

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پژوهشگاه مواد و انرژی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته سرامیک

موضوع

اثر عوامل مختلف روی خواص رئولوژی خمیرهای کامپوزیت Mg/nano-Al₂O₃ و شکل دهی آن به روش قالبگیری تزریقی

اساتید راهنما

دکتر مسعود علیزاده – دکتر رحیم یزدانی راد

استاد مشاور

دکتر ابراهیم قاسمی

نگارنده

ساره محمد طاهری

کد شناسه پروژه: ۳۷۸۸۵۷

سال تحصیلی ۱۳۹۰-۱۳۸۹

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم : ساره محمد طاهری

را با عنوان:

اثر عوامل مختلف روی خواص رئولوژی خمیرهای کامپوزیت $Mg/nano-Al_2O_3$ و شکل دهی آن به روش قالبگیری تزریقی

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
	استادیار	دکتر مسعود علیزاده	۱- استاد راهنما
	دانشیار	دکتر رحیم یزدانی راد	۲- استاد راهنما
	استادیار	دکتر ابراهیم قاسمی	۳- استاد مشاور
			۴- استاد ممتحن
			۵- استاد ممتحن
			۶- نماینده تحصیلات تکمیلی

تقدیم به پدر و مادر بزرگوارم

که از آغاز تولد بردباری و خستگی ناپذیری را در زوایای وجودیشان به من آموختند.

و

تقدیم به همسر و برادرم

که مظهر امید، تلاش و کوشش هستند.

تشر و قدردانی

بی شکیب در پژوهشهای علمی بدون همیاری و مساعدت افراد گروه، دستیابی به نتایج مورد نظر امکان پذیر نخواهد بود. لذا از همراهی، حمایت و راهنمایی ارزشمند اساتید محترم دکتر مسعود علیزاده و دکتر رحیم یزدانی‌راد که به عنوان اساتید راهنما و دکتر ابراهیم قاسمی که به عنوان استاد مشاور پروژه در تمامی مراحل این پروژه همراه و پشتیبان بنده بودند، تشر و قدردانی می‌نمایم.

همچنین از متصدیان دستگاه‌ها و آزمایشگاه‌های مختلف پژوهشگاه مواد و انرژی که در ارائه تجهیزات و انجام آنالیزها کمال همکاری و مساعدت را داشته‌اند، بی نهایت سپاسگذارم.

حق تالیف / گردآوری و تحقیق

این پروژه تحقیقاتی به شماره شناسه ۳۷۸۸۵۷ در پژوهشگاه مواد و انرژی به ثبت رسیده است و کلیه دستاوردهای تحقیقاتی شامل نتایج نظری، نتایج علمی و عملی، دانش فنی و سایر موارد مربوط به این پروژه متعلق به پژوهشگاه مواد و انرژی می باشد. بهره برداری از نتایج پروژه برای موسسات دولتی و غیر دولتی با مجوز پژوهشگاه مواد و انرژی و درج نام پژوهشگاه مواد و انرژی امکان پذیر است.

چکیده

در این پروژه، اثر اسیداستئاریک، اندازه ذرات پودر آلومینا و نسبت پودر/بایندر در خمیرهای حاوی بایندر مومی و پودر منیزیم / آلومینا روی رفتار رئولوژیکی خمیرها بررسی شد. بدین منظور از سیستم بایندری متشکل از پارافین واکس، موم صنعتی و اسید استئاریک استفاده شد. سپس خمیرهای مختلف شامل بایندر مذکور و پودر منیزیم / آلومینا (میکرونی و نانو) آماده گردید و با استفاده از دستگاه رئومتر چرخشی رفتار رئولوژی خمیرها در محدوده سرعت برشی $100-1000\text{S}^{-1}$ ارزیابی و تحلیل و با مدل‌های موجود در مراجع مطابقت داده شد. پس از تعیین شرایط بهینه، خمیرهای مورد نظر تهیه شد و با استفاده از دستگاه تزریق اتوماتیک در دمای 100°C و فشار 90 bar قطعات تزریق شده و عملیات بایندرزدایی آنها در بستر گرافیتی تحت اتمسفر معمولی طی سیکل حرارتی دقیق به طور کامل انجام گرفت.

