



بررسی اثر پارامترهای ارتعاش مکانیکی روی آلیاژ آلومینیوم A۳۸۰ در تولید پوسته پینیون و گیربکس خودرو با استفاده از روش طراحی آزمایشات تاگوچی

احسان صفرپور^۱، امین کلاهدوز^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمینی شهر، ایران
 ۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمینی شهر، اصفهان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
مقاله پژوهشی کامل	هدف اصلی در این تحقیق بررسی تاثیر ارتعاش مکانیکی در ریخته‌گری نیمه‌جامد آلیاژ A۳۸۰ با استفاده از طراحی آزمایشات تاگوچی است. این کار به منظور بهبود خواص مکانیکی و توسعه کاربرد این آلیاژ در ساخت پوسته پینیون و گیربکس دستگاه انتقال قدرت خودرو می‌باشد. قطر دانه‌ها، سختی و میزان تخلخل در نمونه‌ها به عنوان مشخصه‌های مهم خروجی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهند که ارتعاش مذاب با شدت مناسب و همچنین زمان کافی سبب کاهش قطر ذرات و افزایش سختی نمونه‌ها گردید. ولی با افزایش ارتعاش مخصوصاً در دماهای بالا افزایش تخلخل مشاهده گردید. در این تحقیق سختی اولیه آلیاژ که در حدود ۸۰ برینل اندازه‌گیری گردید، با استفاده از این روش و در شرایط ریخته‌گری با دمای ۵۹۵ درجه سانتی‌گراد، ارتعاش ۹۰ هرتز و در مدت زمان ارتعاش ۳۰ ثانیه به ۱۰۰ برینل افزایش یافت. همچنین در بررسی ریزساختار مشاهده شد که با استفاده از این روش ریزساختار از حالت شاخه‌ای شکسته شده و به شکل کروی با قطر دانه ۳۲ میکرومتر رسیده است.
دریافت: ۱۹ مهر ۱۳۹۷	
پذیرش: ۲۰ آذر ۱۳۹۷	
ارائه در سایت: ۱۰ بهمن ۱۳۹۷	
کلیدواژگان	
ریخته‌گری نیمه‌جامد	
خواص مکانیکی	
ریز ساختار	
ارتعاش مکانیکی	
طراحی آزمایشات تاگوچی	

Investigation of Mechanical Vibration Parameters on AL-A380 using Taguchi Method for the Construction of vehicle's Shell pinion and gearbox

Ehsan Safarpour¹, Amin Kolahdooz²

1- Department of Mechanical Engineering, Khomeinshahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinshahr, Iran
 2- Department of Mechanical Engineering, Khomeinshahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinshahr, Iran

Article Information

Original Research Paper
 Received: 11 October 2018
 Accepted: 11 December 2018
 Available Online 30 January 2019

Keywords

Semi-solid casting,
 mechanical properties
 microstructure
 mechanical vibration
 Taguchi test

ABSTRACT

The main aim of this study is the investigation of the mechanical vibration parameters using Taguchi method in the semi-solid casting of AL-A380. This research has been done to improve the mechanical properties and the development of this alloy for the construction of the powertrains vehicle's Shell pinion and gearbox. Grain diameter, hardness and porosity of samples were examined as important features of this research outputs. The results showed that the vibration of melt with suitable intensity and enough the period of time caused to decrease of the particle diameter and increase of the hardness. But with increasing of vibration intensity the porosity was increased especially at the high temperatures of vibration. In this research, the primary hardness that was measured around 80 BHN had increased to 100 BHN in the condition of 595°C the melt temperature, vibration intensity of 90 Hz at the 30 seconds of the period of time. It was also observed in the microstructure study that using this method, the microstructure was broken from the dendritic form to the spherical ones with the grain diameter of 32 micrometers.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Ehsan Safarpour, Amin Kolahdooz, Investigation of Mechanical Vibration Parameters on AL-A380 using Taguchi Method for the Construction of vehicle's Shell pinion and gearbox, Journal of Mechanical Engineering and Vibration, Vol. 9, No. 4, pp. 14-26, 2018 (In Persian)

۱- مقدمه

انجماد شاخه‌ای (دندریتی) معمول‌ترین نوع انجماد در قطعات ریختگی است. در این فرآیند، از روی هر یک از جوانه‌های موجود در مذاب، یک شاخه ستونی جوانه زده و در جهت جلو و پهنا رشد می‌نماید و سپس بازوهای ثانویه‌ای از آن منشعب می‌شوند. این پدیده ادامه می‌یابد و تله‌ایتا بازوها به هم پیوسته و یک شبکه کریستالی موسوم به دانه به وجود آید. در شرایط ایده‌آل که عمل مذاب رسانی بطور کامل انجام می‌شود، دانه حاصله کاملاً یکنواخت خواهد بود. اما تحت شرایط کارگاهی، اغلب انجماد دندریتی منجر به عدم مذاب رسانی کامل و به تبع آن ایجاد عیوب انقباضی در بین بازوهای دندریتی می‌شود. از طرفی هنگامی که رشد دندریتی در حجم زیادی از ماده، بطور مداوم انجام گیرد، ساختار بدست آمده به شدت غیر همگن خواهد بود. در این حالت جدایش میکروسکوپی مغزه‌بندی در اثر وجود اختلاف غلظت بین مرکز و سطح خارجی بازوهای دندریتی اتفاق می‌افتد. این امر در موارد حاد خود می‌تواند منجر به تشکیل فاز ثانویه در بین بازوهای دندریتی شود. برای رفع مشکل جدایش در قطعات ریختگی، فرآیند همگن سازی مطرح است. اما این فرآیند ضمن دارا بودن مشکلات متالورژیکی خاص خود، بسیار زمان‌بر و در مواردی غیراقتصادی است. استفاده از مقدار زیاد جوانه زان نیز عملی است که ضمن کاهش عیوب انقباضی میزان جدایش را می‌کاهد. روش دیگر حذف عیوب مذکور در قطعات ریختگی از بین بردن دندریتهای تبدیل آنها به ذرات جامد کروی است. این امر امروزه در فرآیندهای نیمه‌جامد بطور گسترده‌ای مورد بهره‌وری قرار گرفته است. فرآیند ریخته‌گری و شکل‌دهی در حالت نیمه‌جامد در چند دهه اخیر به عنوان یک روش قابل اعتماد جهت ساختن قطعاتی با ابعاد نزدیک به نهایی و ریزساختار یکنواخت مورد توجه قرار گرفته است [۱-۳].

برای اولین بار اسپنسر [۴] در تحقیقات بر روی پاره‌گی داغ زیر نظر دکتر فلمینگ در دانشگاه ام آی تی که بر روی آلیاژ ۱۵pb-sn برای نمونه اندازه گیری سیالیت آلیاژ در حالت نیمه‌جامد استفاده می‌نمود که ناخواسته نمونه تحت تنش‌های برشی قرار گرفت. آقای اسپنسر ملاحظه کرد که اگر ساختار شاخه‌ای نیمه‌جامد شکسته شود سیالیت آلیاژ افزایش پیدا می‌کند.

ژانگ و همکاران [۵] تاثیر ارتعاش متوسط الکترومغناطیس را بر خواص ALSI9MG در حالت نیمه‌جامد را بررسی کردند آنها فرآیند ذوب و ارتعاش را ترکیب نمودند پس از ۱۰ دوره زمانی با فرکانس متوسط اندازه دانه‌ها ۲۸ میکرون، عامل شکل ۰/۸۷ و تخلخل ۰/۱۵ حاصل گردید. کروی شدن دانه‌ها در دمای ۵۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه و دمای ۵۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه به دست آمد. مشاهده گردید زمان و دما تاثیرات قابل توجهی بر ساختار و خواص داشتند.

کلاهدوز و همکاران [۶] تاثیر عملیات گرمایش مجدد بر ریز ساختار و مقدار سختی آلیاژ ۲۰۲۴ با روش ریخته‌گری روی سطح شیب‌دار را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایشات به عمل آمده نشان داد که نمونه تهیه شده با دمای قالب ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد که به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد تحت عملیات گرمایش مجدد قرار گرفته بود از نظر اندازه، توزیع و شکل ذرات دارای خواص مطلوب‌تری بود.

