیر ارتعاش مکانیکی قالب بر روی ساختار یوتکتیک آلیاژهای Al-Si در فرکانس ثابت 100 Hz و دامنه ارتعاش متفاوت بین 18 تا 199 میکرومتر مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایشات نشان می‌دهند که مرفولوژی Si به شدت تحت تاثیر دامنه ارتعاش قرار می‌گیرد. به طور کلی با افزایش دامنه ارتعاش فضای بین لایه‌ها کاهش پیدا کرده و مرفولوژی Si به سمت هرچه بیشتر رشته‌ای شدن پیش می رود. به هر حال افزایش بیش از حد دامنه ارتعاش از یک مقدار بحرانی، باعث درشت‌تر شدن سیلیکون‌ها خواهد شد.همچنین در این مطالعه، خواص مکانیکی مربوط به این تغییر میکروساختار مورد بررسی قرار خواهند گرفت. این بررسی‌ها نشان می دهد که حداکثر ازدیاد طول نسبت به استحکام کششی، بیشتر تحت تاثیر ارتعاش قرار می‌گیرد.[2]

2-2-2 معرفی

برای بدست آوردن ساختار ریزدانه و هم‌محور جهت حصول یک ساختار با خواص مکانیکی مطلوب، روش‌های بسیار مختلفی وجود دارد. از نقطه نظر کاهش هزینه‌ها، روش‌هایی که در هنگام ریختگی آلیاژهای مختلف به کار گرفته می شود، بهترین حالت را ایجاد می‌کنند. از جمله این روش‌ها می توان به انجماد سریع، اضافه کردن عناصرآلیاژی جهت ریز کردن دانه ها و ریخته‌گری حالت نیمه جامد اشاره کرد. تمامی این روش‌ها موفقیت‌های زیادی را در تولید قطعات با ساختار ریزدانه و هم محور داشته‌اند ولی به هر حال هر یک از این روش‌ها دچار معایبی نیز هستند. در انجماد سریع ممکن است در هنگام تولید قطعه ترک ایجاد شده و این موضوع برای قطعات ریختگی با مقاطع نازک اصلاً مطلوب نیست. در هنگام اضافه کردن عناصر آلیاژی ممکن است این عناصر باعث آلودگی محیط اطراف خود شده و همچنین مشکلاتی همچون مسمومیت را بوجود آورند. از جمله معایب روش نیمه جامد هم می‌توان به فرآهم آوردن دشوار مواد اولیه ، زمان بر بودن فرآیند و هزینه‌های بالای آن اشاره کرد.

روش ارتعاش به دلیل عدم وجود روابط کمی که بتواند رابطه بین پارامترهای ارتعاش و میکرساختار را مشخص کند از جمله روش‌هایی است که از ابتدا تاکنون به میزان کمتری مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین مشکلات دیگری نیز در ارتباط با استفاده از روش ارتعاش در تولید ساختار ریزدانه وجود دارد که می توان به عدم قابلیت استفاده برای ریخته گری قطعات بزرگ، تاثیر دمای اولیه قالب و دمای ریخته گری، مناسب نبودن برای ریخته گری در قالب های ماسه ای،هزینه بالا و بقیه موارد اشاره کرد.

مقایسه روش ارتعاش مکانیکی با ارتعاش الکترومغناطیسی: روش الکترومغناطیسی از جمله روش‌هایی است که بدون تماس با قالب یا مذاب، در درون مذاب فلز اغتشاش ایجاد می‌شود. بدین معنی که ارتعاش بوسیله جریان الکتریکی متناوب و میدان مغناطیسی به داخل مذاب القا می‌شود. گزارش شده است که در استفاده از این روش تخریب و از بین رفتن فضاهای خالی رخ خواهد داد که این موضوع سبب ریز شدن ساختار آلیاژ خواهد شد(Al-۱۷%Si، Al-۷٪Si و چدن ها). به هر حال روش الکترومغناطیسی روشی بسیار هزینه‌بر است و برای ایجاد یک ساختار ریزدانه نیاز به مقدار زیادی از جریان دارد تا بتواند موثر واقع شود. به عبارت دیگر، ارتعاش مکانیکی به دلیل سادگی و قیمت پایین‌تر، رایج تر محسوب می شود.

برای اولین بار شخصی به نام Sokolof، از روش ارتعاش مکانیکی جهت بدست آوردن ساختار ریزدانه استفاده کرده است. تاثیرات مثبت روش ارتعاش مکانیکی بر روی چندین فلز مختلف از جمله روی، برنز، آلومینیوم و ... گزارش شده است. این تاثیرات شامل بهبود جوانه‌زنی و در نتیجه کاهش اندازه دانه ریختگی، کاهش تخلخل‌های انقباضی در نتیجه بهبود تغذیه فلز و تولید یک ساختار فلزی همگن خواهد بود. این تاثیرات باعث ارتقای خواص مکانیکی و کاهش احتمال ایجاد ترک در درون ساختار خواهند شد.آلیاژ Al-Si به دلیل کاربرد گسترده در صنایع مختلف به خصوص اتومبیل‌سازی و همچنین بررسی ساده‌تر اثر ارتعاش بر روی ساختار آنها، مورد استفاده قرار گرفته است.

خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته توسط محققین: روستوکر و برگر با اعمال ارتعاش بر روی یوتکتیک آلیاژ Al-Si ملاحظه کردند که مقدار یوتکتیک‌های مجزا از یکدیگر افزایش پیدا کرده و رسوب کردن بخش‌هایی از این یوتکتیک ها بر روی دندریت‌های اولیه صورت می پذیرد.

سوتگیت با انجام آزمایشات به این نتیجه رسید که مقدار فاز یوتکتیک در درون ساختار افزایش پیدا کرده و یک افزایش 10 درصدی در استحکام کششی به دست خواهد آمد. فریمن و والانس، با اعمال ارتعاش بر روی یوتکتیک آلیاژ Al-۱۲٪Si به این نتیجه رسیدند که ساختار ریزدانه به همراه فاز یوتکتیک درشت‌تر، بوجود خواهد آمد. فیشر با استفاده از رفتار ارتعاشی بر روی LM۶ به این نتیجه رسید که که اندازه دانه و اندازه دندریت‌های اولیه کاهش پیدا خواهند کرد. بربور ایتال نیز با افزایش دامنه ارتعاش بر روی آلیاژ Al-۱۲٪Si ، به این نتیجه رسید که تیغه‌های سوزنی کوتاهتر و نازکتر در درون ساختار ایجاد خواهند شد.

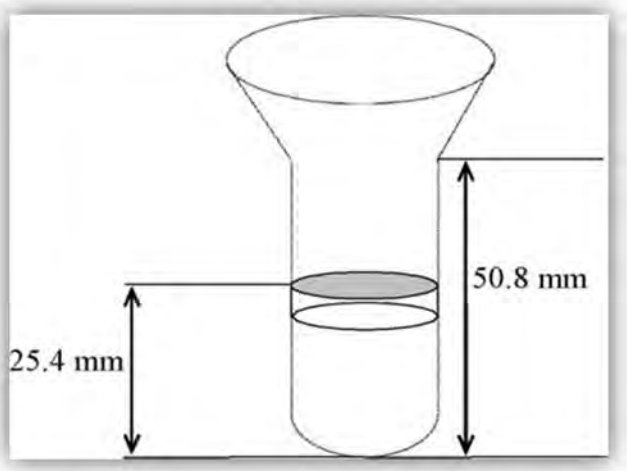
اخیراً نیز دو محقق به نام های کوکاتپ و بوردت با اعمال ارتعاش بر روی ساختار آلیاژهای LM۶ به این نتیجه رسیده اند که اندازه سیلیکون های یوتکتیک افزایش پیدا خواهد کرد. افزایش درشت‌تر شدن سیلیکون ها همراه با افزایش فرکانس و دامنه ارتعاش امکان پذیر است که این امر موجب کاهش خواص مکانیکی آلیاژ LM۶ خواهد شد.

3-2-2 نتایج و بحث

پارامترهای ارتعاش که در این مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرند فرکانس ثابت100 Hz و دامنه فرکانس متغیر از کمترین مقدار 18 میکرومتر تا بیشترین مقدار 199 میکرومتر می‌باشد.

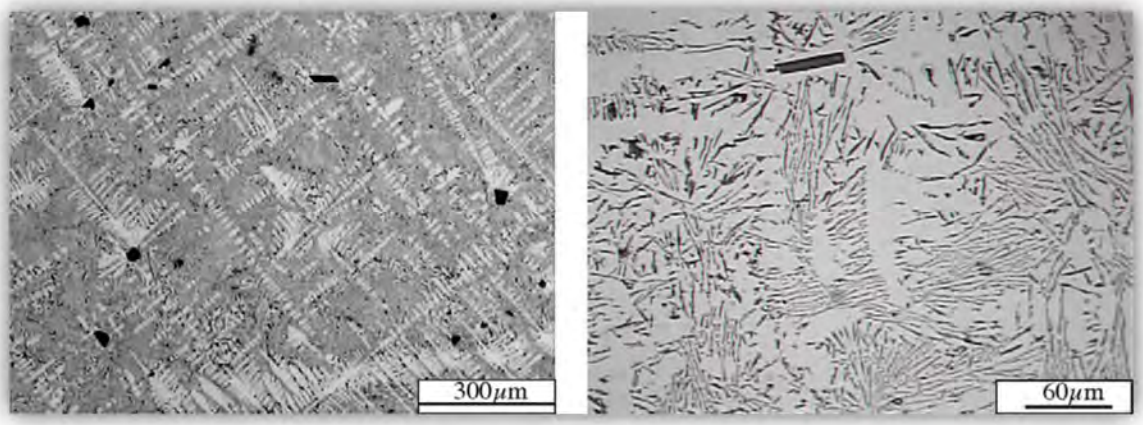
4-2-2 بررسی میکروساختار

بررسی میکروساختار بر اساس نمونه‌ای که از لبه پایینی نمونه ریخته شده یک اینچ فاصله دارد، انجام می‌شود(شکل -13).