نتایج نشان داد که سیستم بایندری حاوی ۶ درصد وزنی اسیداستئاریک به عنوان سیستم بایندری مناسب برای تهیه خمیر می باشد. همچنین، تحلیل رفتار رئولوژی خمیرها مشخص ساخت که خمیرهای حاوی مقدار ۱۵ درصد وزنی آلومینای میکرونی و $2/5$ درصد وزنی آلومینای نانومتری، رفتار شبه پلاستیک با کمترین مقدار گرانروی را داشته و از مدل توانی پیروی می کنند و همچنین مقادیر توان سیلان (n) و انرژی فعالسازی (E) آنها نسبت به سایر ترکیبها پائین تر است. در ادامه بررسیها مشخص شد که نسبت بهینه پودر به بایندر برای تهیه خمیر مناسب جهت تزریق نسبت ۶۶ به ۳۴ درصد وزنی می باشد. نمونه های نهایی حاصل از تزریق و بایندر زدایی بدون عیب بوده و نتایج مطلوبی را نشان داد.

کلید واژه : کامپوزیت منیزیم/آلومینا، بایندر، رفتار رئولوژی، فرآیند قالب گیری تزریقی فلزات

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول.مقدمه

- ۱-۱- مقدمه ۱
- ۲-۱- هدف از انجام پروژه ۲
- ۳-۱- نوآوری پروژه ۲
- ۴-۱- ساختار گزارش ۲

فصل دوم. مروری بر منابع مطالعاتی

- ۱-۲- منیزیم ۳
- ۱-۱-۲- تاریخچه منیزیم ۳
- ۲-۱-۲- خواص منیزیم ۴
- ۳-۱-۲- کاربرد های منیزیم ۴
- ۲-۲- آلومینا ۶
- ۱-۲-۲- خواص آلومینا ۶
- ۲-۲-۲- کاربردهای آلومینا ۷
- ۳-۲- کامپوزیت ۷
- ۱-۳-۲- مقدمه ۷
- ۲-۳-۲- نانو کامپوزیت ۸
- ۳-۳-۲- کاربرد کامپوزیتها در صنایع مختلف ۹
- ۴-۳-۲- تقسیم بندی کامپوزیتها ۱۰
- ۴-۲- کامپوزیت های زمینه منیزیم ۱۱
- ۱-۴-۲- مقدمه ۱۱
- ۲-۴-۲- تقویت کننده ها ۱۲

- ۳-۴-۲- تقویت کننده ی ذره ای ۱۳
- ۴-۴-۲- تاثیر افزودن ذرات آلومینا ۱۳
- ۵-۴-۲- روشهای تولید کامپوزیتهای زمینه منیزیمی ۱۴
- ۱-۵-۴-۲- روشهای ذوبی برای ساخت کامپوزیت ۱۴
- ۲-۵-۴-۲- روشهای جامد برای ساخت کامپوزیت ۱۵
- ۳-۵-۴-۲- روش واکنش درجا برای ساخت کامپوزیت ۱۵
- ۵-۲- روش قالب گیری تزریقی ۱۶
- ۱-۵-۲- روش کار، مزایا و معایب ۱۶
- ۲-۵-۲- انواع ماشینهای قالبگیری تزریقی ۲۰
- ۶-۲- بایندر، پودر و آماده سازی خمیر ۲۱
- ۱-۶-۲- بایندر ۲۱
- ۲-۶-۲- پودر ۲۴
- ۳-۶-۲- آماده سازی خمیر ۲۴
- ۷-۲- رفتار رئولوژی ۳۱
- ۱-۷-۲- مقدمه ۳۱
- ۲-۷-۲- انواع رفتارهای جریانی ۳۳
- ۱-۲-۷-۲- سیال های مستقل از زمان ۳۳
- ۲-۲-۷-۲- سیال های وابسته به زمان ۳۸
- ۳-۷-۲- عوامل موثر بر رفتار رئولوژی ۳۹
- ۱-۳-۷-۲- درصد حجمی یا وزنی مواد جامد ۳۹
- ۲-۳-۷-۲- اندازه ذرات پودر و توزیع اندازه ذرات ۴۰
- ۳-۳-۷-۲- شکل ذرات پودر ۴۱
- ۴-۳-۷-۲- درصد وزنی و گرانروی بایندر ۴۱
- ۸-۲- بایندرزدایی ۴۲

