

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، M.Sc.

مهندسی مواد - شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

عنوان:

تولید کامپوزیت تابعی Al/Al_2O_3 به روش گریز از مرکز با استفاده از سوسپانسیون پلیمری

استاد راهنما:

استاد مشاور:

تشکر و قدردانی:

سپاس و قدردانی فراوان از استاد گرامی جناب آقای

دکتر ... که با صبر و متانت فراوان بنده را در تهیه و

تدوین این پایان نامه یاری فرمودند.

تقدیم به:

پدر، مادر و خانواده عزیزم که همواره در طول

زندگی یار و یاور من بوده اند.

فهرست مطالب

۱	چکیده
۳	مقدمه
۵	فصل دوم : مروری بر منابع
	۲-۱ کلیات
۶	۲-۲ روش های تولید مواد تابعی
۶	۱-۲-۲ متالورژی پودر
۷	۱-۲-۲-۱ لایه گذاری لایه های مخلوط پودر با تغییر پله ای مخلوط
۷	(ب) لایه گذاری خشک پیوسته لایه ها
۷	(ج) لایه گذاری ورقه ای
۸	(د) اسپری پودر مرطوب
۸	(ه) فرو بردن در دوغاب و ریخته گری دوغابی
۹	(و) روش های دیگر
۹	۱-۲-۲-۲ لایه گذاری پودر با تغییرات پیوسته در مخلوط
۹	الف) تشکیل پودر از طریق گریز از مرکز مخلوط کردن خشک-توسط پروانه
۱۰	ب) ته نشینی توسط جاذبه
۱۱	ج) رانش توسط نیروی گریز از مرکز
۱۱	د) تلقیح توسط فشار
۱۳	ه) روش ریخته گری دوغابی در میدان مغناطیسی شیب دار
۱۶	۲-۲-۲ فرآیندهای ذوبی
۱۶	۱-۲-۲-۲ ریخته گری گریز از مرکز
۲۰	۲-۲-۲-۲ پرکردن کنترل شده قالب
۲۱	۳-۲-۲-۲ روش جدایش الکترومغناطیسی
۲۴	۲-۳ خواص مواد تابعی
۲۵	۱-۲-۳ تغییرات ریزساختار
۳۴	۲-۲-۳ تغییرات سختی
۴۴	فصل سوم : روش انجام آزمایش
۴۵	۳-۱ مواد اولیه
۴۵	۳-۲ نحوه آماده سازی چسب
۴۶	۳-۳ تولید مواد تابعی
۴۸	۳-۴ اندازه گیری چگالی

۴۹	۳-۵ تهیه نمونه های متالوگرافی
۴۹	۳-۶ سختی سنجی
۵۰	فصل چهارم : نتایج و بحث
۵۱	۴-۱ تاثیر زمان دوران
۵۱	۱-۴-۱ توزیع ذرات
۵۸	۲-۴-۱ چگالی و تخلخل
۶۰	۳-۴-۱ پروفیل های سختی
۶۲	۴-۲ تاثیر غلظت چسب
۶۲	۱-۴-۲ توزیع ذرات
۶۶	۲-۴-۲ چگالی و تخلخل
۶۷	۳-۴-۲ پروفیل سختی
۶۸	۴-۳ تاثیر درصد حجمی آلومینا در سوسپانسیون اولیه
۶۸	۱-۴-۳ توزیع ذرات
۷۲	۲-۴-۳ چگالی و تخلخل
۷۲	۳-۴-۳ پروفیل های سختی
۷۴	۴-۴ تاثیر اندازه ذرات آلومینا و آلومینیوم
۷۴	۱-۴-۴ توزیع ذرات
۷۸	۲-۴-۴ چگالی و تخلخل
۷۹	۳-۴-۴ پروفیل های سختی
۸۰	فصل پنجم : نتیجه گیری
۸۲	پیشنهادات
	منابع و مآخذ:
۱۰۴	فهرست منابع فارسی
۱۰۵	فهرست منابع لاتین
۱۰۷	چکیده انگلیسی
۱۰۹	صفحه عنوان انگلیسی
۱۱۰	اصالت نامه