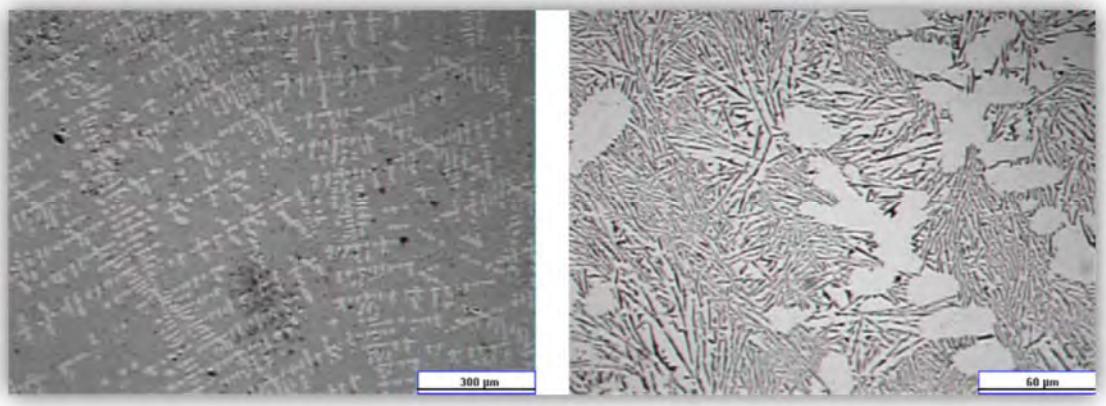
شکل2-13. موقعیت نمونه آزمایشی در نمونه ریخته شده[2]

میکروساختار نمونه‌ای که بدون ارتعاش ریخته‌گری شده است در شکل 2-14 نمایش داده شده است.

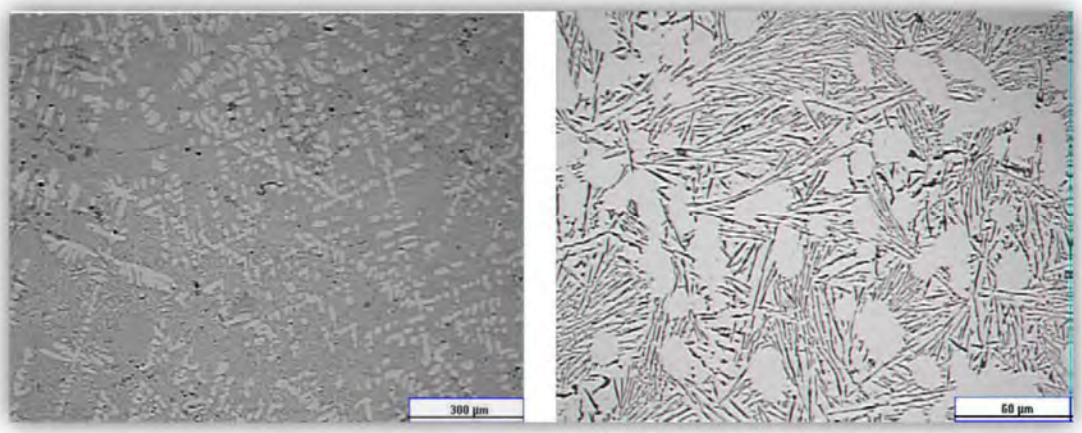


شکل2-14. میکروساختار نمونه بدون ارتعاش[2]

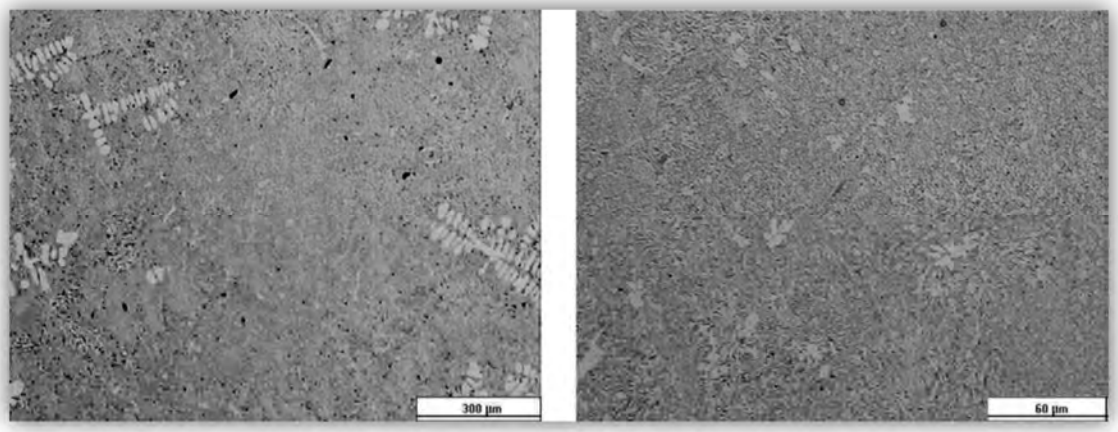
میکروساختارهایی که تحت دامنه ارتعاش‌های متفاوت نیز قرار گرفته‌اند در شکل‌های 2-15 تا 2-18 نمایش داده شده‌اند. در بیشتر آلیاژهای یوتکتیکی دوتایی معمول، این انتظار وجود دارد که فاز اولیه چه از عنصر پایه باشد و چه از عنصر آلیاژی، در درون ساختار وجود نداشته باشد. به هر حال آلیاژ Al-Si یکی از آلیاژهای یوتکتیک غیرمعمول است و رفتار پیچیده ای از جوانه زنی و رشد را از خود نشان می‌دهد. این رفتار غیرمعمول در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است. در نمونه های بدون ارتعاش، آلومینیوم اولیه، به شکل دندریت‌هایی با بازوی اولیه در حدود 200µm در درون ساختار گسترش می‌یابد. سیلیکون‌های یوتکتیکی در درون نمونه‌های بدون ارتعاش، به شکل یک ورقه مشاهده می‌شوند. فضای لایه‌ای سیلیکون‌های یوتکتیکی در حدود 2/5µm و ورقه‌های سیلیکونی طولی در حدود 27 µm خواهند داشت.



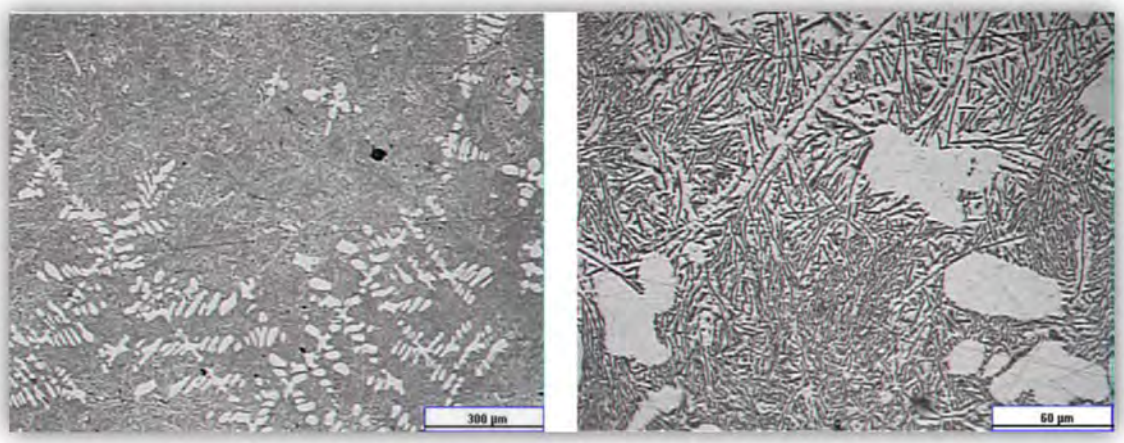
شکل ۲-۱۵.میکروساختار نمونه ریخته شده در فرکانس ۱۰۰Hz و دامنه فرکانس ۱۵ µm.[۲]



شکل ۲-۱۶. میکروساختار نمونه ریخته شده در فرکانس ۱۰۰Hz و دامنه فرکانس ۴۹ µm.[۲]



شکل۲-۱۲. میکروساختار نمونه ریخته شده در فرکانس ۱۰۰Hz و دامنه فرکانس ۱۴۹ µm. [۲]



شکل۲-۱۵. میکروساختار نمونه ریخته شده در فرکانس ۱۰۰Hz و دامنه فرکانس ۱۹۹ µm. [۲]

تمام نمونه‌های تحت ارتعاش، در فرکانس مشابه100 Hz و دامنه فرکانس متفاوت 18، 49، 149 و 199 میکرومتر ریخته گری شده‌اند.میکروساختاری که از کمترین مقدار دامنه فرکانس یعنی 18µm حاصل می‌شود نشان می‌دهد که دندریت‌های آلومینیومی در درون ساختار شکسته شده‌اند. مکعب‌های بزرگی که در درون نمونه‌های بدون ارتعاش وجود داشتند حذف شده و ساختار با مقدار یوتکتیک بیشتر حاصل خواهد شد. در این حالت دندریت‌های کمتری وجود دارد که شکسته نشده‌اند و فضای بازوی اولیه برای این دندریت‌ها در حدود 150µm خواهد بود. به هر حال بیشتر این دندریت‌ها به تکه‌های کوچک آلومینیومی که قطری در حدود 27 µm دارند، شکسته می‌شوند. فضای لایه‌ای یوتکتیک این نمونه در مقایسه با نمونه بدون ارتعاش از2/5 µm به 2µm کاهش پیدا خواهد کرد.ورقه‌های سیلیکونی کوتاهتر و طول آنها در حدود 15µm اندازه‌گیری خواهد شد. هنگامی که دامنه ارتعاش به 49µm می‌رسد، اندازه

دندریت‌های آلومینیوم کاهش پیدا کرده و اندازه فضای لایه‌ای یوتکتیک به میزان کمی افزایش و به مقدار 2/77 میکرومتر می‌رسد. همچنین طول ورقه‌های سیلیکونی هم 31µm خواهد شد.

از شکل 2-17 می‌توان نتیجه گرفت که تبدیل ساختار سیلیکون از حالت ورقه‌ای به رشته‌ای، با افزایش دامنه ارتعاش به مقدارµm 149، آغاز خواهد شد.بررسی میکروساختار نشان می‌دهد که یکنواختی این نمونه در مقایسه با نمونه‌های دیگر بیشترافزایش می‌یابد. به طور همزمان، ساختار دندریتی که در دامنه فرکانس‌های پایین‌تر و در حالت بدون ارتعاش وجود داشت، حذف شده و بیشتر مناطقی که تحت بررسی قرار گرفتند، تبدیل موفقیت‌آمیز ترکیب ساختار به ترکیب فاز یوتکتیک را نشان می‌دهند. هنگامی که دامنه فرکانس بهµm 199 افزایش می‌یابد، رشته‌های سیلیکونی یوتکتیک درشت‌تر شده و ساختاری با ورقه‌های ضخیم را بوجود می‌آورند. ورقه‌های سیلیکونی نیز ضخامتی در حدود 1/5-1 میکرومتر خواهند داشت.فضای لایه‌ای یوتکتیک 1/5µm و طول ورقه‌ها 10/5µm خواهد بود. همچنین بایستی به این نکته نیز توجه داشت که اندازه تکه‌های باقی‌مانده از دندریت‌ها در این حالت نسبت به نمونه‌های تحت ارتعاش در دامنه فرکانس‌های پایین تر، بزرگ تر می‌باشد ولی اندازه این تکه‌ها نسبت به دندریت‌هایی که در حالت بدون ارتعاش قرار دارند، بسیار کوچکتر می‌باشد. هر دو خصوصیت فضای لایه‌ای و طول ورقه برای میکروساختار یوتکتیک در دامنه فرکانس‌های مختلف اندازه‌گیری شده و به طور خلاصه در جدول 2-2 نمایش داده شده است.