نوروزی و همکاران [۷] به بررسی تاثیر درجه حرارت در ریخته‌گری نیمه‌جامد آلیاژ ۲۰۲۴ سطح شیب‌دار با سیستم خنک کننده پرداختند ایشان در این تحقیق تاثیر درجه حرارت شامل دمای ریخته‌گری، دمای مذاب، و دمای سطح شیب‌دار را بر ریزساختار بررسی نمودند. مشاهده گردید ساختار شاخه‌ای فاز اولیه در ریخته‌گری با سطح شیب‌دار به ساختار غیرشاخه‌ای تبدیل می‌گردد. در این تحقیق مخلوط نیمه‌جامد در دماهای ۶۰۰، ۶۱۵، ۶۲۵، ۶۵۰ و ۶۸۰ درجه سانتی‌گراد بر روی سطح شیب‌دار با طول ۵۰۰ میلی‌متر و زاویه ۵۰ درجه در دو حالت با سیستم خنک کننده و بدون خنک کننده بارریزی گردید. مخلوط نیمه‌جامد در انتهای سطح شیب‌دار به قالب با دماهای ۲۵، ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد ریخته شد. مشخص گردید دمای بارریزی و دمای سطح شیب‌دار بر قطر و مورفولوژی فاز الفآ آلومینیوم تاثیر می‌گذارد و سبب کاهش ۲۲ درصدی قطر ذرات و افزایش ۸/۵ درصدی فاکتور شکل در ضعیف‌ترین حالت می‌گردد. بهترین نتیجه در دمای بارریزی ۶۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای قالب ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از سیستم خنک کاری حاصل گردید که قطر ذرات ۸۸ میکرون و فاکتور شکل ۰/۶۸ می‌باشد.

نشان می‌دهد با کاهش دما از ۶۱۳ به ۶۰۳ درجه سانتی‌گراد خواص مکانیکی افزایش می‌یابد ولی به علت ویسکوزیته بالا در دمای ۶۰۳ دمای ۶۰۸ درجه سانتی‌گراد برای مذاب‌ریزی مناسب‌تر می‌باشد. با افزایش سرعت همزن از ۲۴۰ به ۳۰۰ دور بر دقیقه مشاهده شد ساختار شاخه‌ای بیشتر شکسته گردید ولی با افزایش سرعت همزن به ۳۹۰ و ۴۹۰ دور بر دقیقه مخلوط متلاطم گردید.

یوندا [۱۱] و همکاران اثر ریزساختار دانه‌های اولیه بر استحکام چدن خاکستری کم‌کربن را طی فرایند انجماد مورد بررسی قرار دادند. این محققان از همزن مکانیکی جهت همزدن مذاب استفاده کردند. نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط این دو پژوهشگر بیانگر ایجاد توزیع یکنواخت ذرات جامد اولیه در اثر همزدن مداوم مخلوط نیمه‌جامد می‌باشد. همچنین مشاهده شد که با افزایش سرعت همزدن استحکام کششی چدن افزایش می‌یابد.

کیو و همکاران [۱۲] با استفاده از روش دوسیلندری اثر همزدن و شرایط سرد کردن بر ریز ساختار چدن خاکستری را در حالت نیمه‌جامد مورد بررسی قرار دادند. ایشان ریزساختار چدن تولید شده با این روش نیمه‌جامد را در شرایط مختلف سرد شدن مطالعه و اثر همزدن را نیز بررسی کردند. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش سرعت همزدن اندازه ذرات جامد اولیه کاهش می‌یابد. هم‌چنین با سرعت ۱۲۰ RPM شکسته شدن ساختار شاخه‌ای کاملاً مشهود است. نتایج حاصل را می‌توان در چند جمله خلاصه کرد. با استفاده از روش همزدن مذاب در ناحیه دو فازی جامد- مذاب ساختار شاخه‌ای مذاب شکسته شده و به صورت ذرات جامد کروی در می‌آیند که هم در کاهش جدایش و هم در بهبود خواص فلز و در ضمن بهبود خواص انجماد آن موثر است. با سرعت‌های همزن مناسب، به ویسکوزیته نزدیک ۱ می‌توان دست یافت که ویسکوزیته‌ای برابر مذاب فوق‌گذار شده است و لذا مشکلی از لحاظ پر شدن قالب و ریخته‌گری تحت فشار وجود ندارد.

ویچیترو و همکاران [۱۳] ساختار میکروسکوپی آلومینیوم A۳۵۶ را در ریخته‌گری نیمه‌جامد با استفاده از ویبراتور بررسی کردند آنها ریزساختار A۳۵۶ را در مقادیر مختلف دما، کسر جامد و سطوح متفاوت ارتعاش مورد بررسی قرار

کومار و همکاران [۸] به بررسی تاثیر پارامترهای ریخته‌گری نیمه‌جامد در سطح شیب‌دار با روش تاگوچی پرداختند. ایشان با استفاده از طرح آزمایشات تاگوچی آزمایشات را در سطوح ورودی پارامتر دما بارریزی: ۶۳۰، ۶۴۰، ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد، طول سطح شیب‌دار: ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ سانتی‌متر و زاویه سطح شیب‌دار: ۳۰، ۴۵، ۶۰ درجه طراحی نمودند. سپس نمونه‌های حاصل را از نظر سختی مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج حاصل با استفاده از تحلیل سیگنال به نوبت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل بیانگر این بود که با افزایش دما تا ۶۴۰ درجه سانتی‌گراد سختی افزایش و در دمای بالاتر از آن کاهش می‌یابد، با افزایش طول تا ۳۰۰ میلی‌متر سختی افزایش و پس از آن کاهش یافت، با افزایش زاویه سطح شیب‌دار سختی افزایش یافت. شرایط بهینه در دمای بارریزی ۶۴۰ درجه سانتی‌گراد، طول ۳۰۰ میلی‌متر و ۶۰ درجه زاویه سطح شیب‌دار حاصل گردید در این حالت سختی به ۷۵/۸۲ برینل رسید.

کلاهوز و همکاران [۹] به بررسی تاثیر پارامترهای تیکسوفرمینگ بر ساختار و خواص مکانیکی کپ گیربکس حلزونی از آلیاژ A۳۵۶ پرداختند. در این تحقیق تاثیر پارامترهای شکل‌دهی نظیر کسر جامد، دما، فشار، سرعت پانچ و عملیات حرارتی بر ریزساختار و خواص مکانیکی نمونه بررسی گردید. نتایج نشان می‌دهد با تغییر فشار از ۱۰۰ به ۱۵۰ مگا پاسکال میانگین قطر ذرات حدود ۷ درصد کاهش می‌یابد و فاکتور شکل نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دما، سختی و نیروی پرس به ترتیب ۱۳ و ۲۱ درصد کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش دما و زمان نگهداری قطر ذرات و فاز اولیه افزایش داشته و سختی کاهش می‌یابد. اگر زمان نگهداری از ۵ دقیقه به ۳۰ دقیقه افزایش یابد قطر ذرات ۷۴ درصد افزایش می‌یابد.

بت‌کن و همکاران [۱۰] به بررسی تاثیر پارامترهای هم‌دمای همزن مکانیکی بر ساختار آلومینیوم A۳۵۶ پرداختند. ایشان تاثیر سرعت همزن مکانیکی، کسر جامد و دمای قالب را بر ریزساختار و سختی نمونه‌ها بررسی نمودند. این تحقیق در دماهای ۶۰۳، ۶۰۸، ۶۱۳ درجه سانتی‌گراد با سرعت همزن ۲۴۰، ۳۰۰، ۳۹۰، ۴۹۰ دور بر دقیقه و زمان ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ ثانیه انجام شد. نتایج

شاخه‌ای به ساختار کروی نزدیک‌تر می‌گردد به طوریکه فاکتور شکل ذرات آلفا از ۰/۴۲ به ۰/۷۱ می‌رسند.