۴۲	..... ۱-۸-۲ مقدمه
۴۲	..... ۲-۸-۲ بایندرزدایی با حلال
۴۳	..... ۳-۸-۲ بایندرزدایی حرارتی

فصل سوم. مواد اولیه، تجهیزات و روش آزمایش

۵۰	..... ۱-۳ مواد اولیه
۵۰	..... ۱-۱-۳ منیزیم
۵۲	..... ۲-۱-۳ آلومینا
۵۳	..... ۳-۱-۳ بایندر
۵۴	..... ۲-۳ دستگاه ها و تجهیزات استفاده شده
۵۴	..... ۱-۲-۳ آنالیز اندازه دانه (Particle Size Analysis)
۵۴	..... ۲-۲-۳ پراش اشعه ایکس (X-Ray Diffraction)
۵۴	..... ۳-۲-۳ فلورسانس اشعه ایکس (XRF)
۵۴	..... ۴-۲-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscope)
۵۴	..... ۵-۲-۳ میکروسکوپ الکترونی عبوری (Transmission Electron Microscope)
۵۵	..... ۶-۲-۳ آسیاب گلوله ای سیاره ای (Planetary Ball Mill)
۵۵	..... ۷-۲-۳ آنالیز حرارتی همزمان (Simultaneous Thermal Analysis or STA)
۵۵	..... ۸-۲-۳ رئومتر (Rheometer)
۵۵	..... ۹-۲-۳ مخلوط کن داخلی (Internal Mixer)
۵۵	..... ۱۰-۲-۳ دستگاه قالبگیری تزریقی (Injection Molding Machine)
۵۵	..... ۱۱-۲-۳ کوره (Furnace)
۵۶	..... ۳-۳ روش آزمایش
۵۷	..... ۱-۳-۳ تعیین شرایط آسیاب
۵۷	..... ۲-۳-۳ تعیین دمای مخلوط کردن پودر و بایندر، دمای تزریق خمیر و سیکل بایندرزدایی

- ۳-۳-۳- تعیین ترکیب بایندر..... ۵۷
- ۳-۳-۴- بررسی اثر اندازه دانه فاز تقویت کننده روی رفتار رئولوژی خمیر ۵۹
- ۳-۳-۵- بررسی اثر نسبت پودر به بایندر روی رفتار رئولوژی خمیر ۶۰
- ۳-۳-۶- بررسی شرایط تزریق خمیر نانوکامپوزیت..... ۶۰
- ۳-۳-۷- بررسی شرایط بایندرزدایی..... ۶۱

فصل چهارم. نتایج و بحث

- ۴-۱- تعیین شرایط آسیاب..... ۶۲
- ۴-۲- تعیین دمای مخلوط کردن پودر و بایندر و دمای تزریق خمیر ۶۳
- ۴-۳- تعیین ترکیب بایندر..... ۶۴
- ۴-۳-۱- اثر مقدار و نحوه تغییرات گرانشی خمیر ۶۶
- ۴-۳-۲- تعیین مدل ۶۷
- ۴-۳-۳- اثر سرعت برشی روی گرانشی خمیر ۶۸
- ۴-۳-۴- اثر دما روی گرانشی خمیر..... ۷۰
- ۴-۳-۵- اثر گشتاور یا مقاومت برشی خمیر..... ۷۲
- ۴-۴- بررسی اثر اندازه دانه فاز تقویت کننده روی رفتار رئولوژی خمیر..... ۷۳
- ۴-۴-۱- تاثیر افزودن آلومینای میکرومتری..... ۷۳
- ۴-۴-۱-۱- اثر مقدار و نحوه تغییرات گرانشی خمیر..... ۷۳
- ۴-۴-۱-۲- اثر سرعت برشی روی گرانشی خمیر ۷۵
- ۴-۴-۱-۳- اثر دما روی گرانشی خمیر ۷۷
- ۴-۴-۲- تاثیر افزودن آلومینای نانومتری..... ۸۰
- ۴-۴-۲-۱- اثر مقدار و نحوه تغییرات گرانشی خمیر..... ۸۰
- ۴-۴-۲-۲- اثر سرعت برشی روی گرانشی خمیر ۸۱
- ۴-۴-۳- اثر دما روی گرانشی خمیر ۸۳