جدول2-2 مشخصات فاز یوتکتیک در نمونه های ریختگی[2]

Casting condition	Lamellar spacing (µm)	Si flake length (µm)	Notes
No vibration	2.5	27	Si cuboids, large dendrites
100 Hz, 18 µm	2	15	Broken dendrites
100 Hz, 49 µm	2.77	31	Refined broken dendrites
100 Hz, 149 µm	N/A	N/A	Fibrous Si observed
100 Hz, 199 µm	1.5	10.5	Coarse Si Flakes

در مقادیر پایین از دامنه فرکانس ارتعاش این گمان زده می‌شود که ارتعاش اعمالی شدت کافی برای افزایش نرخ انجماد را نداشته و در نتیجه نمی‌تواند بر روی شیب دما در جهت افقی تاثیر گذار باشد. بنابراین در این حالت، سیلیکون‌ها شکل ورقه‌ای خود را حفظ خواهند کرد. به هر حال، ارتعاش همواره در حل شدن مکعب‌های سیلیکونی در مذاب و تشکیل

یوتکتیک‌های غیرمعمول در درون آلیاژ Al-Si و همچنین در کمک کردن به شکست دندریت‌ها در درون ساختار، موثر واقع می شود.

افزایش دامنه ارتعاش تا 199 µm هم، مقداری بیشتر از مقدار مورد نیاز برای ایجاد شیب دمایی و سرعت رشد لازم برای تولید سیلیکون‌های رشته‌ای می‌باشد. به هر حال، ارتعاش با دامنه زیاد در این حالت نه تنها باعث تغییر شکل سیلیکون‌ها از حالت ورقه‌ای به رشته‌ای نمی‌شود بلکه این چنین ارتعاشی به این ورقه‌ها کمک می‌کند که در درون مذاب حرکت کرده و با ملحق شدن به یکدیگر، حالت کلوخه‌ای را به وجود آورند. سهولت کلوخه شدن سیلیکون‌های رشته ای، ساختار درشت سیلیکون‌های ورقه ای را در دامنه فرکانس‌های بالا توضیح می دهد. بررسی دقیق شکل 2-18 نشان می-دهد که قبل از اینکه فرآیند درشت شدن سیلیکون‌های ورقه‌ای اتفاق بیفتد، این سیلیکون ها توسط برخی از سیلیکون-های رشته ای احاطه شده‌اند.

با وجود اینکه تلاش‌های زیادی در جهت شناسایی شکل پیچیده رشد مسطح – غیر مسطح آلیاژهای Al-Si انجام شده است[30-28]، به طور واضح مشخص نیست که چگونه می‌توان مرفولوژی این آلیاژ را کنترل کرد. به هر حال از این مطالعات نتیجه‌ای که حاصل می‌شود این است که برای تبدیل سیلیکون‌های ورقه‌ای به سیلیکون‌های رشته‌ای، بایستی سرعت انجماد خیلی زیاد و شیب حرارتی شدید در درون مذاب بوجود آید. بنابراین ساختار رشته‌ای سیلیکون‌ها که برای حالت ارتعاشی در دامنه فرکانس 149 µm حاصل می‌شود، در نتیجه افزایش سرعت انجماد می‌باشد. با مقایسه نتایجی که از این آزمایش حاصل می‌شود، با مطالعه قبلی که فنگ ایتال بر روی آلیاژ Al-Mg تحت انجماد جهت دار و در شرایط ارتعاشی انجام داده است، نتایج مشابهی بدست خواهد آمد. در مقاله فنگ ایتال این نتیجه حاصل می شود که با اعمال ارتعاش، کاهش در شیب دمایی و کاهش در سرعت رشد اتفاق می‌افتد.

5-2-2 نتیجه‌گیری

- اعمال ارتعاش بر روی آلیاژ Al-Si، منجر به تغییرات میکروساختاری در هر دو مورد ترکیب یوتکتیک و ساختار دندریتی آلومینیوم خواهد شد.
- ارتعاش موجب شکست ساختار دندریتی و تبدیل آنها به تکه‌های کوچک آلومینیومی خواهد شد. با ثابت نگه داشتن فرکانس ارتعاش در مقدار 100 Hz و افزایش دامنه ارتعاش تا 149 µm، افزایش در میزان شکسته شدن دندریت‌ها حاصل خواهد شد. به هر حال این اثر با افزایش دامنه فرکانس به مقدار 199 µm کاهش پیدا خواهد کرد. در این دامنه فرکانس، افزایش نسبتاً کم در اندازه دندریت‌های شکسته شده مشاهده خواهد شد.
- ساختار یوتکتیک در این آزمایش بین دو حالت ورقه ای – رشته‌ای تغییر می‌کند.هنگامی که دامنه فرکانس به مقدار 149 µm می رسد، ساختار یوتکتیک از حالت ورقه‌ای آلومینیوم به ساختار رشته‌ای، تغییر می یابد.

هنگامی که دامنه فرکانس از این مقدار بیشتر می‌شود، سیلیکون های رشته‌ای مانند باقی مانده با یکدیگر ترکیب شده و حالت کلوخه‌ای پیدا می کنند که این موضوع باعث تشکیل سیلیکون‌های ورقه‌ای درشت در درون ساختار خواهد شد.

- برای تمام نمونه‌هایی که تحت ارتعاش ریخته‌گری می‌شوند، افزایش درصد ازدیاد طول بین 19 تا 68 درصد مشاهده می‌شود. به هر حال، بهبود در تنش کششی به میزان خیلی کم و در حدود 3 درصد رخ می دهد. افزایش در درصد ازدیاد طول ناشی از افزایش مقدار ترکیب یوتکتیک در نمونه‌های ارتعاشی در مقایسه با نمونه‌های بدون ارتعاش می‌باشد.

3-2 مطالعه امکان تولید ساختار تیگزو تروپیک آلیاژ آلومنیوم A356 توسط ارتعاش مکانیکی

1-3-2چکیده

در این مقاله توانایی ارتعاش مکانیکی در تولید محلول نیمه جامد با ساختار تیگزو آلیاژ A ۳۵٦ مورد بررسی قرار گرفته است.تاثیر فرکانس و زمان ارتعاش بر روی اندازه و شکل فاز آلفا و میزان بازیابی دانه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است.با اعمال ارتعاش مکانیکی بر روی این آلیاژ آلومنیوم، میکرو ساختار تیگزو بدست خواهد آمد. همچنین از طریق مشاهدات به این نتیجه می‌توان رسید که اندازه و شکل آلفا به شدت تحت تاثیر فرکانس زمان ارتعاش قرار می‌گیرند.[3]

2-3-2معرفی

امروزه فرآیند حالت نیمه‌جامد به عنوان یک تکنولوژی مدرن و پیشرفته در تولید تجهیزات مهندسی مطرح شده است. این فرآیند چندین مزیت را نسبت به فرآیندهای رایج و معمول مانند ریخته‌گری ثقلی، چکش‌کاری و متالورژی پودر ارائه می‌دهد. این فرآیند این قابلیت را فراهم می‌کند که تجهیزات با اشکال پیچیده و دیواره نازک، خواص مکانیکی خوب و دقت ابعادی بالا تولید شوند.

در فرآیند حالت نیمه‌جامد از یک محلول مایع- جامد استفاده می‌شود. این محلول تحت نیروی خارجی بین دو قالب شکل می‌گیرد که شکل گیری تیگزو نام دارد. همچنین این محلول با تزریق به درون حفره قالب که فرآیند ریخته‌گری تیگزو نام دارد، موجب تولید قطعه خواهد شد.

عواملی که بر روی جریان محلول جامد- مایع تاثیر می‌گذارند به دو گروه دسته بندی می‌شوند:1- عوامل متالوژیکی 2- عوامل تکنولوژیکی.

عوامل متالوژیکی که که بر روی جریان این محلول تاثیر می‌گذارند شامل: کسر جامد محلول نیمه‌جامد، دما، اندازه، شکل، توزیع ذرات جامد در درون مذاب و ترکیب شیمیایی آلیاژ می‌باشد. در میان تمامی این عوامل، اندازه و شکل ذرات جامد در محلول نیمه‌جامد بیشترین تاثیر را بر روی جریان محلول نیمه‌جامد دارند. بر اساس مطالعات انجام شده در مورد شکل‌گیری قطعه تحت فرآیند نیمه‌جامد، مقاومت در برابر جریان محلول‌هایی که شامل ذرات دندریتی شکل هستند، بسیار بیشتر از محلول‌هایی است که شامل ذرات کروی یا برفکی مانند می‌باشد. به عبارت دیگر محلول‌هایی که که شامل ذرات دندریتی شکل هستند، هنگام حرکت کردن در یکدیگر قفل شده و باعث کلوخه شدن ذرات خواهند شد که این موضوع مقاومت در برابر حرکت سیال را هر چه بیشتر افزایش خواهد داد. بر خلاف این موضوع، هنگامی که محلول شامل ذرات کروی شکل باشد به راحتی تحت شرایط برشی به جریان درخواهد آمد. با توجه به این مشکل، برخی محققین درصدد تولید محلول نیمه‌جامدی با ذرات ریز و کروی شکل برآمدند. این محلول نیمه جامد با ذرات ریز

و کروی شکل، به نام میکروساختار تیگزوتروپیک معروف شده است. در چند سال اخیر، برای تولید محلول‌های نیمه-جامدی با میکروساختار تیگزوتروپیک روش‌های بسیار زیادی معرفی شده است. این روش‌ها می توانند به دو گروه اصلی دسته‌بندی شوند:

1- روش‌هایی که از به هم زدن یا تلاطم مذاب استفاده می‌کنند مانند ریخته‌گری جنبشی، ایجاد اغتشاش توسط روش الکترومغناطیسی و میز لرزان
2- روش‌های بدون ایجاد تلاطم در مذاب مانند ریخته‌گری دمای پایین و ذوب مجدد موضعی، SIMA و اضافه کردن جوانه‌زاهای شیمیایی

استفاده از انرژی ارتعاشی یکی از روش‌هایی است که با ایجاد تلاطم در مذاب، میکروساختار تیگزوتروپیک را بوجود می‌آورد.