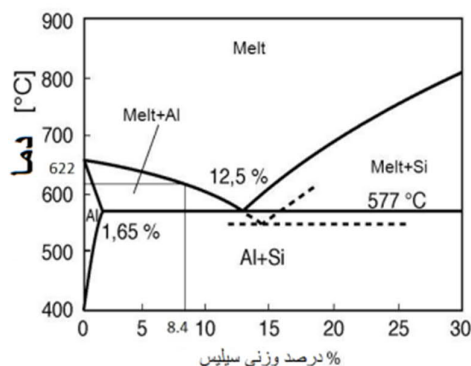
۲- روش تحقیق

در این تحقیق آلیاژ آلومینیوم A۳۸۰ با ترکیب مندرج در جدول (۱) مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نمودار تعادلی آلومینیوم و سیلیسیوم شکل (۱) و همچنین درصد ۸/۴ سیلیسیوم جدول (۱) دمای لیکوئیدوس و سالیدوس این آلیاژ به ترتیب ۵۷۷°C و ۶۲۰°C می‌باشد. به علت وجود درصد بالای سیلیسیوم در ترکیب، مذاب این آلیاژ از سیالیت خوبی برخوردار می‌باشد.

جدول ۱ درصد عناصر تشکیل دهنده آلیاژ A۳۸۰

درصد موجود در آلیاژ عنصر

عناصر	درصد موجود در آلیاژ
AL	تعدادل
Pb	۰/۰۴
Ni	۰/۰۲
Zn	۰/۳۲
Mg	۰/۰۷
Mn	۰/۰۳
Cu	۲/۵
Fe	۰/۲۵
Si	۸/۴



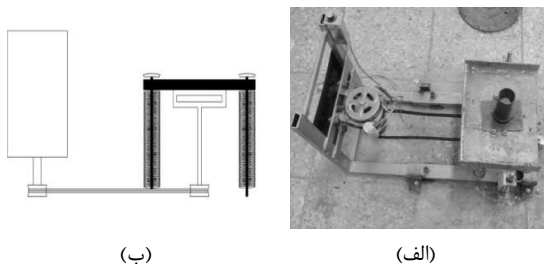
شکل ۱ نمودار تعادلی آلومینیوم سیلیسیوم [۳]

با استفاده از نمودار تعادلی شکل (۱) و همچنین درصد سیلیسیوم و با به کارگیری قانون اهرم می‌توان کسر جامد را برای دماهای مختلف محاسبه نمود. در جدول (۲) کسر جامد برای دماهای مختلف مورد آزمایش محاسبه گردیده است.

دادند، مشخص شد عدد اندازه‌دانه افزایش و دانه‌ها کروی شدند، با افزایش کسر جامد و کاهش دما این میزان افزایش یافت و همچنین مشخص گردید شاخه‌ها در طول آزمایش توسط ارتعاش تکه‌تکه و به مذاب اضافه می‌گردند که این اثر با افزایش کسر جامد بیشتر گردید ساختار نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مشخص گردید خواص مکانیکی A۳۵۶ با افزایش کسر جامد بهبود یافت.

بهلولی و همکاران [۱۴] به بررسی تاثیر فاز یوتکتیک بر ساختار آلیاژ A۳۵۶ در فرآیند شکل‌دهی نیمه‌جامد پرداختند آنها در این تحقیق با استفاده از کوره الکتریکی و همزن مکانیکی به تولید نمونه به روش ریخته‌گری نیمه-جامد پرداختند و تاثیر پارامترهای دمای بارریزی، دمای قالب، سرعت همزن، زمان همزدن و عملیات حرارتی را بر ساختار و خواص مکانیکی قطعات تولیدی بررسی نمودند نتایج مشخص می‌کند که دمای بارریزی در ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد منجر به ایجاد سختی مطلوبتری می‌گردد. در این حالت سختی سطحی از ۸۳/۵ به ۸۶/۲ برینل افزایش می‌یابد. هنگامی که دمای قطعه برای مدت معینی به ۵۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و پس از آن کوئنچ می‌گردد ریزساختار و سختی سطحی تحت تاثیر قرار می‌گیرد، بهترین ریز ساختار و سختی سطحی زمانی به دست می‌آید که قطعه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۵۸۰ درجه نگه‌داری شود و سپس در آب تمیز ۴۰ درجه سانتی‌گراد کوئنچ گردد در این حالت سختی سطحی از ۸۶/۲ به ۸۹/۷ برینل افزایش می‌یابد.

حمید آقا کریمی و همکاران [۱۵] تاثیر پارامترهای ریخته‌گری نیمه-جامد به روش همزن مکانیکی از قبیل سرعت همزن و مقدار کسر جامد بر ریزساختار و خواص کششی رنوگست نیمه جامد آلیاژ آلومینیوم A۳۱۹ در مقایسه با نمونه شاهد که در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد ریخته‌گری شده بود را مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌های نیمه جامد از دمای ۶۱۵ درجه-سانتی‌گراد و با دو سرعت ۱۵۰ و ۳۰۰ دور بر دقیقه هر کدام تا ۴ دمای ۵۹۵، ۶۰۰، ۶۰۵، ۶۱۰ درجه سانتی‌گراد هم زده و سپس ریخته‌گری شده‌اند. سپس نمونه‌ها تحت آزمون کشش قرار گرفتند نتایج حاصل نشان می‌دهد که با افزایش سرعت همزن و کاهش دمای بارریزی ساختار



شکل ۳ الف) تصویر دستگاه ویبراتور مکانیکی مورد استفاده در تحقیق ب) شماتیک دستگاه ویبراتور مکانیکی

جدول ۳ سطوح پارامترهای آزمایش

پارامتر	مقدار	سطح
دما (°C)	۵۹۰	Te1
	۵۹۵	Te2
	۶۰۰	Te3
	۶۰۵	Te4
	۶۱۰	Te5
	۶۱۵	Te6
شدت (HZ)	۳۰	F1
	۶۰	F2
	۹۰	F3
زمان (S)	۰	Ti1
	۱۵	Ti2
	۳۰	Ti3

با اعمال سطوح پارامترهای آزمایش در نرم افزار Minitab طرح آزمایش بر مبنای جدول (۴) حاصل گردید.

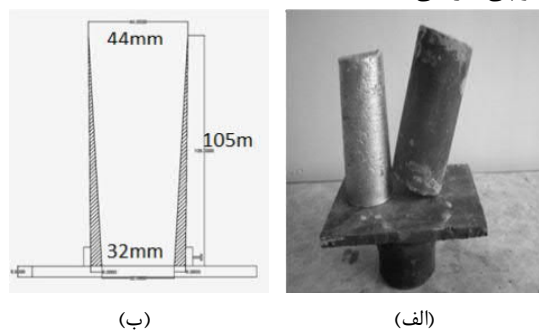
جدول ۴ خروجی نرم افزار (طرح آزمایش)

ردیف	سطوح آزمایش	دما (C°)	زمان (S)	ارتعاش (HZ)
۱	Te1.Ti1.F1	۵۹۰	۰	۳۰
۲	Te1.Ti2.F2	۵۹۰	۱۵	۶۰
۳	Te1.Ti3.F3	۵۹۰	۳۰	۹۰
۴	Te2.Ti1.F1	۵۹۵	۰	۳۰
۵	Te2.Ti2.F2	۵۹۵	۱۵	۶۰
۶	Te2.Ti3.F3	۵۹۵	۳۰	۹۰
۷	Te3.Ti1.F2	۶۰۰	۰	۶۰
۸	Te3.Ti2.F3	۶۰۰	۱۵	۹۰
۹	Te3.Ti3.F1	۶۰۰	۳۰	۳۰
۱۰	Te4.Ti1.F3	۶۰۵	۰	۹۰
۱۱	Te4.Ti2.F1	۶۰۵	۱۵	۳۰
۱۲	Te4.Ti3.F2	۶۰۵	۳۰	۶۰
۱۳	Te5.Ti1.F2	۶۱۰	۰	۶۰
۱۴	Te5.Ti2.F3	۶۱۰	۱۵	۹۰
۱۵	Te5.Ti3.F1	۶۱۰	۳۰	۳۰
۱۶	Te6.Ti1.F3	۶۱۵	۰	۹۰
۱۷	Te6.Ti2.F1	۶۱۵	۱۵	۳۰
۱۸	Te6.Ti3.F2	۶۱۵	۳۰	۶۰