- ۸۶-۳-۴-۴ مقایسه اثر پودر آلومینای نانومتری و میکرومتری.....
- ۸۷-۵-۴ بررسی اثر نسبت پودر به بایندر روی رفتار رئولوژی خمیر.....
- ۸۷-۱-۵-۴ اثر مقدار و نحوه تغییرات گرانیوی خمیر.....
- ۸۸-۲-۵-۴ اثر سرعت برشی بر گرانیوی خمیر.....
- ۹۰-۳-۵-۴ اثر دما روی گرانیوی خمیر.....
- ۹۳-۴-۵-۴ استفاده از مدل ویر برای بدست آوردن ضریب قالبگیری.....
- ۹۳-۵-۵-۴ استفاده از مدل ردی برای بدست آوردن درصد بهینه پودر.....
- ۹۵-۶-۴ بررسی شرایط آماده سازی و تزریق خمیر نانوکامپوزیت منیزیم / آلومینا.....
- ۹۷-۷-۴ بررسی شرایط بایندرزدایی.....

فصل پنجم. نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۹۹-۱-۵ نتیجه گیری.....
- ۱۰۰-۲-۵ پیشنهادات.....
- ۱۰۱-واژه نامه فارسی به انگلیسی.....
- ۱۰۲-واژه نامه انگلیسی به فارسی.....
- ۱۰۳-فهرست مراجع.....

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

فصل دوم. مروری بر منابع مطالعاتی

- شکل ۲- ۱: رابطه مصرف سوخت و وزن در خودروی سواری [۲]. ۵
- شکل ۲- ۲: کاربرد کامپوزیتها در صنایع مختلف [۱۹]. ۹
- شکل ۲- ۳: استحکام و مدول یانگ ویژه برای کامپوزیت های زمینه منیزیمی با تقویت کننده های مختلف (الف: ذره ای، ب)الیاف تک رشته ای، ج)الیاف کربنی [۲]. ۱۲
- شکل ۲- ۴: اشکال مختلف تقویت کننده ها (الف: ذرات، ب) الیاف کوتاه، ج) الیاف تک رشته ای [۲]. ۱۲
- شکل ۲- ۵: مراحل مختلف تولید قطعه خام به روش قالبگیری تزریقی. ۱۷
- شکل ۲- ۶: تغییرات وزن نمونه ها با تغییر فشار تزریق [۵]. ۱۹
- شکل ۲- ۷: ماشین قالبگیری نوع ماریچی یا ماردونی. ۲۰
- شکل ۲- ۸: ماشین قالبگیری نوع پیستونی. ۲۰
- شکل ۲- ۹: چهار موقعیت بایندر و پودر در خمیر: الف) کمبود بایندر، ب) مقدار بحرانی بایندر، ج) مقدار بهینه بایندر، د) بایندر اضافی [۲۰]. ۲۵
- شکل ۲- ۱۰: منحنی تغییرات چگالی با افزایش مقدار پودر WC.5TiC.10Co در بایندر پایه مومی [۳۲]. ۲۶
- شکل ۲- ۱۱: تعیین درصد بهینه بایندر از طریق جذب روغن توسط پودر [۳۵]. ۲۸
- شکل ۲- ۱۲: اثر افزایش درصد حجمی پودر روی مقدار گشتاور [۳۰]. ۲۹
- شکل ۲- ۱۳: اثر کاهش اندازه دانه پودر روی مقدار گشتاور [۳۰]. ۳۰
- شکل ۲- ۱۴: الف) جریان برشی و ب) جریان انبساطی [۴۵]. ۳۱
- شکل ۲- ۱۵: نحوه حرکت صفحات در سیال برشی [۴۶]. ۳۲
- شکل ۲- ۱۶: انواع مختلف سیالهای مستقل از زمان [۴۶]. ۳۳
- شکل ۲- ۱۷: نمایش η_0 و η_∞ [۴۵]. ۳۵
- شکل ۲- ۱۸: تعریف گرافیکی رابطه بینگهام [۴۵]. ۳۶
- شکل ۲- ۱۹: انواع مختلف سیالهای مستقل از زمان [۴۶]. ۳۸
- شکل ۲- ۲۰: اثر نسبت مقدار پودر به بایندر روی گرانیروی [۳۰]. ۴۰
- شکل ۲- ۲۱: اثر اندازه ذرات پودر روی گرانیروی [۳۰]. ۴۱