فهرست جدول ها

فصل سوم

جدول ۳-۱- درصد وزنی خاکستر باقی مانده ناشی از حرارت دادن ۳ نوع چسب ۴۲

جدول ۳-۲- آنالیز ترکیبی پودر آلومینیوم ۶۰۶۱ ۴۶

جدول ۳-۳- آنالیز ترکیبی پودر آلومینا ۴۶

فصل چهارم

جدول ۴-۱- دانسیته و درصد تخلخل نمونه های تابعی دوران داده شده ۶۲

در زمان های مختلف، قبل و بعد از سینترینگ

جدول ۴-۲- دانسیته و درصد تخلخل نمونه های تابعی که با استفاده از ۶۹

چسب هایی با غلظت متفاوت تهیه شده اند، قبل و بعد از سینترینگ

جدول ۴-۳- چگالی و درصد تخلخل نمونه های تابعی که با استفاده از ۷۵

سوسپانسیون هایی با درصدهای مختلف آلومینا تهیه شده اند

جدول ۴-۴- چگالی و درصد تخلخل نمونه های تابعی با استفاده از

ذرات آلومینیوم و آلومینا با اندازه های مختلف، قبل و بعد از سینترینگ

فهرست شکل ها

فصل دوم

- شکل ۱-۲- طرح دستگاه پالایش ۱۲
- شکل ۲-۲- شیب تخلخل در نمونه تفجوشی شده سرامیکی
تولید شده بوسیله تلقیح توسط فشار ۱۲
- شکل ۳-۲- نحوه آماده سازی نمونه در روش ریخته گری دوغابی
در میدان مغناطیسی شیب دار ۱۵
- شکل ۴-۲- تصویری از نمونه تولید شده از روش ریخته گری گریز از مرکز ۱۷
- شکل ۵-۲- میزان سرعت نسبی بین ذرات ریز با چگالی زیاد و ذرات درشت با چگالی کم ۱۹
- شکل ۶-۲- فرایند ریخته گری گرانشی چندآلیاژی ۲۱
- شکل ۷-۲- اصل علمی جدایش الکترومغناطیسی ۲۲
- شکل ۸-۲- قاعده علمی فرایند تولید ماده تابعی درجا با استفاده
از روش جدایش الکترومغناطیسی ۲۳
- شکل ۹-۲- طرح کلی تجهیزات استفاده شده در فرایند تولید مواد تابعی با استفاده
از روش جدایش الکترومغناطیسی ۲۴
- شکل ۱۰-۲- تصویری از الکترونهای برگشتی SEM در موقعیت های مختلف در
FGM که در $1600^{\circ}C$ به مدت ۱ ساعت ۲۵
- شکل ۱۱-۲- سطح مقطع نمونه تفجوشی شده $ZrO_2 - 5 \text{ wt.}\%Ni$ ۲۶
- شکل ۱۲-۲- ریزساختار تابعی ماده تابعی Al-40 Si تولید شده توسط
لیزر با توان 3000 W و سرعت باریکه $26/7 \text{ mm/s}$ ۲۷
- شکل ۱۳-۲- نتایج متالوگرافی کمی شیارهای ماده تابعی
که تغییر تابعی ذرات Si را با تغییر عمق آشکار می سازد ۲۹
- شکل ۱۴-۲- تصویر نمونه ماده تابعی Al-Si هایپریوتکتیک تولید
شده به روش جدایش الکترومغناطیسی ۳۱
- شکل ۱۵-۲- ریزساختار نمونه ماده تابعی Al-Si در جای تولید شده
به روش جدایش الکترومغناطیسی ۳۱
- شکل ۱۶-۲- ریزساختارهای اطراف فصل مشترک I بین نواحی
C و B و فصل مشترک II بین نواحی C و D ۳۲
- شکل ۱۷-۲- یک چهارم سطح مقطع نمونه ماده تابعی و ریز ساختارهای مربوطه ۳۴

شکل ۲-۱۸- منحنی تغییرات در نمونه های ماده تابعی ۱ و ۲ Ce-TZP/Al₂O₃

- ۳۵ تفجوشی شده در ۱۶۰۰ °C به مدت ۱ ساعت
- ۳۶ شکل ۲-۱۹- پروفایل سختی و میزان کبالت ماده تابعی WC-Co
- ۳۷ شکل ۲-۲۰- توزیع نیکل در سطح مقطع نمونه های تفجوشی شده ZrO₂-Ni
- ۳۷ شکل ۲-۲۱- منحنی های ریزسختی در امتداد ضخامت نمونه های تفجوشی شده ZrO₂-Ni
- ۳۸ شکل ۲-۲۲- توزیع سختی ماده تابعی Al-40Si ایجاد شده توسط روکش کردن توسط لیزر تولید شده با سرعت تغذیه پودر متفاوت
- شکل ۲-۲۳- توزیع کسر حجمی فاز تقویت کننده بر روی سطح مقطع کامپوزیت زمینه آلومینیمی (AMCs)
- ۳۹ شکل ۲-۲۴- سختی سطحی اندازه گیری شده بر روی سطح مقطع کامپوزیت های زمینه آلومینیمی (AMCs)
- ۴۰ شکل ۲-۲۵- کسر حجمی ذرات بر حسب فاصله از ناحیه بالایی نمونه ماده تابعی Al-Si در جای تولید شده به روش جدایش الکترومغناطیسی
- ۴۱ فصل سوم