جدول ۲ کسر جامد آلیاژ ۲۰۲۴ بر حسب دما

درصد کسر جامد	(°C) دمای مخلوط
۳۶	۵۸۵
۳۳	۵۹۰
۲۸	۵۹۵
۲۳	۶۰۰
۱۹	۶۰۵
۱۵	۶۱۰
۵	۶۱۵

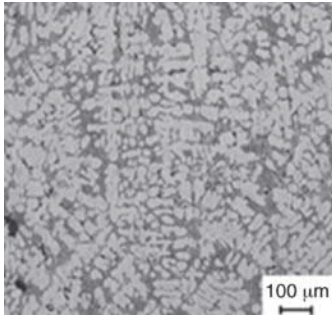
در ابتدا یک نمونه با روش متداول ریخته‌گری با دمای بارریزی C670 در قالب فلزی مطابق شکل (۲) تهیه شد. قالب یک استوانه از جنس چدن دارای شیب در قطرهای داخلی با قطر کوچک داخلی (کف قالب) 32 mm، قطر بزرگتر داخلی (ابتدای قالب) 44 mm و ارتفاع 105 mm و با ضخامت 5 mm می‌باشد. این نمونه به عنوان نمونه ریخته‌گری در شرایط عادی تهیه گردید تا در ادامه آزمایشات در صورت لزوم نتایج آن با نتایج حاصل از ریخته‌گری در حالت نیمه‌جامد مقایسه گردد. در این آزمایش از طراحی آزمایشات به روش تاگوچی استفاده گردید. پس از تعیین پارامترها و تعداد سطوح با استفاده از نرم افزار Minitab شرایط آزمایش بر مبنای طراحی آزمایشات تاگوچی طراحی شد.



شکل ۲ الف) قالب و قطعه ریخته‌گری متداول از آلیاژ ۲۰۲۴ ب) شماتیک قالب ریخته‌گری

دماهای که در آن امکان ریخته‌گری نیمه‌جامد آلیاژ فوق باشد با توجه به کسر جامد و شواهد تجربی بین ۵۹۰ تا ۶۱۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. زمان انجماد در بالاترین حدود ۳۰ ثانیه ثبت گردید. ارتعاش توسط ویبراتور مکانیکی که جهت انجام این تحقیق طراحی و ساخته شد، نهایتاً تا ۹۰ هرتز به مخلوط بارریزی اعمال گردید (شکل ۳). با توجه به اطلاعات به دست آمده از شرایط آزمایش سطوح آزمایش بر اساس جدول (۳) حاصل گردید.

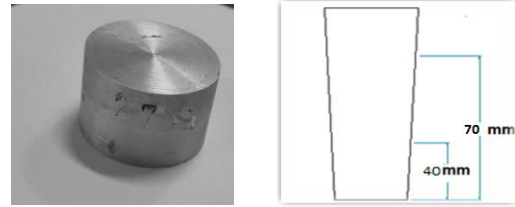
به صورت محلول می‌باشد که با افت دما میزان حلالیت آن در آلومینیوم کاهش می‌یابد.



شکل ۵ ریزساختار آلیاژ آلومینیوم A۳۸۰ در حالت ریخته‌گری معمولی

سپس نمونه‌های آزمایش را بر اساس شرایط آزمایش مندرج در جدول (۴) ریخته‌گری گردید. پس از تهیه نمونه‌ها، آماده سازی پولک و تهیه تصاویر متالوگرافی نسبت به استخراج نتایج، قطردانه، سختی و تخلخل نمونه‌ها اقدام گردید. لازم به ذکر است منظور از زمان صفر این می‌باشد که ارتعاش تنها در زمان بارریزی اتفاق می‌افتد، و پس از بارریزی ارتعاش قطع می‌گردد. پس از آن نتایج وارد نرم‌افزار گردید و تحلیل سیگنال به نوبت برای نتایج هر یک از شرایط استخراج گردید. نتایج حاصل از آزمایشات و همچنین تحلیل سیگنال به نوبت برای هر آزمایش در جدول (۵) تنظیم گردید.

پس از بارریزی و تهیه نمونه‌ها ۴۰ میلی‌متر از ابتدای قطعه (از سمت کف قالب) برش زده می‌شود. سپس از این مقطع نیز به سمت بالای قطعه ۳۰ میلی‌متر دیگر جدا نموده شکل (۴-الف) و در مرحله بعد به وسیله دستگاه تراش از نمونه فوق یک قطعه با قطر ۳۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ میلی‌متر آماده گردید شکل (۴-ب). سپس سختی، قطر ذرات و میزان تخلخل پولک‌ها بررسی گردید.



شکل ۴ شماتیک برش نمونه (ب) نمونه برش خورده (الف)

۳- نتایج

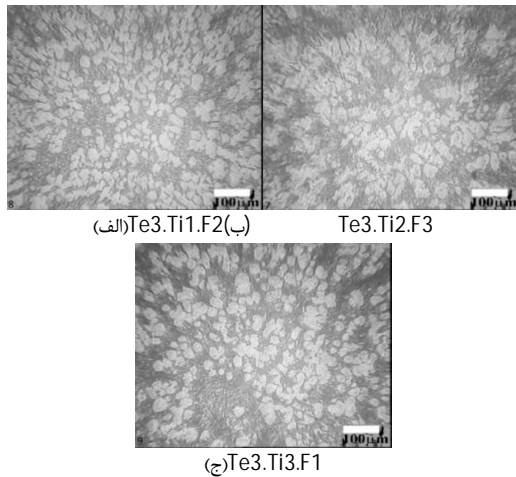
در این پژوهش ابتدا جهت بررسی ریز ساختار و خواص آلیاژ A۳۸۰، یک نمونه با ریخته‌گری متداول در دمای بارریزی C670°، ریخته‌گری شد. همان طوریکه در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود ریزساختار حاصل از ریخته‌گری معمولی شامل دندریت‌های درشت فاز جامد اولیه آلومینیوم آلفا می‌باشد. سیلیسیوم موجود در آلیاژ A۳۸۰