- شکل ۲- ۲۲: مراحل بایندرزدایی حرارتی: (۱) انبساط حرارتی بایندر، (۲) تبخیر سطحی بایندر، (۳) خروج اجزای فرعی باقیمانده از سطح، (۴) خروج اجزای اصلی بایندر [۴۹]. ۴۳
- شکل ۲- ۲۳: اثر ضخامت قطعه روی فرآیند بایندرزدایی [۳۲]. ۴۴
- شکل ۲- ۲۴: نمونه ای از یک سیکل بایندرزدایی [۴۹]. ۴۴
- شکل ۲- ۲۵: منحنی TGA برای بدست آوردن سیکل بایندرزدایی حرارتی [۵۵]. ۴۵
- شکل ۲- ۲۶: کاهش مقدار بایندر با گذر زمان در قطعه دیسکی شکل در بسترهای مختلف در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد [۳۳]. ۴۷
- شکل ۲- ۲۷: تغییرات استحکام نمونه در حین بایندرزدایی [۵۰]. ۴۸

فصل سوم. مواد اولیه، تجهیزات و روش آزمایش

- شکل ۳- ۱: طیف پراش پرتو ایکس از پودر منیزیم. ۵۰
- شکل ۳- ۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از پودر منیزیم. ۵۱
- شکل ۳- ۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از پودر آلومینای میکرومتری. ۵۲
- شکل ۳- ۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از پودر آلومینای نانومتری. ۵۳

فصل چهارم. نتایج و بحث

- شکل ۴- ۱: تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی از نمونه های آسیاب شده: الف) بدون قرار دادن پودر در خشک کن قبل از آسیاب و ب) با قرار دادن پودر در خشک کن در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲ ساعت قبل از آسیاب. ۶۳
- شکل ۴- ۲: منحنی STA خمیر منیزیم/آلومینا و بایندر با نسبت وزنی پودر به بایندر ۶۶ به ۳۴. ۶۴
- شکل ۴- ۳: الف) اسید استئاریک، ب) اسید استئاریک در حضور منیزیم. ۶۵
- شکل ۴- ۴: تعیین محدوده تغییرات درصد پودر و بایندر در خمیر. ۶۵
- شکل ۴- ۵: منحنی تغییرات گرانی با سرعت برشی برای خمیرهای حاوی درصد های مختلف اسید استئاریک طبق جدول ۳-۵. ۶۶
- شکل ۴- ۶: منحنی تنش برشی بر حسب سرعت برشی طبق مدل بینگهام. ۶۷
- شکل ۴- ۷: منحنی لگاریتم تنش برشی بر حسب لگاریتم سرعت برشی طبق مدل توانی. ۶۷
- شکل ۴- ۸: منحنی تغییرات سرعت برشی بر حسب تنش برشی برای خمیرهای حاوی درصد های مختلف اسید استئاریک. ۶۸
- شکل ۴- ۹: نحوه محاسبه مقادیر n با استفاده از رابطه ۲-۹ برای خمیرهای حاوی درصد های مختلف اسید استئاریک. ۶۹