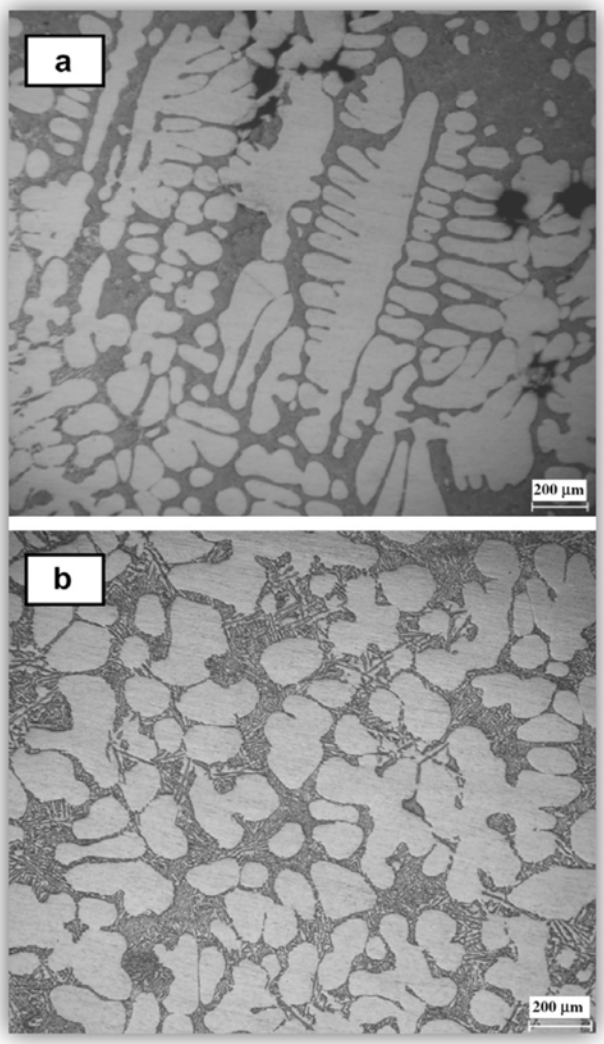
چرنف اولین شخصی است که در سال 1878 از ارتعاش استفاده نموده است. چرنف در طول زمان انجماد فولاد،قالب را تحت ارتعاش قرار داده و در نهایت ریزتر شدن فاز اولیه آستنیت را در ساختار نهایی مشاهده کرد. در مطالعات دیگری نیز کاربرد انرژی ارتعاشی بر روی فرآیند فلز مورد مطالعه قرار گرفته است که تمامی این مطالعات نشان می دهند که انرژی ارتعاشی، تاثیرات بسیار زیادی بر روی میکروساختار نهایی قطعات ریختگی دارد.

بر اساس منبع ارتعاش، سه نوع انرژی ارتعاشی وجود دارد: ارتعاش مکانیکی، ارتعاش صوتی و فراصوتی، ارتعاش الکترومغناطیسی. در میان این سه نوع انرژی ارتعاشی، تنها ارتعاش الکترومغناطیسی است که در مقیاس صنعتی برای تولید میکروساختار تیگزوتروپیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. به هر حال روش ارتعاش الکترومغناطیسی با مشکلاتی از جمله هزینه زیاد، میکروساختار غیرهمگن در جهت محوری شمش‌های تولیدی و حضور فاز جامد اولیه با شکل غیر کروی(ولی غیر دندریتی) مواجه است. اخیراً استفاده از ارتعاش فراصوتی برای تولید میکروساختار تیگزوتروپیک مورد توجه قرار گرفته است ولی این روش نیز مانند روش الکترومغناطیسی با مشکلاتی از قبیل هزینه زیاد، پایداری کم ترانسفورماتورهای فراصوتی، بوجود آمدن فاصله هوایی در زیر سطح ترانسفورماتور که منجر به بازگشت امواج فراصوتی می‌شود، مواجه است. تاکنون روش ارتعاش مکانیکی، نسبت به دو روش دیگر در تولید میکروساختار تیگزوتروپیک، کمتر مورد مطالعه محققین قرار گرفته است. بیشتر این مطالعات نیز بر روی کاربرد روش ارتعاش مکانیکی در طول زمان انجماد با سرعت‌های زیاد و زمان‌های ارتعاش کوتاه برای ریز کردن دانه‌ها و بوجود آوردن میکروساختار با دانه‌های هم محور صورت پذیرفته است، در حالی که در این مطالعه، تاثیر ارتعاش مکانیکی بر روی اندازه و شکل فاز جامد اولیه در آلیاژ آلومینیوم A۳۵۶ جهت تولید ساختار تیگزوتروپیک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

3-3-2. نتایج و بحث

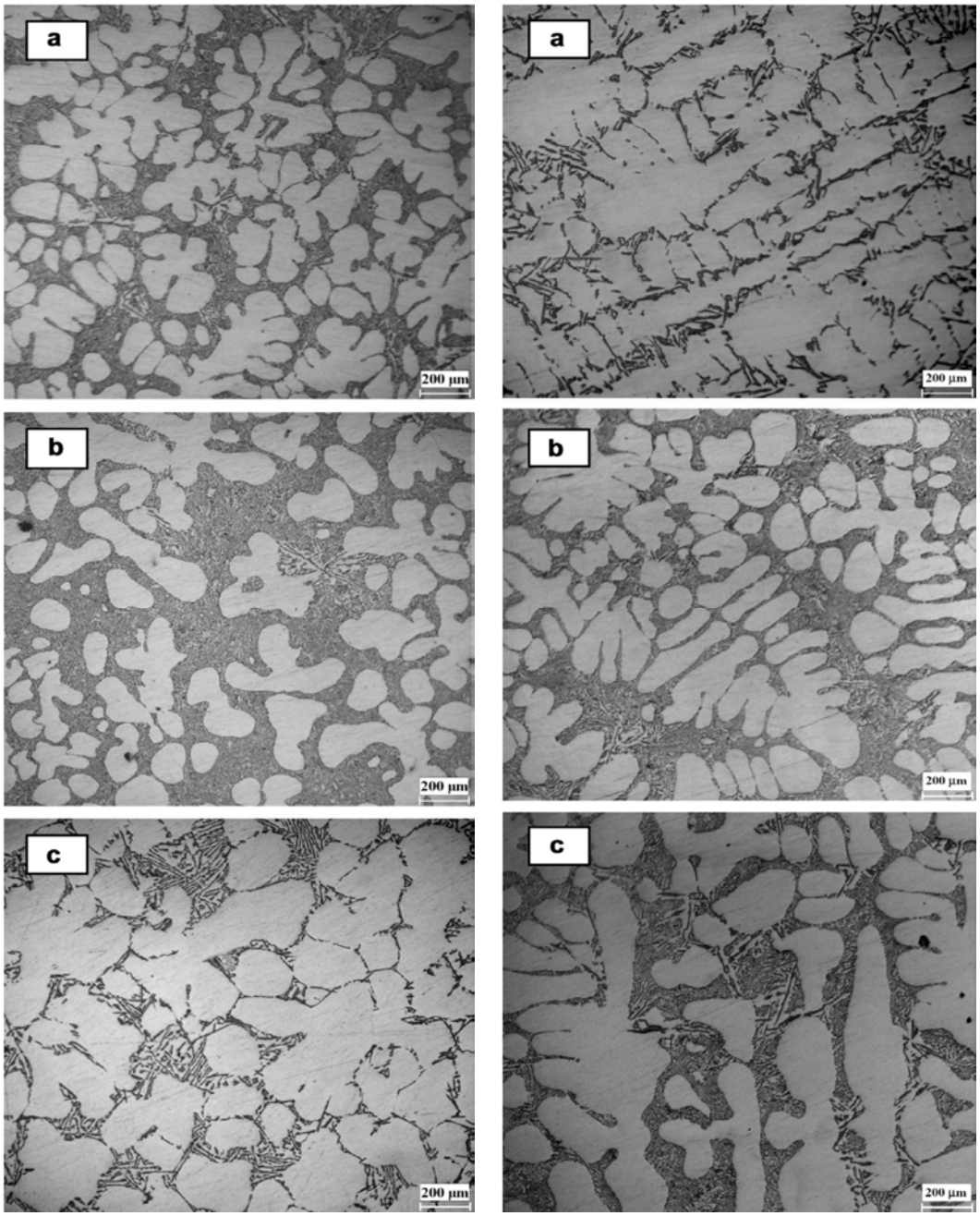
1- تاثیر فرکانس و زمان ارتعاش بر روی اندازه فاز جامد اولیه

شکل 2-19 میکروساختار نمونه‌های ریختگی با اعمال ارتعاش و بدون ارتعاش را نشان می‌دهد. دندریت‌های ستونی با طول بیشتر از 1 mm در شکل 2-19-a قابل مشاهده است. در شکل 2-19-b نشان داده شده است که با اعمال ارتعاش، دانه‌های هم محور و ریز حاصل خواهد شد.

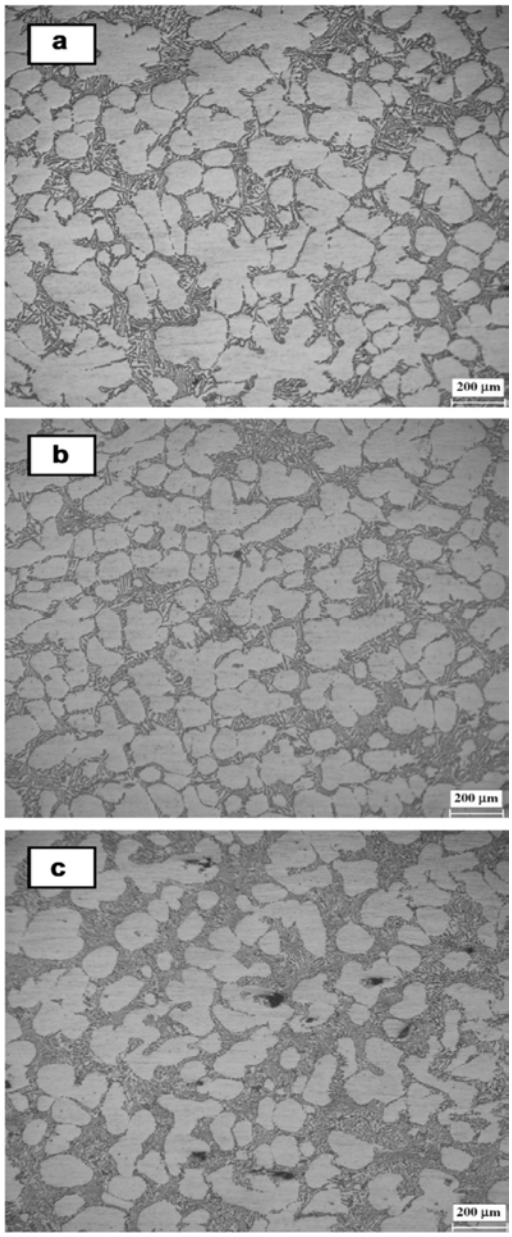


شکل2-19. میکروساختار نمونه ها a) بدون ارتعاش b) همراه با اعمال ارتعاش[3]

شکل‌های 2-20 تا 2-22، میکروساختار حاصل از فرکانس‌های ارتعاشی 10، 30 و 50 هرتز را در زمان‌های ارتعاش 5، 15 و 30 دقیقه، نشان می‌دهند.