جدول ۵ نتایج و نسبت سیگنال به نویز در سطوح مختلف آزمایش

ردیف	سطوح آزمایش	نتایج خروجی			سیگنال به نویز برای		
		قطر دانه	سختی	تخلخل	سختی	اندازه دانه	تخلخل
۱	Te1.Ti1.F1	۸۵	۸۸	۳	۳۸/۸۹	-۳۸/۵۹۷۷	۳۰/۷۷۷۰
۲	Te1.Ti2.F2	۴۰	۹۰	۵	۳۹/۰۸	-۳۲/۱۹۷۷	۲۶/۰۲۰۶
۳	Te1.Ti3.F3	۴۵	۹۳	۹	۳۹/۳۷	-۳۲/۰۶۴۳	۲۰/۹۱۵۱
۴	Te2.Ti1.F1	۵۵	۹۱	۲	۳۹/۱۸	-۳۴/۸۰۷۳	۳۵/۵۶۷۶
۵	Te2.Ti2.F2	۴۵	۹۶	۴	۳۹/۶۵	-۳۲/۰۶۴۳	۲۷/۱۹۹۳
۶	Te2.Ti3.F3	۳۲	۱۰۰	۶	۴۰	-۳۰/۱۰۳	۲۴/۴۳۶۹
۷	Te3.Ti1.F2	۵۵	۹۲	۲	۳۹/۲۸	-۳۴/۸۰۷۳	۳۳/۹۷۹۴
۸	Te3.Ti2.F3	۳۷	۹۴	۷	۳۹/۴۶	-۳۱/۳۶۴	۲۳/۵۳۱۶
۹	Te3.Ti3.F1	۴۱/۲	۹۵	۹	۳۹/۵۵	-۳۲/۲۹۷۹	۲۱/۰۲۹۶
۱۰	Te4.Ti1.F3	۶۷	۸۹	۵	۳۸/۹۹	-۳۶/۵۰۵۳	۲۵/۷۹۰۹
۱۱	Te4.Ti2.F1	۵۰	۹۱	۴	۳۹/۱۸	-۳۲/۹۷۹۴	۲۷/۵۵۳۶
۱۲	Te4.Ti3.F2	۳۷/۵	۹۶	۱۱	۳۹/۶۵	-۳۱/۴۸۰۶	۱۹/۳۹۹۲
۱۳	Te5.Ti1.F2	۹۰	۸۷	۸	۳۸/۷۹	-۳۹/۰۸۴۹	۲۱/۹۳۸۲
۱۴	Te5.Ti2.F3	۴۳	۹۲	۹	۳۹/۲۸	-۳۲/۷۴۴۸	۲۱/۹۱۵۱
۱۵	Te5.Ti3.F1	۵۷	۹۴	۱۱	۳۹/۴۶	-۳۵/۲۳۵۲	۱۸/۹۸۷۹
۱۶	Te6.Ti1.F3	۱۰۰	۸۷	۵	۳۸/۷۹	-۴۰	۲۶/۷۷۸۷
۱۷	Te6.Ti2.F1	۷۵	۹۰/۲	۱۱	۳۹/۱۰	-۳۷/۵۰۱۲	۱۹/۱۷۲۱
۱۸	Te6.Ti3.F2	۶۰	۹۲	۱۶	۳۹/۲۸	-۳۵/۵۶۳	۱۵/۹۱۷۶

۳-۱ تحلیل تصاویر متالوگرافی و نتایج بر اساس دما

متالوگرافی نمونه‌های تهیه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد بر اساس طرح آزمایش ارائه گردیده است.



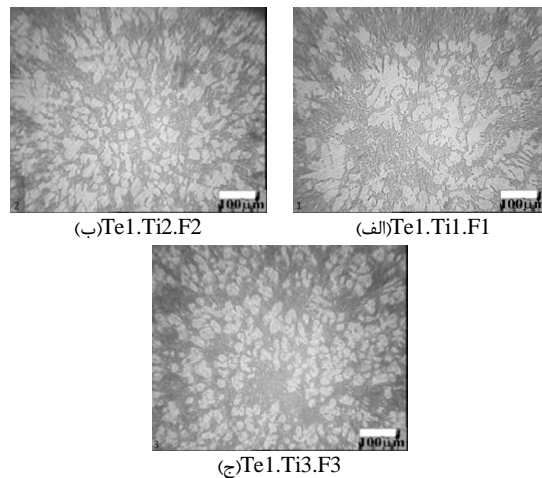
با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌گردد در دمای ۵۹۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش شدت ارتعاش و زمان ارتعاش خواص مکانیکی بهبود می‌یابد، ولیکن با افزایش زمان ارتعاش از ۱۵ ثانیه به ۳۰ ثانیه به علت کسر جامد بالا و انجماد سریع، بهبود خواص مکانیکی تغییر محسوسی نداشت. در شکل (الف) ۶ تصویر مربوط به شرایط Te1.Ti1.F1 ارائه گردیده است در این شرایط ساختار گل بوته ای ایجاد گردیده که اندازه این ساختار نسبت به شرایط Te1.Ti2.F2 بزرگتر (شکل (ب) ۶) و ساختار Te1.Ti2.F2 نیز کمی از Te1.Ti3.F3 (شکل (ج) ۶) بزرگتر می‌باشد.

در دمای ۵۹۵ درجه سانتی‌گراد همانند دمای ۵۹۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش شدت و زمان ارتعاش خواص مکانیکی بهبود یافت. همچنین اندازه ساختار کاهش یافت به طوری که بهینه خواص مکانیکی در Te2.Ti3.F3 ایجاد گردید. در این حالت قطر دانه‌ها کمینه و شکل ذرات نزدیک به کروی حاصل گردید (شکل (ج) ۷) در شرایط Te2.Ti1.F1 (شکل (الف) ۷) و Te2.Ti2.F2 (شکل (ب) ۷) ساختار رزگلی مشاهده گردید. در این دما نیز با افزایش ارتعاش، تخلخل افزایش یافت.

شکل ۸ تصاویر نمونه‌های آزمایش در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد

در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد کمینه قطر ذرات در شرایط Te3.Ti2.F3 (شکل (ب) ۸) حاصل گردید و بیشترین سختی در شرایط Te3.Ti3.F1 (شکل (ج) ۸) به دست آمد. در شرایط Te3.Ti1.F2 (شکل (الف) ۸) بیشترین قطر دانه مشاهده گردید. با افزایش زمان ارتعاش نیز تخلخل افزایش یافت.

در شکل ۹ تصاویر متالوگرافی نمونه‌های ریخته شده در دمای ۶۰۵ درجه سانتی‌گراد ارائه گردیده است. در این دما تاثیر مدت زمان ارتعاش بر کاهش قطر دانه‌ها و افزایش سختی در شرایط Te4.Ti3.F2 (شکل (ج) ۹) مشاهده گردید. این افزایش زمان ارتعاش در دمای فوق سبب افزایش تخلخل نیز گردید. بیشترین قطر ذرات مربوط به شرایط Te4.Ti1.F3 (شکل (الف) ۹) و کمترین تخلخل نیز مربوط به Te4.Ti2.F1 (شکل (ب) ۹)

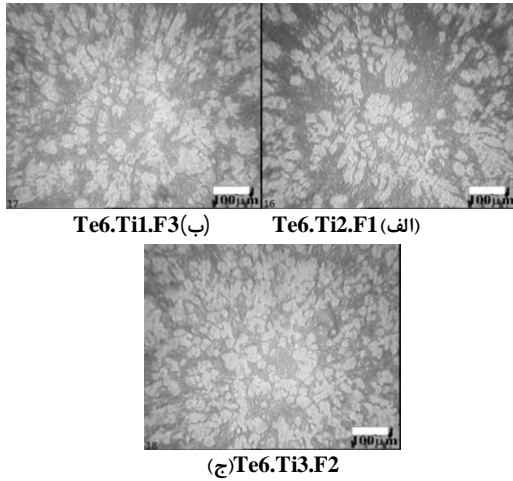


شکل ۷ تصاویر نمونه‌های آزمایش در دمای ۵۹۵ درجه سانتی‌گراد

در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید افزایش ارتعاش و زمان ارتعاش همچنان در بهبود قطر دانه و شکل ساختار موثر می‌باشند. ولیکن تخلخل به واسطه افزایش شدت و زمان ارتعاش افزایش یافت. در شکل ۸ تصاویر

نیز مانند دمای ۶۱۰ درجه به علت کسر جامد پائین و دمای انجماد طولانی ساختار شاخه ای حاصل گردید. کمترین قطر ذرات و بهترین خواص مکانیکی در بالاترین زمان ارتعاش که مربوط به نمونه Te6.Ti3.F2 حاصل گردید (شکل (ج) ۱۱) همچنین در همین شرایط بیشترین تخلخل در نمونه ایجاد گردید.

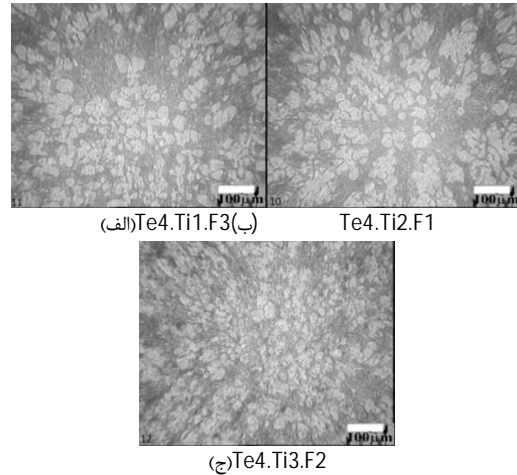
بزرگترین قطر ذرات در شرایط Te6.Ti1.F3 (شکل (الف) ۱۱) ایجاد گردید که نمونه تنها در زمان بارریزی تحت ارتعاش قرار گرفته بود.