- شکل ۴- ۱۰: منحنی تغییرات لگاریتم گرانروی بر حسب عکس دما برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف اسیداستئاریک. ۷۰
- شکل ۴- ۱۱: نحوه محاسبه مقادیر E با استفاده از رابطه ۲-۱۱ برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف اسیداستئاریک. ۷۱
- شکل ۴- ۱۲: منحنی تغییرات گشتاور با گذشت زمان در سرعت برشی $100 s^{-1}$ برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف اسیداستئاریک. ۷۲
- شکل ۴- ۱۳: منحنی تغییرات گرانروی با سرعت برشی برای بررسی اثر آلومینای میکرونی. ۷۴
- شکل ۴- ۱۴: منحنی تغییرات سرعت برشی بر حسب تنش برشی برای بررسی اثر آلومینای میکرونی. ۷۵
- شکل ۴- ۱۵: منحنی محاسبه مقادیر n برای بررسی اثر آلومینای میکرونی. ۷۶
- شکل ۴- ۱۶: مقادیر n بدست آمده برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف آلومینای میکرونی. ۷۷
- شکل ۴- ۱۷: منحنی تغییرات گرانروی بر حسب $1000/T$ برای بررسی اثر آلومینای میکرونی. ۷۸
- شکل ۴- ۱۸: منحنی محاسبه مقادیر E برای بررسی اثر آلومینای میکرونی. ۷۸
- شکل ۴- ۱۹: مقادیر E بدست آمده برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف آلومینای میکرونی. ۷۹
- شکل ۴- ۲۰: منحنی تغییرات گرانروی با سرعت برشی برای بررسی اثر آلومینای نانومتری. ۸۰
- شکل ۴- ۲۱: منحنی تغییرات سرعت برشی بر حسب تنش برشی برای بررسی اثر آلومینای نانومتری. ۸۱
- شکل ۴- ۲۲: نحوه محاسبه مقدار n برای بررسی اثر آلومینای نانومتری. ۸۲
- شکل ۴- ۲۳: مقادیر n بدست آمده برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف آلومینای نانومتری. ۸۳
- شکل ۴- ۲۴: منحنی تغییرات گرانروی بر حسب $1000/T$ برای بررسی اثر آلومینای نانومتری. ۸۴
- شکل ۴- ۲۵: نحوه محاسبه مقدار E برای بررسی اثر آلومینای نانومتری. ۸۴
- شکل ۴- ۲۶: مقادیر E بدست آمده برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف آلومینای نانومتری. ۸۵
- شکل ۴- ۲۷: منحنی تغییرات گرانروی با سرعت برشی برای مقایسه خمیرهای حاوی پودر آلومینای نانومتری و آلومینای میکرومتری. ۸۶
- شکل ۴- ۲۸: منحنی تغییرات گرانروی بر حسب سرعت برشی برای تعیین درصد بهینه پودر. ۸۸
- شکل ۴- ۲۹: منحنی تغییرات سرعت برشی بر حسب تنش برشی برای تعیین درصد بهینه پودر. ۸۹
- شکل ۴- ۳۰: نحوه محاسبه مقدار n برای تعیین درصد بهینه پودر. ۸۹
- شکل ۴- ۳۱: مقادیر n بدست آمده برای خمیرها برای تعیین درصد بهینه پودر. ۹۰
- شکل ۴- ۳۲: منحنی تغییرات گرانروی بر حسب $1000/T$ برای تعیین درصد بهینه پودر. ۹۱
- شکل ۴- ۳۳: نحوه محاسبه E برای تعیین درصد بهینه پودر. ۹۱
- شکل ۴- ۳۴: مقادیر E بدست آمده برای خمیرها برای تعیین درصد بهینه پودر. ۹۲

- شکل ۴-۳۵: منحنی تغییرات α با تغییر درصد وزنی بایندر برای تعیین درصد بهینه پودر..... ۹۳
- شکل ۴-۳۶: منحنی رسم شده بر اساس مدل ردی در دمای 75°C و سرعت برشی 100 s^{-1} ۹۴
- شکل ۴-۳۷: منحنی گشتاور- زمان برای تعیین زمان مخلوط کردن و همگنی خمیر..... ۹۵
- شکل ۴-۳۸: نمایش محل هیترها در دستگاه تزریق استفاده شده..... ۹۵
- شکل ۴-۳۹: الف) نمونه معیوب با حفرات درشت که در سطح مقطع آن دیده میشود، ب) نمونه سالم..... ۹۶
- شکل ۴-۴۰: نمونه های تزریق شده در دمای 100°C و الف) فشار ۹۰ بار، ب) فشار ۷۵ بار و ج) فشار ۶۰ بار..... ۹۷
- شکل ۴-۴۱: سیکل بایندرزدایی حرارتی استفاده شده..... ۹۸

فهرست جداول

صفحه

عنوان

فصل دوم. مروری بر منابع مطالعاتی

- جدول ۱-۲: سرعت خوردگی مواد مختلف در هوا [۱۵]..... ۶
- جدول ۲-۲: بهبود خواص مکانیکی منیزیم با افزودن فاز تقویت کننده و تشکیل کامپوزیت [۴]..... ۶
- جدول ۲-۳: تقویت کننده های ذره ای متداول و خواص آنها [۲]..... ۱۳
- جدول ۲-۴: مدل‌های ارائه شده برای یافتن مقدار بحرانی پودر در خمیر [۶]..... ۲۷

فصل سوم. مواد اولیه، تجهیزات و روش آزمایش

- جدول ۳-۱: مشخصات پودر منیزیم استفاده شده..... ۵۱
- جدول ۳-۲: مشخصات پودر آلومینای استفاده شده..... ۵۲
- جدول ۳-۳: برخی از خواص اجزای بایندر..... ۵۳
- جدول ۳-۴: تعیین محدوده تغییرات درصد پودر و بایندر در خمیر..... ۵۸
- جدول ۳-۵: ترکیب بایندرها استفاده شده بر حسب درصد وزنی اجزا برای تعیین ترکیب بایندر..... ۵۸
- جدول ۳-۶: ترکیب و درصد وزنی پودر و بایندر استفاده شده برای بررسی اثر آلومینای میکرومتری..... ۵۹
- جدول ۳-۷: ترکیب و درصد وزنی پودر و بایندر استفاده شده برای بررسی اثر آلومینای نانومتری..... ۵۹
- جدول ۳-۸: ترکیب‌های استفاده شده برای تعیین درصد بهینه پودر (بر حسب درصد وزنی)..... ۶۰

فصل چهارم. نتایج و بحث

- جدول ۴-۱: مقادیر n بدست آمده برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف اسیداستتاریک..... ۶۹
- جدول ۴-۲: مقادیر E بدست آمده برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف اسیداستتاریک..... ۷۱
- جدول ۴-۳: مقادیر n بدست آمده برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف آلومینای میکرونی..... ۷۶
- جدول ۴-۴: مقادیر E بدست آمده برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف آلومینای میکرونی..... ۷۹
- جدول ۴-۵: مقادیر n بدست آمده برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف آلومینای نانومتری..... ۸۲
- جدول ۴-۶: مقادیر E بدست آمده برای خمیرهای حاوی درصدهای مختلف آلومینای نانومتری..... ۸۵
- جدول ۴-۷: مقادیر E و n بدست آمده برای خمیرهای حاوی آلومینای میکرومتری و نانومتری..... ۸۷
- جدول ۴-۸: مقادیر n بدست آمده برای خمیرها برای تعیین درصد بهینه پودر..... ۹۰
- جدول ۴-۹: مقادیر E بدست آمده برای خمیرها برای تعیین درصد بهینه پودر..... ۹۲
- جدول ۴-۱۰: ابعاد و وزن نمونه قبل و بعد از بایندرزدایی..... ۹۸

فهرست علائم و نشانه‌ها

علامت اختصاری

عنوان

η	گرانروی
σ	تنش برشی
$\dot{\gamma}$	سرعت برشی
S_w	شیب توزیع اندازه ذرات
ϕ	درصد حجمی پودر در خمیر
ϕ_m	درصد حجمی بحرانی پودر در خمیر
ϕ_b	درصد حجمی بایندر در خمیر
$(\phi_b)_m$	درصد حجمی بحرانی بایندر در خمیر
η_b	گرانروی بایندر
η_r	گرانروی نسبی
n	توان یا ضریب سیلان
E	انرژی اکتیواسیون
α	ضریب قالب‌گیری
T	دمای مطلق

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در صنایع مختلف مخصوصاً صنعت حمل و نقل و هوافضا نیاز به مواد جدیدی است که مصرف سوخت و تولید گازهای مضر را کاهش دهند. این مواد باید وزن کمی داشته باشند [۱]. در سال‌های اخیر منیزیم و آلیاژهای آن به دلیل وزن پائین در صنایع گوناگون و کاربردهایی که کاهش وزن، دارا بودن استحکام ویژه و نسبت سختی به وزن بالا در نظر باشد، به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. اما این فلز با داشتن مزایای بسیار معایبی هم دارد. برای کاهش یا حذف این معایب می‌توان از روش‌های مختلف از جمله آلیاژی کردن یا افزودن فاز ثانویه و تشکیل کامپوزیت استفاده کرد [۲].

یکی از مهمترین ذرات تقویت کننده که به عنوان فاز ثانویه برای بهبود خواص مکانیکی منیزیم به آن افزوده می‌شود، آلومینا است. از مهمترین مزایای آلومینا نسبت به سایر تقویت کننده‌های ذره‌ای می‌توان به دمای ذوب، سختی و استحکام بالا، خواص مکانیکی دما بالای مناسب، مقاومت به اکسایش عالی، قیمت پائین، دسترسی آسان و تولید آن در مقیاس صنعتی اشاره کرد [۳،۴].

روش قالب‌گیری تزریقی پودر^۱ یک روش ترکیبی از دو روش متالورژی پودر و قالب‌گیری تزریقی پلاستیک‌ها است. این روش از سال ۱۹۸۰ برای شکل‌دهی قطعات فلزی و سرامیکی استفاده می‌شود [۵]. در سال‌های اخیر تولید قطعات فلزی با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی به عنوان یک فرآیند صنعتی توسعه یافته است. از مزایای مهم این روش می‌توان به سادگی، هزینه پائین، سرعت فرآیند و امکان تولید اشکال پیچیده و دقیق اشاره کرد. مراحل مختلف ساخت قطعه به این روش تعیین فرمول‌بندی بایندر، تهیه خمیر، تزریق خمیر، بایندرزدایی و زینتر است [۶]. بررسی رفتار رئولوژی^۲ خمیر برای تولید قطعه مناسب و با کیفیت بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۷].

¹ Powder Injection molding

² Rheological behavior

۱-۲- هدف از انجام پروژه

هدف از انجام این پروژه بررسی اثر شرایط زیر است:

- ۱- ترکیب بایندر،
 - ۲- اندازه ذرات پودر آلومینا به عنوان فاز تقویت کننده و
 - ۳- نسبت پودر به بایندر
- روی رفتار رئولوژی و تزریق پذیری خمیر حاوی پودر کامپوزیت منیزیم/آلومینا و بایندر پایه مومی و
- ۴- شرایط تزریق و بایندرزدایی خمیر منیزیم/نانو آلومینا و بایندر

۱-۳- نوآوری پروژه

با توجه به اینکه تاکنون از روش قالب‌گیری تزریقی برای تولید کامپوزیت منیزیم/آلومینا استفاده نشده است و با توجه به معایب موجود برای سایر روش‌ها، برای اولین بار در دنیا از روش قالب‌گیری تزریقی به عنوان روش شکل‌دهی در این پروژه استفاده شده است. در قالب‌گیری تزریقی به دلیل استفاده از مواد اولیه پودری و به دلیل تمهیداتی که در مراحل مخلوط کردن پودرها و تهیه خمیر در نظر گرفته می‌شود، امکان پراکندگی یکنواخت ذرات فاز سرامیکی در زمینه فلزی فراهم می‌گردد. همچنین از آنجا که تکمیل فرایند تولید منوط به عملیات سینترینگ می‌باشد، به دلیل عدم وجود فاز مذاب، دستیابی به قطعه نهایی بدون جابجایی ذرات سرامیکی انجام پذیر است. به علاوه اینکه روش قالب‌گیری تزریقی امکان تولید قطعات پیچیده و دقیق و در تیراژ بسیار زیاد را فراهم می‌کند.

همچنین با توجه به مشکلات مطرح شده برای بایندهای پلیمری، از بایندر پایه مومی استفاده شده است.

۱-۴- ساختار گزارش

این گزارش در پنج فصل تهیه شده است. فصل اول با عنوان مقدمه به طور اجمالی به بررسی تاریخچه مواد اولیه و روش قالب‌گیری تزریقی، هدف از پروژه و نوآوری پرداخته است. در فصل دوم مروری بر منابع مطالعاتی ارائه شده است. در فصل سوم به مواد، تجهیزات و روش آزمایش اشاره شده و در فصل چهارم نتایج آزمایش‌های انجام شده و بحث پیرامون این نتایج ارائه شده است. فصل پنجم نتیجه‌گیری از فعالیت‌های صورت گرفته را در بر می‌گیرد.