شکل 2-20. میکروساختار نمونه های ریخته گری شده در فرکانس 30 هرتز و زمان های ارتعاش a)5 b)15 c)30 دقیقه[3]



شکل 2-21. میکروساختار نمونه های ریخته گری شده در فرکانس 50 هرتز و زمان های ارتعاش a)5 b)15 c)30 دقیقه[3]

شکل a-2-20 میکروساختار حاصل از نمونه ویبره شده در فرکانس 10Hz و زمان 5min را نشان می‌دهد. با مقایسه شکل a-2-19 و a-2-20، مشخص می‌شود که که اعمال ارتعاش در این فرکانس و در زمان 5 دقیقه، تاثیر بسیار ناچیزی بر روی اندازه فاز جامد اولیه α دارد. با افزایش فرکانس تا مقدار 50 هرتز، اندازه فاز جامد اولیه به میزان بیشتری کاهش می‌یابد و در این فرکانس به 300µm می رسد(این موضوع در شکل a-2-20،a-2-21 و a-2-22نمایش داده شده است).

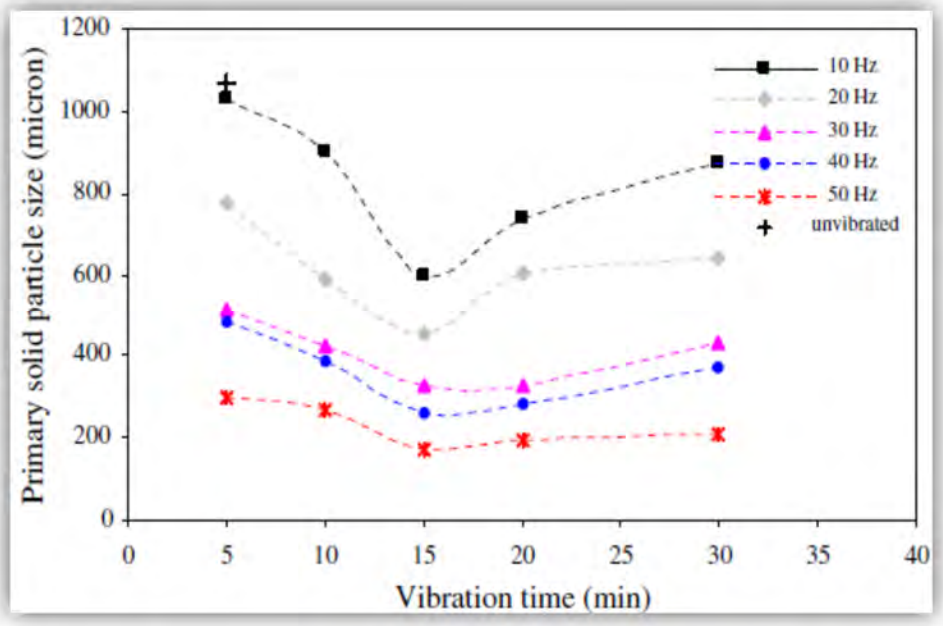
شکل 2-a-20 تاثیر زمان ارتعاش را در فرکانس ثابت 10Hz نشان می دهد. در این فرکانس، اندازه فاز جامد اولیه با افزایش زمان ارتعاش تا 15 دقیقه کاهش می یابد و سپس با افزایش بیشتر زمان تا 30 دقیقه، اندازه فاز جامد اولیه افزایش می یابد. به هر حال، تاثیر ارتعاش در این فرکانس خیلی قابل ملاحظه نیست. با افزایش فرکانس تا مقدار 50 هرتز و با افزایش زمان ارتعاش تا 15 دقیقه، اندازه فاز جامد اولیه کاهش پیدا خواهد کرد ولی با افزایش زمان ارتعاش تا 30 دقیقه، میکروساختار درشت‌تر حاصل خواهد شد. ریزترین فاز جامد اولیه در فرکانس 50 هرتز و در زمان 15 دقیقه حاصل خواهد شد که اندازه دانه 170μm خواهد داشت.

تغییرات اندازه دانه با زمان ارتعاش برای فرکانس‌های مختلف در شکل 2-23 نمایش داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش فرکانس ارتعاش، اندازه فاز جامد اولیه در تمامی زمان‌های ارتعاش کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین این شکل نشان می‌دهد که با افزایش زمان ارتعاش تا 15 دقیقه اندازه فاز جامد اولیه در تمامی فرکانس‌ها، کاهش پیدا خواهد کرد ولی با افزایش زمان ارتعاش از 15 به 30 دقیقه، این اندازه افزایش پیدا خواهد کرد.

انرژی ارتعاشی از طریق دو مکانیزم بر روی میکروساختار نهایی، تاثیر می‌گذارد:1- ایجاد سیکل فشار-کشش 2-انتقال حرارت اجباری در درون مذاب آلیاژ. هر دو رفتار ذکر شده در هنگام ارتعاش، رفتار جوانه‌زنی و رشد آلیاژ را در هنگام انجماد تحت تاثیر قرار می‌دهند. انرژی ارتعاشی در درون مذاب، امواجی را ایجاد می‌کند. نیروهای کشش- فشار متناوب با عبور از این امواج در درون عناصر مذاب ایجاد می‌شوند. در نیم‌سیکل کشش، پدیده ایجاد حفره رخ داده و باعث جوانه‌زنی حفره‌ها در درون مذاب می‌شود. در هنگام رشد این حفره‌ها، دمای سطح حفره‌ها شروع به کاهش کرده و سپس ذرات جامد جدید بر روی این مناطق موضعی جوانه‌زنی خواهند کرد. با اندازه‌گیری فرکانس و دامنه ارتعاش مورد نیاز برای مکانیزم ایجاد حفره که توسط کمپبل انجام شد به این نتیجه می‌توان رسید که این مکانیزم در ارتعاش های با فرکانس بالا مانند ارتعاش فراصوتی اتفاق می‌افتد. بنابراین مکانیزم ایجاد حفره نمی‌تواند دلیلی قابل قبول برای توجیه ریز شدن دانه‌ها در این مطالعه باشد.

به هر حال، انرژی ارتعاشی، باعث انتقال حرارت اجباری در درون مذاب خواهد شد. جریان‌هایی که به وسیله ارتعاش القا می شوند، نیروهایی خارجی را در جهت جریان بر روی بازوی دندریت‌ها اعمال می‌کنند. این نیروهای ویسکوز باعث شکست بازوی دندریت‌ها خواهند شد. بازوی دندریت‌های شکسته شده توسط جریان ایجاد شده به درون مذاب حرکت کرده و به عنوان منابع جدید جوانه‌زنی عمل خواهند کرد. هنگامی که یک بازوی دندریتی در نیجه نیروی دراگ ویسکوز شکسته می‌شود، این بازو با برخورد به بازوهای مجاور خود، موجب شکست هرچه بیشتر این بازوها خواهد شد. مکانیزم‌های مختلفی برای شکست دندریت‌ها و ریزتر شدن که در نتیجه انتقال حرارت اجباری رخ می‌دهد، مطرح شده است. این مکانیزم ها شامل برش بازوهای دندریتی و شکست آنها، خم شدن بازوهای دندریتی و جدا شدن

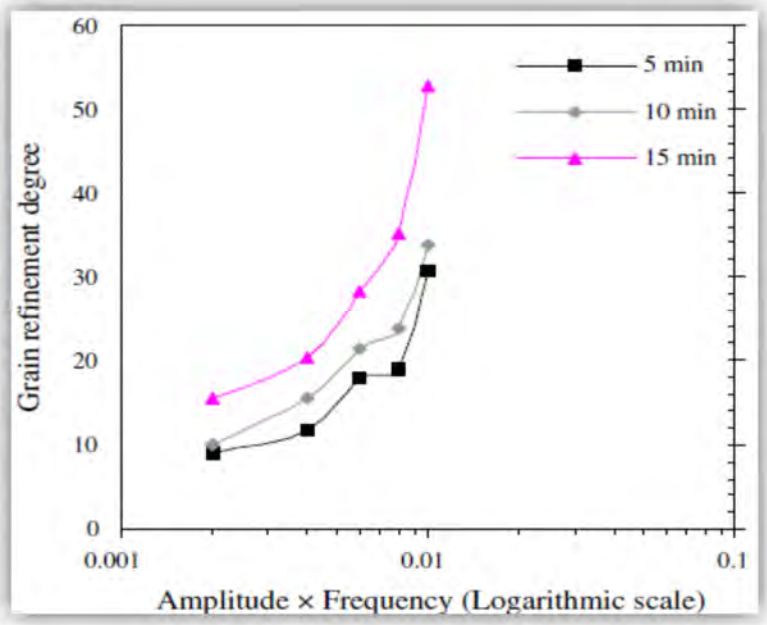
آنها، ذوب شدن موضعی بازوهای دندریتی، خم شدن و کریستاله شدن مجدد بازوهای دندریتی و شکست آنها می‌باشد. با افزایش فرکانس ارتعاش، شدت جریان در اطراف بازوهای دندریتی افزایش یافته و در نتیجه نیروهای دراگ ویسکوز بر روی بازوهای دندریتی افزایش می‌یابد و موجب شکست هر چه بیشتر آنها خواهد شد. با شکست هرچه بیشتر بازوهای دندریتی، نرخ جوانه‌زنی افزایش پیدا کرده و ریزتر شدن دانه‌ها در درون ساختار رخ خواهد داد(شکل 2-23). هنگامی که آلیاژ نیمه جامد به صورت هم دما تحت ارتعاش قرار می‌گیرد، خم شدن متناوب بازوهای دندریتی در مدت زمان‌های طولانی‌تری صورت می‌پذیرد و در نتیجه تعداد بازوهای شکسته شده افزایش پیدا کرده و ریزتر شدن دانه‌ها در درون ساختار رخ می دهد(شکل 2-23). این موضوع در تصاویر میکروساختاری برای تمامی فرکانس‌های ارتعاشی و افزایش زمان ارتعاش تا 15 دقیقه صادق است.



شکل 2-23. تغییرات اندازه ذرات جامد بر حسب زمان و فرکانس ارتعاش[3]

انتقال حرارت اجباری در درون ساختار، اثرات درشت‌تر شدن ذراتی دارد که این اثر باعث افزایش اندازه ذرات جامد اولیه در درون ساختار خواهد شد. با افزایش زمان ارتعاش از 15 به 30 دقیقه، عملیات درشت شدن ذرات برخلاف اثر ریز شدن دانه‌ها، در درون ساختار رخ خواهد داد(شکل 2-23). نیروی جلوبرنده برای درشت شدن ذرات، کاهش انرژی سطحی می‌باشد. درشت شدن ذرات باعث کاهش دانسیته ذرات جامد در درون میکروساختار نهایی خواهد شد. مکانیزم درشت شدن ذرات، بوسیله نفوذ کنترل می‌شود. بنابراین ایجاد انتقال حرارت اجباری بوسیله ارتعاش در درون مذاب، باعث بهبود نفوذ در درون مذاب و درشت شدن ذرات جامد اولیه در درون ساختار خواهد شد.