شکل ۱۱ تصاویر نمونه‌های آزمایش در دمای ۶۱۵ درجه سانتی‌گراد

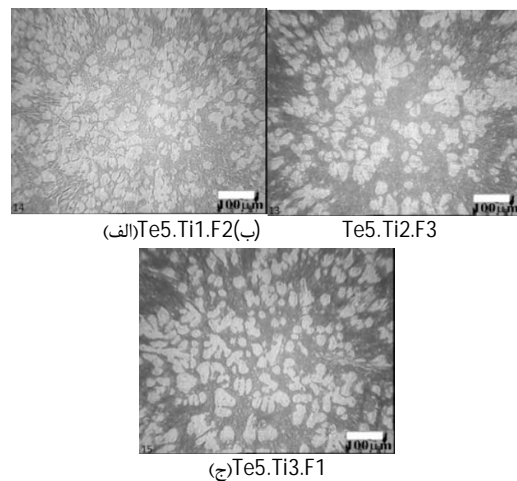
۲-۳ تحلیل سیگنال به نویز جهت قطر ذرات

با تحلیل سیگنال به نویز نسبت به تعیین شرایط بهینه در قطر ذرات اقدام گردید. در این تحلیل میزان تاثیر هر یک از پارامترهای ورودی (دما، زمان ارتعاش و شدت ارتعاش) در یک نتیجه (قطر ذرات یا سختی یا درصد تخلخل) به صورت نسبت سیگنال به نویز محاسبه گردید. در جدول ۶ تحلیل سیگنال به نویز که توسط نرم افزار Minitab جهت قطر ذرات انجام گرفته است ارائه گردید.



شکل ۹ تصاویر نمونه‌های آزمایش در دمای ۶۰۵ درجه سانتی‌گراد

در شکل ۱۰ تصاویر مربوط به نمونه‌های ریخته شده در دمای ۶۱۰ درجه-سانتی‌گراد ارائه گردیده است. در این دما نسبت به دماهای پائین‌تر ساختار ایجاد شده به سمت ساختار شاخه‌ای حرکت نموده است و علت این امر طولانی بودن زمان انجماد به علت دمای بالا و همچنین کاهش تنش برشی ناشی از ارتعاش به علت کاهش کسر جامد می باشد. در این دما همچنان تاثیر افزایش زمان ارتعاش (شکل (ج) ۱۰) و شدت ارتعاش (شکل (ب) ۱۰) بر کاهش قطر ذرات و بهبود خواص مکانیکی مشاهده گردید.



شکل ۱۰ تصاویر نمونه‌های آزمایش در دمای ۶۱۰ درجه سانتی‌گراد

در شکل ۱۱ تصاویر مربوط به نمونه‌های ریخته شده در دمای ۶۱۵ درجه-سانتی‌گراد ارائه گردیده است. در این دما

جدول ۶ نسبت سیگنال به نویز به تفکیک سطوح مختلف پارامترهای

آزمایش در قطر ذرات

پارامتر	سطح	مقدار معادل	S/N متوسط
دما	۱	۵۹۰	-۳۴/۶۲
	۲	۵۹۵	-۳۲/۶۶
	۳	۶۰۰	-۳۲/۸۲
	۴	۶۰۵	-۳۳/۹۹
	۵	۶۱۰	-۳۵/۶۹
	۶	۶۱۵	-۳۷/۶۹
ارتعاش	۱	۳۰	-۳۵/۴
	۲	۶۰	-۳۴/۳۷
	۳	۹۰	-۳۳/۹۶
زمان	۱	۰	-۳۷/۳
	۲	۱۵	-۳۳/۴۸
	۳	۳۰	-۳۲/۹۶

جدول ۷ نتیجه آزمایش صحه گذاری برای قطر ذرات

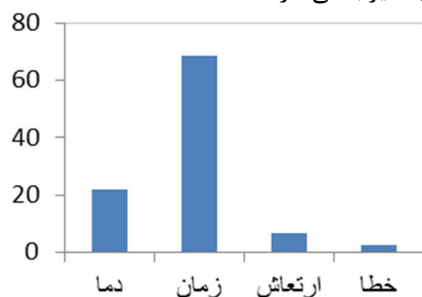
سطوح بهینه	مقدار آزمایش S/N نسبت	پیش بینی تاگوچی	درصد خطا
Te2.Ti3.F3	-۳۳/۰۶۴۲	-۳۰/۴۲۳۸	۲/۶۴۰۴

در مرحله بعد جهت تعیین درصد تاثیر پارامتر نسبت به تهیه جدول تحلیل واریانس برای سختی نمونه‌ها اقدام گردید. (جدول ۱۱)

جدول ۸ نتایج حاصل از تحلیل واریانس برای قطر ذرات

ضریب تاثیر	مقدار P	مقدار F	میانگین مجموع مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی	ضریب تاثیر
۲۱/۹۷۴	۰/۰۰۵	۸/۲	۱۰/۸۱۲	۵۴/۰۶۱	۵	دما
۶۸/۶۱۹	۰	۲۵/۶۱	۳۳/۷۶۲	۶۷/۵۲۴	۲	زمان
۶/۷۳۷	۰/۱۴۲	۲/۵۱	۳/۳۱	۶/۶۱۹	۲	ارتعاش
۲/۶۷۸			۱/۳۱۸	۱۰/۵۴۶	۸	خطا
				۱۳۸/۷۵	۱۷	کل

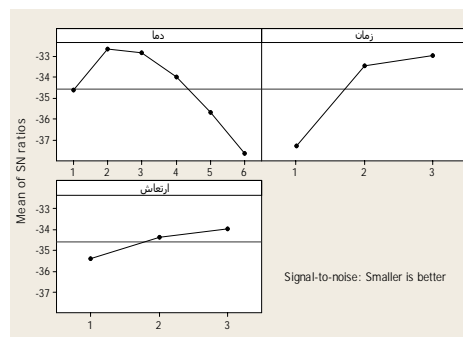
سپس با استفاده از نتایج به دست آمده در جدول ۸ نسبت به ترسیم نمودار درصد تاثیر فاکتورهای آزمایش اقدام گردید. (نمودار شکل ۱۳) با بررسی شکل ۱۳ مشخص شد زمان ارتعاش بالاترین تاثیر در قطر ذرات را دارد و پس از آن دمای بارریزی تاثیر بالائی دارد.



شکل ۱۳ نمودار درصد تاثیر پارامترهای آزمایش در قطر ذرات

۳-۳ تعیین سطوح بهینه پارامترهای آزمایش در سختی نمونه‌ها
با تحلیل سیگنال به نویز نسبت به تعیین شرایط بهینه در سختی نمونه‌ها اقدام گردید.

با توجه جدول ۶ مشخص گردید بهینه قطر ذرات در دمای ۵۹۵ درجه سانتی گراد، شدت ارتعاش ۹۰ هرتز و در زمان ۳۰ ثانیه حاصل گردید. نمودار سیگنال به نویز برای سه پارامتر دما، شدت ارتعاش و زمان ارتعاش در شکل ۱۲ ترسیم گردید با توجه به نمودارها مشخص گردید با افزایش شدت ارتعاش و زمان ارتعاش دانه‌ها ریزتر می‌گردند و همچنین بهترین شرایط دمائی در دمای ۵۹۵ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد حاصل گردید.



شکل ۱۲ نمودار نسبت تغییرات سیگنال به نویز برای قطر ذرات

با توجه به جدول ۶ و نمودارهای شکل ۱۲ بهترین نتایج جهت قطر ذرات در شرایط Te2.Ti3.F3 حاصل گردید در گام بعدی نسبت به آزمایش صحه گذاری اقدام گردید نتایج به دست آمده در جدول ۷ بیان کننده این است پیش بینی حاصل از نرم افزار Minitab با نتایج به دست آمده همخوانی دارد و مقدار خطا نا چیز می باشد.