- شکل ۳-۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودر آلومینیوم ۶۰۶۱
- شکل ۳-۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودر آلومینا
- شکل ۳-۳- براده های پلکسی گلاس
- شکل ۳-۴- لوله آزمایش حاوی مواد اولیه و نحوه قرارگرفتن آن در دستگاه
- شکل ۳-۵- دستگاه گریز از مرکز
- شکل ۳-۶- شماتیک نحوه قرار گرفتن لوله شیشه ای در داخل پره نگهدارنده
- شکل ۳-۷- شماتیک ۴ پره متصل به محور موتور الکتریکی
- شکل ۳-۸- دستگاه پرس ۴۵ تن
- شکل ۳-۹- نواحی مختلف نمونه متالوگرافی شده

فصل چهارم

- شکل ۴-۱- تصاویر متالوگرافی نواحی مختلف از نمونه دوران داده شده در مدت زمان ۴ دقیقه
- شکل ۴-۲- تصاویر متالوگرافی نواحی مختلف از نمونه دوران داده شده در مدت زمان ۷ دقیقه
- شکل ۴-۳- تصاویر متالوگرافی نواحی مختلف از نمونه دوران داده شده در مدت زمان ۱۲ دقیقه
- شکل ۴-۴- تصاویر متالوگرافی نواحی مختلف از نمونه دوران داده شده در مدت زمان ۲۰ دقیقه
- شکل ۴-۵- تصاویر متالوگرافی نواحی مختلف از نمونه

- ۵۹ دوران داده شده در مدت زمان ۳۰ دقیقه
شکل ۴-۶- تصاویر متالوگرافی نواحی مختلف از نمونه
- ۶۰ دوران داده شده در مدت زمان ۴۰ دقیقه
شکل ۴-۷- نمودار تغییرات سختی نمونه های تابعی دوران داده شده
- ۶۳ در زمان های مختلف برحسب فاصله از سطح نزدیک به محور دوران
شکل ۴-۸- تصاویر متالوگرافی نواحی مختلف از نمونه
- ۶۶ دوران داده شده با غلظت چسب ۲۰ گرم بر لیتر
شکل ۴-۹- تصاویر متالوگرافی نواحی مختلف از نمونه
- ۶۷ دوران داده شده با غلظت چسب ۴۰ گرم بر لیتر
شکل ۴-۱۰- تصاویر متالوگرافی نواحی مختلف از نمونه
- ۶۸ دوران داده شده با غلظت چسب ۵۰ گرم بر لیتر
شکل ۴-۱۱- نمودار تغییرات سختی نمونه های تابعی که با استفاده از چسب هایی
با غلظت های متفاوت ساخته شده اند برحسب فاصله از سطح نزدیک به محور دوران
- ۷۰ شکل ۴-۱۲- تصاویر متالوگرافی از نمونه تابعی تولید شده
با ۵ درصد حجمی آلومینا در سوسپانسیون اولیه
- ۷۲ شکل ۴-۱۳- تصاویر متالوگرافی از نمونه تابعی تولید شده
با ۱۵ درصد حجمی آلومینا در سوسپانسیون اولیه
- ۷۳ شکل ۴-۱۴- تصاویر متالوگرافی از نمونه تابعی تولید شده
با ۲۰ درصد حجمی آلومینا در سوسپانسیون اولیه
- ۷۴ شکل ۴-۱۵- نمودار تغییرات سختی نمونه های تابعی که با استفاده از سوسپانسیون هایی
با درصدهای مختلف آلومینا تهیه شده اند برحسب فاصله از سطح نزدیک به محور دوران
- ۷۶ شکل ۴-۱۶- تصاویر متالوگرافی از نمونه تابعی تولید شده با ذرات آلومینا
در محدوده ۱۰۶-۱۲۵ میکرومتر و ذرات آلومینیوم در محدوده ۴۵-۶۳ میکرومتر
- ۷۹ شکل ۴-۱۷- تصاویر متالوگرافی از نمونه تابعی تولید شده با ذرات آلومینا
در محدوده ۴۵-۶۳ میکرومتر و ذرات آلومینیوم در محدوده ۱۰۶-۱۲۵ میکرومتر
- ۸۰ شکل ۴-۱۸- تصاویر متالوگرافی از نمونه تابعی تولید شده با ذرات آلومینا
در محدوده ۴۵-۶۳ میکرومتر و ذرات آلومینیوم در محدوده ۴۵-۶۳ میکرومتر
- ۸۱ شکل ۴-۱۹- نمودار تغییرات سختی نمونه های تابعی نمونه های تابعی که با استفاده از ذرات
آلومینیوم
- ۸۳ و آلومینا با اندازه های مختلف تهیه شده اند، برحسب فاصله از سطح نزدیک به محور دوران

چکیده:

کامپوزیت های تابعی موادی با ریزساختار ناهمگن می باشند که ریز ساختار و خواص آن ها به طور ملایم و پیوسته از یک سطح به سطح دیگر جسم تغییر می کند. نوع رایج آن ترکیب پیوسته ای از سرامیک و فلز می باشد. تغییر درصد حجمی فلز و سرامیک از یک سطح به سطح دیگر بصورت شیبدار می باشد، به گونه ای که بین دو سطح تشکیل دهنده قطعه، تغییر درصد حجمی این دو ماده بصورت پیوسته می باشد. تولید کامپوزیت تابعی به روش های مختلفی امکان پذیر است که یک دسته از این روش ها ریخته گری (ثقلی و یا گریز از مرکز) است. مشکل عمده استفاده از روش های ریخته گری، واکنش های مخرب بین فاز زمینه و فاز تقویت کننده به علت حضور فاز مذاب است. در تحقیق حاضر، به منظور رفع این مشکل از ماده پلیمری به عنوان سیال جهت تهیه سوسپانسیون از ذرات پودر آلومینیوم ۶۰۶۱ و آلومینابه منظور تولید کامپوزیت تابعی از روش گریز از مرکز استفاده شده است. هدف از این پژوهش، بررسی اثر زمان دوران، غلظت محلول چسب، اندازه ذرات آلومینیوم و آلومینا و درصد حجمی آلومینا بر چگونگی توزیع ذرات آلومینا در زمینه و تغییرات پروفیل سختی بوده است. بدین منظور جهت بررسی اثر زمان دوران از زمان های دوران ۴، ۷، ۱۲، ۲۰، ۳۰، و ۴۰ دقیقه، جهت بررسی اثر غلظت چسب از چسب های با غلظت ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ گرم بر لیتر، جهت بررسی اثر درصد حجمی آلومینا از پودر آلومینا با درصد حجمی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد و جهت بررسی اثر اندازه ذرات آلومینیوم و آلومینا از پودرهای آلومینیوم ۶۰۶۱ و آلومینا بترتیب در محدوده های ۴۵+ و ۶۳- و ۱۰۶+ و ۱۲۵- میکرومتر استفاده شد. برای تمامی نمونه ها سرعت دوران و طول بازوی دوران بترتیب در مقادیر ۱۷۰۰ دور بر دقیقه و ۱۰ سانتیمتر ثابت نگه داشته شد. نمونه ها پس از انجام دوران تحت عملیات چسب سوزی، پرس سرد و سینترینگ قرار گرفتند. در نهایت نمونه های استوانه ای شکل حاصل (به قطر ۲۲ و ارتفاع ۲۰ میلیمتر) از مرکز و در راستای ارتفاع برش داده شد و تحت عملیات متالوگرافی نوری و سختی سنجی قرار گرفتند. همچنین چگالی آن ها قبل و بعد از عملیات

سینترینگ با استفاده از روش ارشمیدس اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از ذرات هم اندازه آلومینا و آلومینیوم در زمانهای دوران بیش از ۷ دقیقه، نمونه های تابعی تولید می شوند. اما چنانچه اندازه ذرات آلومینا درشت تر از آلومینیوم باشد، درصد حجمی آلومینا در طول نمونه به صورت پله ای تغییر می کند و چنانچه ذرات آلومینیوم درشت و آلومینا ریز باشند، به علت تاثیر دوگانه اندازه و چگالی این دونوع ذره، توزیع نسبتا یکنواختی در نمونه ایجاد می شود. در ضمن، غلظت چسب و درصد حجمی آلومینا، تاثیر چندانی بر چگونگی توزیع ذرات در این مواد تابعی ندارند. پروفیل سختی در نمونه های تولید شده، تحت تاثیر درصد حجمی آلومینا و نیز میزان تخلخل در نواحی مختلف بوده و لذا در برخی موارد بر خلاف انتظار، پروفیل سختی شیب معینی را نشان نمی داد. در تمامی نمونه های بررسی شده در این تحقیق، درصد تخلخل در اثر عملیات سینترینگ کاهش می یافت.

فصل اول:

مقدمه

در سال های اخیر با توسعه موتورهای پر قدرت صنایع هوا فضا، توربین ها و راکتور ها و دیگر ماشین ها نیاز به موادی با مقاومت حرارتی بالاتر و مقاومتر از لحاظ مکانیکی احساس شده است. در سال های قبل، در صنایع هوافضا از مواد سرامیکی خالص جهت پوشش و روکش قطعات با درجه کارکرد بالا استفاده می شد. این مواد عایق های بسیار خوبی بودند ولی مقاومت زیادی در برابر تنش های پس ماند نداشتند. تنش های پس ماند در این مواد سبب بروز مشکلات زیادی از جمله ایجاد حفره و ترک می شدند. بعد ها برای رفع این مشکل از کامپوزیت های لایه ای استفاده شد. تنش های حرارتی در این مواد نیز موجب پدیده لایه لایه شدن می گردید. با توجه به این مشکلات استفاده از ماده ای مرکب که هم مقاومت حرارتی و مکانیکی بالا داشته و هم مشکل لایه لایه شدن را نداشته باشند، مطرح گردید. جهت رفع مشکلات مذکور جهت کاربرد مواد تحمل کننده تنش های حرارتی بالا، دانشمندان مواد تابعی (FGM) را پیشنهاد نمودند.

این مواد کامپوزیت هایی با ریزساختار ناهمگن می باشند که خواص مکانیکی آن ها به طور ملایم و پیوسته از یک سطح به سطح دیگر جسم تغییر می کند. نوع رایج آن ترکیب پیوسته ای از سرامیک و فلز می باشد. تغییر درصد حجمی فلز و سرامیک از یک سطح به سطح دیگر بصورت شیبدار می باشد، به گونه ای که بین دو سطح تشکیل دهنده قطعه، تغییر درصد حجمی این دو ماده بصورت پیوسته می باشد. خواص مکانیکی نیز با توجه به نوع ترکیب، تغییرات پیوسته ای را در راستای یک یا چند بعد از قطعه دارد. این مواد با توجه به پیوستگی ترکیب مواد تشکیل دهنده دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به کامپوزیت های لایه ای می باشند.

تولید کامپوزیت تابعی به روش های مختلفی امکان پذیر است که یکی از این روش ها ریخته گری گریز از مرکز است. از مزایای ریخته گری گریز از مرکز می توان به بالا بودن دانسیته مواد تولیدی، عاری بودن قطعه تولیدی از انواع اکسید ها و ناخالصی ها به دلیل سرعت دوران و نیز امکان تولید انواع قطعات کامپوزیت تابعی از انواع آلیاژ های فلزی اشاره کرد. یکی از معایب عمده ی این روش

واکنش های مخرب بین فاز تقویت کننده و فلز زمینه در این روش به علت حضور فاز مذاب در آن است.

در پایان نامه پیش رو سعی شده از روش گریز از مرکز این بار بدون حضور فاز مذاب و استفاده از یک ماده پلیمری به عنوان سیال جهت تهیه سوسپانسیون از ذرات پودر فلزی و سرامیکی جهت تولید کامپوزیت تابعی استفاده شود. در فصل دوم مروری بر منابع مطالعاتی مرتبط انجام شده در مورد روش های مختلف حالت جامد و حالت مذاب در تولید مواد تابعی، توضیحاتی ارائه شده و ریز ساختار و خواص این مواد نیز تشریح شده است. در فصل سوم، روش انجام تحقیق، شامل مواد اولیه استفاده شده و نیز دستگاه گریز از مرکز به کار گرفته شده در این تحقیق شرح داده شده اند. فصل چهارم به ارائه نتایج در خصوص نحوه توزیع ذرات آلومینا در مواد تابعی حاصل، تخلخل و پروفیل سختی این مواد که با استفاده از پارامترهای مختلف از قبیل تغییر زمان دوران، غلظت چسب، درصد آلومینا و اندازه ذرات به دست آمده اند، پرداخته شده و در مورد آن ها بحث شده است. فصل پنجم به نتیجه گیری کلی از این تحقیق اختصاص یافته است.