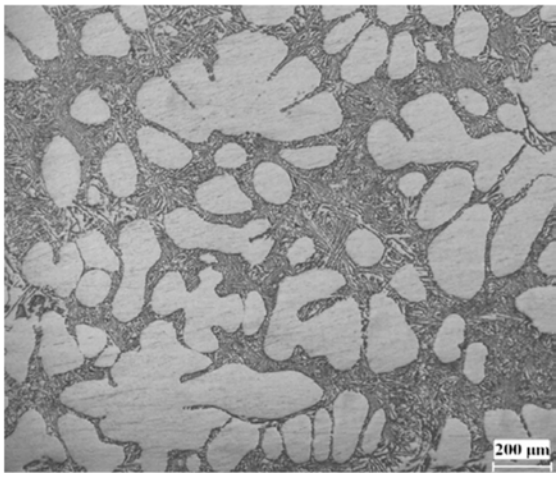
کمپل گزارش کرده است که در آلیاژهایی که انجماد دندریتی رخ می‌دهد، ارتعاش این توانایی را ندارد که اندازه دانه ها را به کمتر از اندازه دانه‌های بدون ارتعاش، کاهش دهد. به عبارت دیگر، بیشترین میزان ریز شدن دانه هنگامی رخ می دهد که بازوی دندریتی در درون میکروساختار و در هنگام ارتعاش به عنوان یک دانه مجزا عمل کند. بر این اساس، او توانست پارامتری را به نام میزان اصلاح دانه در هنگام ارتعاش برای میکروساختار معرفی کند. میزان اصلاح دانه می تواند توسط معادلات اندازه‌گیری شود. شکل 2-24، میزان اصلاح دانه بدست آمده از ارتعاش در فرکانس 50-10 هرتز و در زمان 15-5 دقیقه را به عنوان یک نمودار نشان می‌دهد. در این مطالعه، حداکثر میزان اصلاح دانه 53% می‌باشد که در فرکانس 50 هرتز و زمان 15 دقیقه حاصل می‌شود. این مقدار در حالی بدست می‌آید، که بر اساس آستانه ارتعاش، فرکانس مورد نیاز برای بدست آوردن این چنین مقداری بین 100 تا 200 هرتز می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که اعمال ارتعاش بر روی آلیاژهای در حال انجماد و با نرخ سرد شدن کم و سپس ارتعاش هم دما بر روی شرایط نیمه جامد،تاثیرات بسیار زیادی بر روی اصلاح دانه‌ها خواهد گذاشت. بنابراین با اعمال ارتعاش در این شرایط، می‌توانیم میزان اصلاح دانه ببیشتر را در فرکانس‌های کمتر به دست می‌آوریم. همچنین از شکل 2-24 این نتیجه حاصل می‌شود که با افزایش فرکانس بیشتر از مقادیر 50 هرتز، میزان اصلاح دانه بیشتر در زمان ارتعاش 15 دقیقه و یا زمان‌های کمتر بدست خواهد آمد.



شکل 2-24. میزان اصلاح دانه بر حسب فرکانس و زمان های مختلف[3]

شکل 2-25 میکروساختار نمونه‌ای که تحت ارتعاش هم دمای 600 درجه سانتی‌گراد در زمان 5 دقیقه و فرکانس 50 هرتز قرار گرفته شده را نشان می‌دهد.(بدون ارتعاش بر روی مذاب). با مقایسه شکل 2-22-a و2-25، این نتیجه حاصل

می‌شود که با ترکیب ارتعاش و انجماد هم زمان بر روی مذاب و سپس اعمال ارتعاش هم‌دما، میکروساختار ریزتر در مقایسه با اعمال ارتعاش هم‌دما به تنهایی در دمای 600 درجه سانتی گراد(بدون ارتعاش بر روی مذاب)، حاصل خواهد شد. هنگامی که یک مذاب آلیاژ در حال انجماد است، در مراحل اولیه، ممکن است ذرات جامدی که تشکیل می‌شوند به طور آزادانه حرکت کنند. در بعضی از مناطق بحرانی کسر جامد(یا دمای بحرانی)، ذرات جامد یک شبکه تشکیل می‌دهند و در این مرحله تغذیه جرمی متوقف می‌شود. این کسر جامد بحرانی یا دمای بحرانی، DCP نامیده می-شود.شبکه‌های دندریتی در آلیاژهای آلومینیوم، انعطاف‌پذیر هستند. بنابراین هنگامی که این آلیاژ در دمایی بالاتر از لیکوئیدوس و در غیاب ارتعاش منجمد می‌شود و سپس تحت ارتعاش هم‌دما قرار می‌گیرد، توقف دندریت‌ها دشوارتر خواهد بود. نتیجه این خواهد بود که میزان اصلاح دانه کمتری در درون ساختار بوجود خواهد آمد(شکل2-25).



شکل 2-25. میکروساختار نمونه ریخته شده در شرایط هم دما(بدون ارتعاش بر روی مذاب)[3]

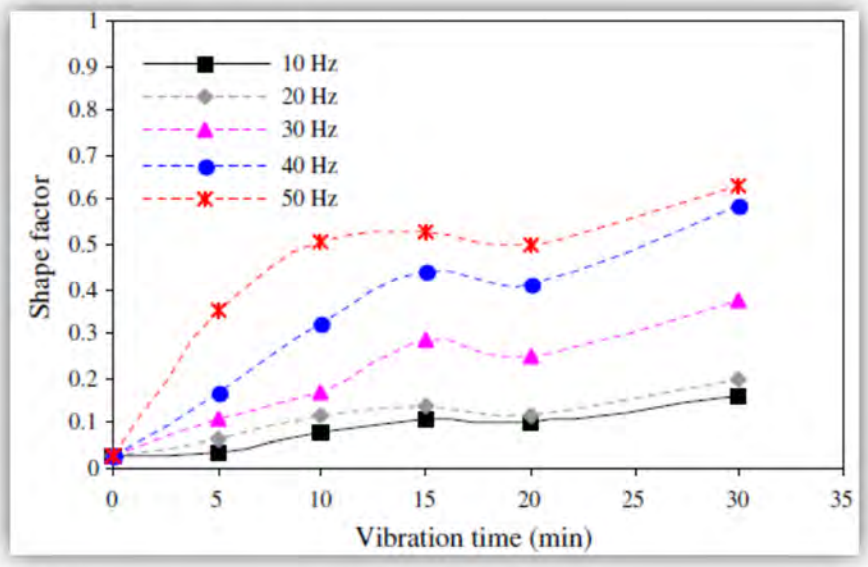
2-تاثیر فرکانس و زمان ارتعاش بر روی شکل فاز جامد اولیه

فاکتور شکل فاز جامد اولیه برای هر دو حالت دندریتی و برفکی، برای مقایسه تاثیرات فرکانس و زمان ارتعاش بر روی میزان کروی شدن فاز جامد اولیه و نشان دادن آنها در یک نمودار، اندازه‌گیری شده است. شکل 2-26 تغییرات فاکتور شکل را بر حسب زمان و فرکانس ارتعاش نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در یک فرکانس ثابت، با افزایش زمان ارتعاش تا 30 دقیقه، فاکتور شکل افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین فاکتور شکل در تمامی زمان‌های ارتعاش، با افزایش فرکانس ارتعاش، افزایش می‌یابد.

در محدوده فرکانس 30-10 هرتز و زمان‌های متفاوت، شکل فاز جامد اولیه حالت دندریتی خود را حفظ می‌کند(شکل 2-21 و 2-22). باافزایش بیشتر فرکانس تا محدوده 50 هرتز، فاکتور شکل فاز جامد اولیه افزایش پیدا کرده و شکل آنها از حالت دندریتی به حالت برفکی تغییر خواهد کرد.

انتقال حرارت اجباری، با شکست مکانیکی دندریت‌ها و افزایش رشد کریستال، موجب تغییر شکل فاز جامد اولیه خواهد شد. بازوهای جدا شده دندریت‌ها به عنوان منابع جدید جوانه‌زنی عمل کرده و موجب افزایش دانسیته ذرات جامد خواهد شد. اندازه ذرات جامد با افزایش دانسیته ذرات کاهش پیدا کرده و در نتیجه شکل برفکی مانند برای این ذرات بوجود خواهد آمد. افزایش فرکانس ارتعاش و زمان‌های هم دما موجب بهبود کارآیی اصلاح دانه و افزایش هر چه بیشتر کروی شدن فاز جامد اولیه در درون ساختار خواهد شد(شکل 2-23 و 2-26 این موضوع را برای 15 دقیقه اول نشان می‌دهد).

اعمال ارتعاش بر روی مذاب آلیاژها موجب ایجاد دو نوع جریان خواهد شد:1- جریان پالسی 2- جریان‌های اصلی چرخشی. جریانی که بوسیله انتقال حرارت اجباری بوجود می‌آید موجب چرخش دانه‌ها در اطراف خودشان خواهند شد. چرخش دانه ها باعث می‌شود که تمامی قسمت‌های دندریت‌ها مانند مناطق درون دندریتی در معرض جریان‌های عمودی قرار گرفته و سپس با توجه به اعمال ارتعاش، مقدار بیشتری مذاب به درون این مناطق نفوذ کند. به دلیل اینکه غلظت ذرات پس زده شده در این مناطق نسبت به نوک دندریت‌ها بیشتر است، شیب غلظتی در مناطق درون دندریتی نسبت به نوک دندریت‌ها، بیشتر افزایش پیدا خواهد کرد. بنابراین سرعت رشد در مناطق درون دندریتی نسبت به نوک دندریت بیشتر افزایش پیدا خواهد کرد و در نتیجه شکل ذرات جامد به حالت برفکی تغییر خواهد کرد.



شکل 2-26. تغییرات فاکتور شکل فاز جامد اولیه بر حسب فرکانس و زمان های متفاوت[3]

با افزایش دامنه فرکانس، سرعت و تعداد این جریان‌های چرخشی در جلوی فصل مشترک جامد-مذاب افزایش پیدا می کند. این موضوع باعث می‌شود که چرخش ذرات جامد افزایش پیدا کرده و نفوذ هر چه بیشتر مذاب به درون مناطق درون دندریتی رخ دهد. بنابراین با افزایش فرکانس و زمان ارتعاش، شدت جریان در جلوی فصل مشترک جامد-مذاب

و زمان کارآیی برای نفوذ مذاب به درون مناطق درون دندریتی افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه فاکتور شکل ذرات جامد اولیه افزایش پیدا کرده و شکل این ذرات نیز برفکی شکل خواهد شد(شکل 2-26).

4-3-2 نتیجه‌گیری

1- میکروساختار تیگزوتروپیک می‌تواند توسط ارتعاش مکانیکی تولید شود در صورتی که ارتعاش در بالاتر از لیکوئیدوس 600 درجه سانتی‌گراد و سپس ارتعاش هم دما در 600 درجه سانتی‌گراد اعمال شود.

2- با افزایش فرکانس ارتعاش تا 50 هرتز، اندازه فاز جامد اولیه کاهش و فاکتور شکل این ذرات افزایش پیدا می کند.

3- با افزایش زمان ارتعاش تا 15 دقیقه، اندازه فاز جامد اولیه کاهش پیدا خواهد کرد و سپس با افزایش این زمان از 15 به 30 دقیقه، اندازه این ذرات افزایش پیدا خواهد کرد.

4- در تمامی فرکانس‌های ارتعاشی با افزایش زمان ارتعاش تا 30 دقیقه، فاکتور شکل فاز جامد اولیه، افزایش پیدا خواهد کرد.

5- میزان اصلاح دانه بوسیله پارامتری به نام آستانه اصلاح دانه برای فرکانس‌ها و زمان‌های مختلف قابل اندازه گیری است. در این مطالعه، بیشترین میزان اصلاح دانه در فرکانس 50 هرتز و زمان 15 دقیقه حاصل می‌شود. میزان اصلاح دانه در این شرایط، حدود 53% است. در این شرایط، اندازه فاز جامد اولیه 173µm و بهترین میکروساختار تیگزوتروپیک حاصل می‌شود.

6- در نهایت نیز با توجه به نمودار میزان اصلاح دانه بر حسب فرکانس × دامنه ارتعاش، این نتیجه حاصل می‌شود که میزان اصلاح دانه بیشتر، با افزایش بیشتر فرکانس و دامنه ارتعاش، امکان‌پذیر خواهد بود.

4-2 تاثیراعمال ارتعاش و جوانه‌زاها بر روی میکروساختار محلول نیمه‌جامد هیپویوتکتیک آلیاژ Al-Si

1-4-2 چکیده

در این مطالعه تاثیر ارتعاش در جابه‌جایی مذاب بوسیله یک سیستم ردیاب آب- ذرات جامد قابل بررسی خواهد بود. آلیاژ در دمای بین 660-630 درجه سانتی‌گراد ذوب شده و سپس یک بار با اضافه کردن جوانه‌زا و یک بار بدون جوانه زا در داخل قالب ریخته‌گری می‌شود و سپس با سرد شدن تا دمای 610-590 درجه سانتی‌گراد حالت نیمه‌جامد به خود گرفته و سپس ارتعاش با فرکانس‌های مختلف بر روی آن اعمال می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که ذرات فاز اولیه α با افزایش فرکانس ارتعاش، ریزتر شده و حالت کروی بیشتری به خود خواهند می‌گیرند. با اعمال ارتعاش با فرکانس 20 هرتز، محلول با ذرات اولیه α با قطر معادل در حدود 90 µm و ضریب شکل میانگین در حدود 0/5 بدست خواهد آمد. با اعمال ارتعاش و جوانه‌زا هر دو بر روی مذاب، ذرات ریزتر و کروی‌تر با قطر ذرات معادل در حدود 85 µm و ضریب شکل میانگین در حدود 0/6 بدست خواهد آمد.[4]

2-4-2 معرفی

در دهه گذشته فرآیند رئوفرمینگ فلزات به دلیل فوایدی همچون خواص مکانیکی مطلوب قطعات تولیدی،قیمت پایین و سادگی اعمال روش، مورد توجه قرار گرفته است. به همین دلیل چندین روش جدید برای تولید محلول نیمه‌جامد مورد توجه قرار گرفته است. در میان این روش‌ها، روش اعمال ارتعاش به دلیل سادگی آن و نیاز به تجهیزات با قیمت پایین به روشی پراهمیت برای تولید محلول‌های نیمه‌جامد تبدیل شده است.

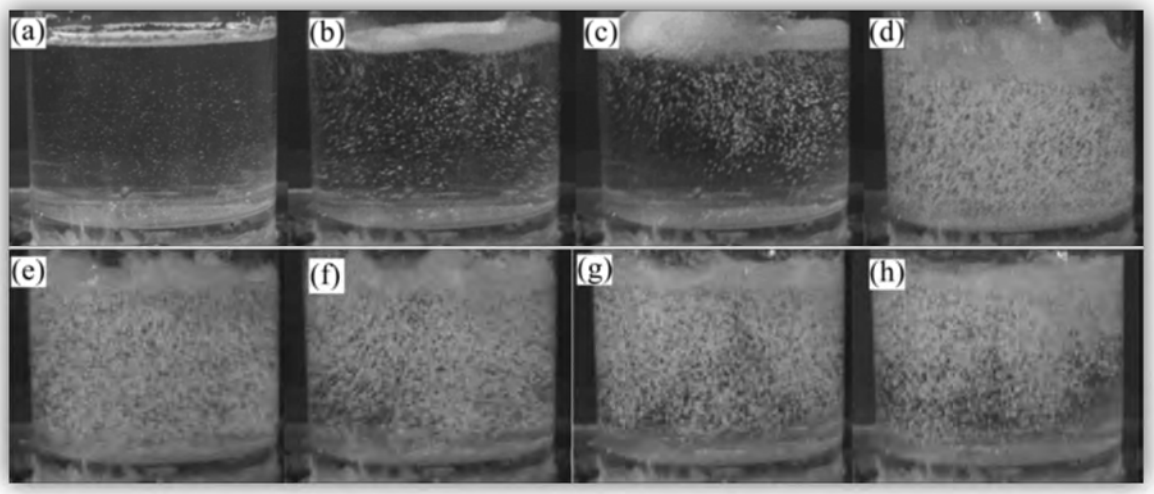
اگرچه مطالعات زیادی در مورد تولید محلول نیمه‌جامد به روش ارتعاش فراصوتی انجام شده است ولی در زمینه تولید این محلول‌ها با استفاده از ارتعاش مکانیکی در فرکانس کمتر از 50 هرتز، مطالعات کمتری صورت پذیرفته است. همچنین تاثیر ارتعاش و جوانه‌زا به صورت همزمان بر روی میکروساختار این محلول‌ها کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین در این کار، تاثیر ارتعاش با فرکانس پایین و تاثیر جوانه زاها بر روی میکروساختار محلول‌های نیمه‌جامد هیپویوتکتیک آلیاژ Al-Si مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

3-4-2 نتایج و بحث

1. شبیه سازی با آب و ذرات ردیاب: در این مطالعه دامنه ارتعاش در حدود 1/5mmو فرکانس ارتعاش در محدوده بین 8 تا 42 هرتز انتخاب می‌شود.

شکل 2-27 تصاویر مربوط به حرکت ذرات در آب را در فرکانس‌های مختلف نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که جریان از سطح آزاد آب شروع شده و به سمت عمق آب حرکت می‌کند و سپس سطح با شدت بیشتری حرکت خواهد کرد.

هنگامی که آب در حالت ساکن قرار دارد، یعنی فرکانس صفر هرتز، ذرات به صورت یکنواخت در آب معلق خواهند شد به صورتی که بیشتر آنها بر روی سطح آزاد آب قرار می‌گیرند. در فرکانس 8 هرتز، بعضی از ذرات به درون عمق آب حرکت خواهند کرد ولی این جابه جایی به اندازه‌ای نیست که ذرات به کف ظرف برسند. در این حالت سطح مایع به صورت نسبتا آرامی نوسان خواهد کرد. هنگامی که فرکانس به مقدار 13 هرتز افزایش می‌یابد، ذرات بیشتری به عمق آب پس زده می‌شوند و سطح آزاد آب با شدت بیشتری حرکت خواهد کرد. هنگامی که فرکانس به 17 هرتز می‌رسد، آب و ذرات کاملاً با یکدیگر مخلوط شده و آب حالت تلاطمی به خود خواهد گرفت به طوری که کل حجم آب به صورت سفید مانند مشاهده خواهد شد و این نوع جابه‌جایی ناپایدار تا فرکانس 19 هرتز ادامه پیدا خواهد کرد. در فرکانس 20 هرتز، سطح به صورت پایداری شروع به حرکت خواهد کرد. بنابراین با افزایش فرکانس، سطح حالت پایدارتری به خود خواهد گرفت و ذراتی که به سمت عمق آب پس زده شده یا به کف ظرف می‌رسند کاهش خواهد یافت. با این وجود، ذرات بدون هیچگونه نظمی در درون کل حجم آب حرکت خواهند کرد که این نشان دهنده جابه جایی متلاطم برای جریان حجمی خواهد بود.

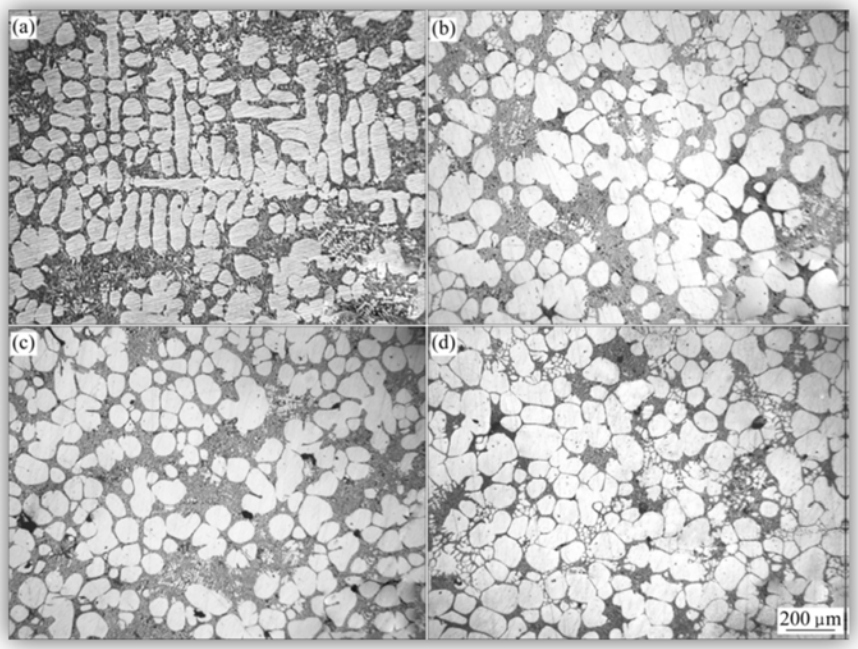


شکل ۷-۱۷. حرکت ذرات در درون آب در فرکانس های مختلف a)صفر b)8Hz c)13Hz d)17 Hz e)20 Hz f)25 Hz g)30 Hz h)42. [4]

2. تاثیر فرکانس ارتعاش بر روی میکروساختار محلول نیمه‌جامد آلیاژ Al-Si

از آزمایشات فیزیکی شبیه‌سازی شده می‌توان این نتیجه را گرفت که فرکانس ارتعاش یکی از پارامترهای بحرانی در ایجاد محلول نیمه‌جامد می‌باشد. در این گروه از آزمایشات، چهار فرکانس صفر،۱۲،۲۰ و 35 هرتز انتخاب شده و دمای فرآیند و زمان آن به ترتیب 605 درجه سانتی‌گراد و 5 دقیقه در نظر گرفته می‌شود.

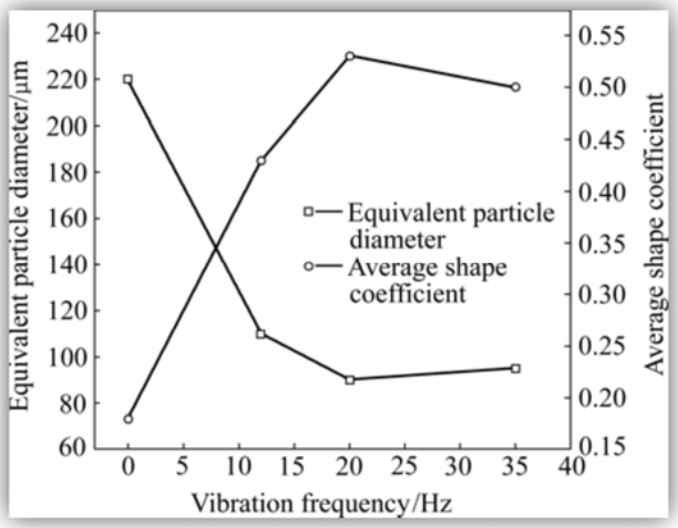
شکل 2-28 میکروساختارهای بدست آمده از فرکانس‌های متفاوت را نشان می‌دهد. همچنین شکل 2-29، نتایج آنالیز ضریب شکل میانگین و قطر میانگین ذرات را نشان می‌دهد. در حالتی که ارتعاش اعمال نمی‌شود فاز اولیه حالت دندریتی داشته و قطر میانگین ذرات بیشتر از 220 µm و ضریب شکل میانگین کمتر از 0/18 می‌باشد. با افزایش فرکانس، ساختار دندریتی به حالت برفکی و کروی مانند تبدیل خواهد شد. در فرکانس 12 هرتز، قطر میانگین ذرات در حدود نصف حالت بدون ارتعاش یعنی در حدود 110 µm و ضریب شکل میانگین تقریبا بیش از دو برابر حالت بدون ارتعاش یعنی در حدود 0/43 می‌باشد. در فرکانس 20 هرتز، قطر میانگین ذرات غیردندریتی α در حدود 90 µm و ضریب شکل میانگین 0/53 خواهد بود. هنگامی که فرکانس به مقادیر بیش از 20 هرتز افزایش می‌یابد، قطر میانگین ذرات مقدار کمی افزایش پیدا کرده و ضریب شکل میانگین در مقایسه با فرکانس 20 هرتز مقدار کمی کاهش می‌یابد. به هر حال در شکل 2-28، نشان داده شده است که با اعمال ارتعاش فاز اولیه α غیردندریتی به طور همگن در درون ساختار توزیع شده و اندازه این ذرات نیز ریزتر خواهد بود.



شکل 2-28،میکروساختار محلول نیمه جامد آلیاژ Al-Si تحت فرکانس های مختلف a)صفر b)12Hz **(c** 20 Hz (d 35 Hz . [4]

با آزمایشاتی که OHNO با اعمال ارتعاش با فرکانس پایین بر روی انجماد فلزات انجام داد به این نتیجه رسید که تاثیر ارتعاش بر روی میکروساختار به دو دلیل اصلی زیر می باشد: الف) افزایش نرخ سرد شدن که در نتیجه تماس مناسبی که بین مذاب و دیواره قالب برقرار می شود،است. ب) افزایش تعداد جوانه‌های تشکیل شده بر روی دیواره قالب و سطح مذاب که در نتیجه شکسته شدن جوانه‌ها وآورده شدن آنها به داخل حجم مذاب حاصل می‌شود. به علاوه ذرات می توانند بوسیله نوسانات حرارتی و افزایش تعداد جوانه‌ها که توسط جابه‌جایی بوجود آمده در اثر ارتعاش بوجود می‌آیند،

حالت اصلاح شده و ریزتری به خود بگیرند. برای تولید محلول توسط ارتعاش، بایستی تکثیر جوانه‌ها و اصلاح ذرات بیشتر در مرحله هم دما انجام شود. با افزایش شدت ارتعاش، میزان تلاطم در درون مذاب افزایش پیدا کرده و در این صورت جوانه‌های بیشتری بر روی دیواره قالب و بر روی سطح مذاب بوجود خواهند آمد و سپس به درون مذاب پس زده خواهند شد. همچنین با توجه به جابه‌جایی مذاب و نگه‌داشتن آن در یک دمای ثابت، توزیع جرم و دما حالت یکنواخت‌تری به خود خواهد گرفت، بنابراین تشکیل دندریت‌ها و رشد آنها متوقف خواهد شد و نتیجه این خواهد بود ذرات اصلاح شده و کروی تری بوجود خواهد آمد.



شکل 2-29. تاثیر فرکانس بر روی قطر میانگین ذرات(EPD) و ضریب شکل متوسط(ASC)[4]

برای درک عمیق‌تر از تاثیر ارتعاش بر روی میکروساختار می‌توان از معادله ارائه شده توسط WU ایتال کمک گرفت. این معادلات ارتباط بین کسر شکل ذرات را با سرعت جریان نسبی ذرات در درون مذاب نشان می‌دهند و این معادله به صورت زیر است:

$$f_i = \exp(-\frac{2R}{\upsilon})$$

در این معادله f_i کسر شکل ذرات و f_i=1 برای حالت کروی، R نرخ انجماد و υ سرعت جریان نسبی ذرات در درون مذاب می باشد.

سرعت انجماد تحت تاثیر چندین فاکتور مختلف از جمله گرمای نهان و شرایط آزاد شدن گرما قرار دارد. در این آزمایش نرخ انجماد ثابت در نظر گرفته می‌شود. برای سرعت جریان می‌توان بیان کرد که با افزایش فرکانس ارتعاش این پارامتر به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و در نتیجه می‌توان گفت که f_i در معادله افزایش پیدا خواهد کرد

یعنی ذرات به سمت هر چه بیشتر کروی شدن پیش خواهند رفت. بنابراین ضریب شکل ذرات که میانگین حسابی از کسر شکل ذرات می‌باشد، افزایش پیدا خواهد کرد.

4-4-2 نتیجه‌گیری

1- جابه‌جایی که در مذاب بوسیله ارتعاش ایجاد می‌شود از سطح آزاد مذاب شروع شده و به درون مذاب گسترش می‌یابد و در نتیجه موجب ایجاد یک جابه‌جایی در درون کل حجم مذاب خواهد شد.

2- با افزایش فرکانس ارتعاش ذرات غیردندریتی اولیه فاز α ریزتر شده و حالت کروی بیشتری به خود خواهند گرفت و محلولی با قطر میانگین ذرات در حدود $90\ \mu m$ وضریب شکل میانگین در حدود 0/5 تحت فرکانس 20 هرتز بوجود خواهد آمد.

3- با اعمال ارتعاش و جوانه زای Al-۵٪Ti-B هر دو همزمان بر روی مذاب، محلولی با ذرات ریزتر و گردتر که قطر میانگین ذرات آنها حدود $85\ \mu m$ و ضریب شکل آنها حدود 0/6 خواهد بود، بدست خواهد آمد.

فصل سوم

3-1.نتیجه‌گیری

1- ارتعاش می‌تواند وابسته به عوامل زیر بر روی ساختار نهایی مفید یا مضر واقع شود: میزان سرعت نسبی بین مذاب و دیواره قالب و ارتباط این سرعت با میکروساختار، کشش سطحی فلز مذاب و جنس قالب.

2- یک روند صعودی در بهبود خواص مکانیکی، پس از اعمال ارتعاش تا یک مقدار مشخص از فرکانس، قابل دسترس خواهد بود.

3- ارتعاش بر روی اندازه و شکل فاز آلفا و میزان بازیابی دانه‌ها در درون ساختار تاثیر گذار است.

4-اعمال ارتعاش باعث ارتقای خواص مکانیکی و کاهش احتمال ایجاد ترک در درون ساختار خواهند شد.

5- میکروساختار تیگزوتروپیک می‌تواند توسط ارتعاش مکانیکی تولید شود.

6-انرژی ارتعاشی از طریق دو مکانیزم بر روی میکروساختار نهایی، تاثیر می‌گذارد:1- ایجاد سیکل فشار-کشش 2- انتقال حرارت اجباری درون مذاب آلیاژ.

7-تاثیرات اصلی ارتعاش شامل بهبود جوانه‌زنی و در نتیجه آن کاهش اندازه دانه ریختگی، کاهش تخلخل‌های انقباضی در نتیجه بهبود تغذیه فلز و تولید یک ساختار همگن می‌باشد.

8-تاثیر ارتعاش بر روی میکروساختار به دو دلیل اصلی زیر می باشد: الف) افزایش نرخ سرد شدن که در نتیجه تماس مناسبی که بین مذاب و دیواره قالب برقرار می شود،است. ب) افزایش تعداد جوانه‌های تشکیل شده بر روی دیواره قالب و سطح مذاب که در نتیجه شکسته شدن جوانه‌ها وآورده شدن آنها به داخل حجم مذاب حاصل می‌شود.

منابع:

١- G. Chirita , I. Stefanescu , D. Soares, F.S. Silva "Influence of vibration on the solidification behaviour and tensile propertiesof an Al–١٨ wt%Si alloy", Accepted ٢٢ July ٢٠٠٨

٢- Numan Abu-Dheir, Marwan Khraisheh, Kozo Saito, Alan Male" Silicon morphology modification in the eutectic Al–Si alloy using mechanical mold vibration" Accepted ٢٧ September ٢٠٠٤

٣- F. Taghavi, H. Saghafian, Y.H.K. Kharrazi , "Study on the ability of mechanical vibration for the production of thixotropic microstructure in A٣٥٦ aluminum alloy",Accepted ١٦ April ٢٠٠٨

٤- ZHAO Jun-wen, WU Shu-sen, XIE Li-zhi, AN Ping, MAO You-wu, "Effects of vibration and grain refiner on microstructure of semisolid slurry of hypoeutectic Al-Si alloy", Accepted ١٥ February ٢٠٠٨