جدول ۱۰ نتیجه آزمایش صحه گذاری برای سختی ذرات

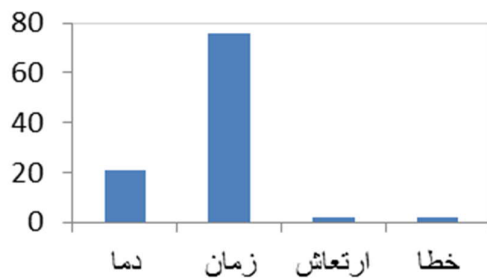
درصد خطا	پیش بینی تاگوچی	مقدار آزمایش S/N نسبت	سطوح بهینه
۰/۰۷۸۵	۳۹/۹۲۱۵	۴۰	Te2.Ti3.F3

در مرحله بعد جهت تعیین درصد تاثیر پارامتر نسبت به تهیه جدول تحلیل واریانس برای سختی نمونه‌ها اقدام گردید. (جدول ۱۱)

جدول ۱۱ نتایج حاصل از تحلیل واریانس برای سختی

پارامتر	ضریب تاثیر	مقدار P	مقدار F	میانگین مجموع مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی
دما	۲۰/۶۳	۰/۰۰۲	۱۰/۴۶	۰/۱۳۱۲	۰/۶۵۶	۵
زمان	۷۵/۵۹	۰	۳۸/۳۳	۰/۴۸۰۸	۰/۹۶۱	۲
ارتعاش	۱/۷۹	۰/۴۴	۰/۹۱	۰/۰۱۱۴	۰/۰۲۲۸	۲
خطا	۱/۹۷			۰/۰۱۲۵	۰/۱۰۰۳	۸
کل					۱/۷۴۱۲	۱۷

سپس با استفاده از نتایج به دست آمده در جدول ۱۱ نسبت به ترسیم نمودار درصد تاثیر فاکتورهای آزمایش اقدام گردید. (نمودار شکل ۱۵) با بررسی شکل ۱۵ مشخص شد زمان ارتعاش بالاترین تاثیر در قطر ذرات را دارد و پس از آن دمای بارریزی تاثیر بالاتری دارد.



شکل ۱۵ نمودار درصد تاثیر پارامترهای آزمایش در قطر ذرات

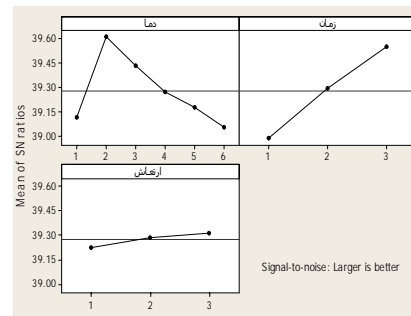
۳-۳ تعیین سطوح بهینه پارامترهای آزمایش در میزان تخلخل نمونه‌ها
با تحلیل سیگنال به نویز نسبت به تعیین شرایط بهینه در تخلخل نمونه‌ها اقدام گردید.

جدول ۹ نسبت سیگنال به نویز به تفکیک سطوح مختلف پارامترهای

آزمایش در سختی نمونه‌ها

پارامتر	سطح	مقدار معادل	S/N متوسط
دما	۱	۵۹۰	۳۹/۱۱
	۲	۵۹۵	۳۹/۶۱
	۳	۶۰۰	۳۹/۴۳
	۴	۶۰۵	۳۹/۳۷
	۵	۶۱۰	۳۹/۱۸
	۶	۶۱۵	۳۹/۰۶
ارتعاش	۱	۳۰	۳۸/۹۹
	۲	۶۰	۳۹/۲۹
	۳	۹۰	۳۹/۵۵
زمان	۱	۰	۳۹/۲۳
	۲	۱۵	۳۹/۲۹
	۳	۳۰	۳۹/۳۱

با توجه جدول ۹ مشخص گردید، بهینه سختی ذرات در دمای ۵۹۵ درجه سانتی گراد، شدت ارتعاش ۹۰ هرتز و در زمان ۳۰ ثانیه حاصل گردید. نمودار سیگنال به نویز برای سه پارامتر دما، شدت ارتعاش و زمان ارتعاش در شکل ۱۴ ترسیم گردید. با توجه به نمودارها مشخص گردید با افزایش شدت ارتعاش و زمان ارتعاش سختی نمونه‌ها افزایش می‌یابد و همچنین بهترین شرایط دمایی در دمای ۵۹۵ درجه سانتی‌گراد حاصل گردید.



شکل ۱۴ نمودار نسبت تغییرات سیگنال به نویز برای سختی نمونه‌ها

با توجه به جدول ۹ و نمودارهای شکل ۱۴ بهترین نتایج جهت سختی نمونه‌ها در شرایط Te2.Ti3.F3 حاصل گردید در گام بعدی نسبت به آزمایش صحه گذاری اقدام گردید نتایج به دست آمده در جدول ۱۰ بیان کننده این است پیش بینی حاصل از نرم افزار Mini tab با نتایج به دست آمده همخوانی دارد و مقدار خطا نا چیز می‌باشد.

جدول ۱۲ نسبت سیگنال به نویز به تفکیک سطوح مختلف پارامترهای آزمایش در تخلخل نمونه ها

پارامتر	سطح	مقدار معادل	S/N متوسط
دما	۱	۵۹۰	۲۵/۹
	۲	۵۹۵	۲۹/۰۷
	۳	۶۰۰	۲۶/۱۸
	۴	۶۰۵	۲۴/۲۲
	۵	۶۱۰	۲۰/۶۱
	۶	۶۱۵	۲۰/۶۲
ارتعاش	۱	۳۰	۲۹/۱۳
	۲	۶۰	۲۴/۰۷
	۳	۹۰	۲۰/۱۱
زمان	۱	۰	۲۵/۵۱
	۲	۱۵	۲۴/۰۸
	۳	۳۰	۲۳/۷۲

جدول ۱۳ نتیجه آزمایش صحه گذاری برای تخلخل ذرات

درصد خطا	پیش بینی تاگوچی	مقدار آزمایش S/N نسبت	سطوح بهینه
۰/۷۲۹	۳۴/۸۳۸	۳۵/۵۶۷	Te2.Ti1.F1

در مرحله بعد جهت تعیین درصد تاثیر پارامتر نسبت به تهیه جدول تحلیل واریانس برای تخلخل نمونه ها اقدام گردید (جدول ۱۴)

جدول ۱۴ نتایج حاصل از تحلیل واریانس برای تخلخل نمونه ها

پارامتر	درجه آزادی	مجموع مربعات (SS)	میانگین مجموع مربعات (MS)	مقدار F	مقدار P	ضریب تاثیر
دما	۸	۱۶۷/۵۴	۳۳/۵۰۹	۴/۶۵	۰/۰۲۸	۱۹/۸۷
زمان	۵	۲۴۴/۹۱	۱۲۲/۴۵۷	۱۶/۹۹	۰/۰۰۱	۷۲/۶۲
ارتعاش	۵	۱۰/۸۷	۵/۴۳۳	۰/۷۵	۰/۵۰۱	۳/۲۲
خطا	۸	۵۷/۶۶	۷/۲۰۷			۴/۲۷
کل	۱۷	۴۸۰/۹۸				

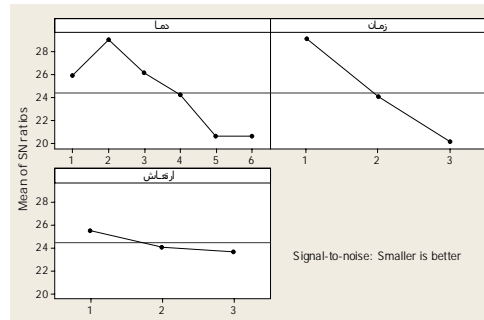
سپس با استفاده از نتایج به دست آمده در جدول ۱۴ نسبت به ترسیم نمودار درصد تاثیر فاکتورهای آزمایش اقدام گردید. (نمودار شکل ۱۷) با بررسی شکل ۱۷ مشخص شد زمان ارتعاش بالاترین تاثیر در قطر ذرات را دارد و پس از آن دمای بارریزی تاثیر بالاتری دارد.



شکل ۱۷ نمودار درصد تاثیر پارامترهای آزمایش در تخلخل نمونه ها

در ادامه این می توان از شمشه های تولید شده با توجه به خواص مکانیکی ایجاد شده در آنها با ریخته گری ثانویه به تولید پوسته اجزاء انتقال قدرت و وسائل نقلیه مانند پوسته پینین و پوسته گیربکس استفاده نمود. (شکل ۱۸)

با توجه به جدول ۱۲ مشخص گردید بهینه تخلخل نمونه ها در دمای ۵۹۵ درجه سانتی گراد، شدت ارتعاش ۳۰ هرتز و در زمان ۰ ثانیه حاصل گردید. (ارتعاش فقط در زمان بارریزی). نمودار سیگنال به نویز برای سه پارامتر دما، شدت ارتعاش و زمان ارتعاش در شکل ۱۶ ترسیم گردید با توجه به نمودارها مشخص گردید با کاهش شدت ارتعاش و زمان ارتعاش تخلخل نمونه ها افزایش می یابد و همچنین بهترین شرایط دمایی در دمای ۵۹۵ درجه سانتی گراد حاصل گردید.



شکل ۱۶ نمودار نسبت تغییرات سیگنال به نویز برای تخلخل

با توجه به جدول ۱۲ و نمودارهای شکل ۱۶ بهترین نتایج جهت سختی نمونه ها در شرایط Te2.Ti1.F1 حاصل گردید. در گام بعدی نسبت به آزمایش صحه گذاری اقدام گردید نتایج به دست آمده در جدول ۱۳ بیان کننده این است که پیش بینی حاصل از نرم افزار Mini tab با نتایج به دست آمده همخوانی دارد و مقدار خطا نا چیز می باشد.

همچنین جهت آنالیز بهتر نتایج می توان تاثیر متقابل پارامترها را بر نتایج بررسی نمود.

۵- مراجع:

Rice C, Mendes P, Semi Solid Slurry Base Die Casting, [۱] Journal of advanced materials and processes 159, 2001, pp. 1 of 7

Birol Y, semi -solid processing of the primary aluminium [۲] die casting alloy A365, Journal of Alloys and compounds, 2009, Vol. 473, pp. 133-138

Motegi T., Tanabe F., sugiura E., Continuous casting of [۳] semisolid aluminum alloys, Mater. Sci. Forum, 2002, vol 1, pp. 203-208

(Spencer D.B, PhD thesis, MIT, Cambridge, MA, (1971 [۴] ZHANG L, WANG S.H, DING W.J, Effect of cooling [۵] condition on microstructure of semi-solid AZ91 slurry produced via ultrasonic vibration process. National Engineering Research Center of Light Alloy Net Forming, 2012

Kolahdooz A, Nourouzi S, Bakhshi M, Gorgi A , Effect of [۶] Temperature on the Microstructure of Semi-Solid Casting in Cooling Slope Method , Journal of Mechanical Science and Technology, 2014 , pp 4257-4265

S. Nourouzi, S. M. Ghavamodini, H. Baseri, A. [۷] Kolahdooz, M. Botkan, "Microstructure Evolution of A356 Aluminum Alloy Produced by Cooling Slope Method", Advanced Materials Research, Vol. 402, pp. 272-276, 2012

kumar, S.D., et al., A Taguchi Optimization of Cooling [۸] Slope Casting Process Parameters for Production of Semi-solid A356 Alloy and A356-5TiB2 in-situ Composite Feedstock. Procedia Materials Science, 2014. 5(0): p. 232-241

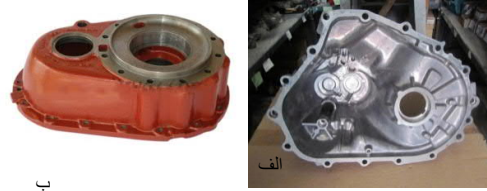
Kolahdooz A, Experimental investigation of thixoforging [۹] parameters effects on the microstructure and mechanical properties of the helical gearbox cap , Journal of Mechanical Science and Technology, 2014, 4257

Botkan M, Nourouzi S, Kolahdooz A , Effect of [۱۰] Isothermal Stirring Parameters on Yoneda h , Fukuda T , Ishino T, Influence of primary [۱۱] crystal morphology on the strength of low carbon gray cast iron stirred in the primary solidification process, 59th world foundry congress , 1992 , pp20-25

P. Qiu, H. Nomura, M, Takita, "Improvement of [۱۲] microstructure and tensile properties of cast iron by semi-solid castin IMONO", Vol.71, No.10, 1999, PP.685-690

Limmaneevichitr, C., Pongananpanya S., and [۱۳] Kajornchaiyakul J., Metallurgical structure of A356 aluminum alloy solidified under mechanical vibration: An investigation of alternative semi-solid casting routes. Materials & Design, 2009. 30(9): p. 3925-3930

[۱۴] بهلولی، ح، کیخا، م، شفائی، ح، بررسی فاز یوتکتیک بر ریز ساختار آلیاژ A356 در فرایند شکل دهی نیمه جامد. مجموعه مقالات کنفرانس ملی آشنائی با فناوریهای روز در زمینه مهندسی مکانیک ۴ و ۵ اسفند ۱۳۸۹، ایران، شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز.



شکل ۱۸ الف) پوسته گیربکس ب) پوسته پینیون

۴- نتیجه گیری و بحث :

- با بررسی نتایج مشخص گردید :

۱- کسر جامد بسیار بالا نظیر قطعه ریخته شده در دمای ۵۹۰ درجه سانتی گراد سبب گردید که نمونه به علت انجماد سریع به درستی تحت تاثیر تنش‌های ناشی از ارتعاش قرار نگیرد و قطر دانه‌ها افزایش یابد که سبب کاهش سختی گردید.

۲- با افزایش دما و کاهش کسر جامد به علت طولانی شدن زمان انجماد ساختار به سمت شاخه‌ای شدن پیش رفته که سبب کاهش خواص مکانیکی در نمونه‌ها گردید.

۳- با بررسی دماهای بارریزی مختلف دمای ۵۹۵°C مناسب ترین دما بدست آمد چرا که در این دما ضمن برخورداری از کمترین قطر دانه ۳۲ μm افزایش مقدار سختی یعنی HB 100 نیز به دست آمد.

۴- با مطالعه بر روی شدت ارتعاش و زمان ارتعاش مقادیر مناسب این پارامترها به ترتیب ۹۰ HZ و 30 s تعیین شدند.

۵- با مطالعه بر روی نتایج حاصل مشخص گردید که شروع ارتعاش در زمان بارریزی سبب شکستن بازوهای شاخه‌ها شده و در ریز ساختار شدن نمونه‌ها موثر می‌باشد و همچنین افزایش شدت ارتعاش و زمان ارتعاش با شدت کمتر همان تاثیر در نتایج مشاهده گردید.

۶- با مطالعه بر روی نتایج حاصل مشخص گردید بیشترین تاثیر ارتعاش در دمای صورت می‌پذیرد که :

الف) مخلوط بارریزی از کسر جامد مناسب بر خوردار باشد.

ب) زمان کافی از نظر انجماد جهت ارتعاش را دارا باشیم

۷- با مطالعه نتایج مشخص گردید که اگر دمای بارریزی آنقدر بالا باشد که زمان انجماد با تاخیر پس از اتمام ارتعاش به پایان برسد ساختار به سمت شاخه ای شدن پیش می‌رود.

[۱۵] آقا کریمی، ح؛ غلامی پور، ر؛ شهری، ف، و بایگان، ۱۳۹۲ م، بررسی اثر پارامتر های ریخته گری نیمه جامد به روش همزدن مکانیکی بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیوم ۳۱۹، دومین همایش بین المللی و هفتمین همایش مشترک انجمن مهندسی متالورژی ایران و انجمن ریخته گری ایران، سمنان، دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی.