دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد

(گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی)

عنوان:

ساخت فوم آلومینیومی به روش مذاب تحت فشار وبررسی اثر اندازه و توزیع حفرات بر مقاومت مکانیکی

اساتید راهنما:

دکتر قدرت اله رودینی

دکتر داوود محبی کلهری

تحقیق و نگارش:

اسما سارانی

مهر ۱۳۹۲

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان **ساخت فوم فلزی به روش مذاب تحت فشار و بررسی خواص مکانیکی فومهایی با اندازه تخلخل متفاوت،** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد **مهندسی مواد** توسط دانشجو **اسما سارانی** با راهنمایی اساتید پایان نامه **قدرت اله رودینی و داوود محبی کلهری** تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

اسما سارانی

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ **۱۳۹۲/۰۶/۳۱** توسط هیئت داوران بررسی و درجه **عالی** به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر قدرت اله رودینی		
استاد راهنما:	دکتر داوود محبی کلهری		
داور ۱:	دکتر حسین آتشی		
داور ۲:	دکتر مهدی شفیعی آفارانی		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر محمدرضا شهرکی		

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب اسما سارانی تعهد می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: اسما سارانی

امضاء

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم ، که پرواز را به من آموختند.

و همسر عزیزم، که بالی برای پریدنم بود.

سپاسگزاری

شکر و سپاس ار آن خدایی است که همواره در تمام لحظات، حامی و پناهگاه بندگان است و بی مدد و لطف او، هیچ کاری به سرانجام نخواهد رسید.در طول زندگی ام همیشه قدردان لطف و محبت های پدر و مادرم بوده و هستم.همچنین از همسر عزیز و فداکارم احسان جان، که در تمام لحظات حامی ام بود، از صمیم قلب متشکرم.

بر خود واجب می دانم که از زحمات بی دریغ اساتید بزرگوارم، دکتر قدرت اله رودینی و دکتر داوود محبی کلهری،که با راهنمایی های دلسوزانه خود مرا در انجام این پروژه راهنمایی کردند،کمال سپاگزاری را داشته باشم.همچنین از استاد گرانقدرم، دکتر مهدی شفیعی آفارانی که همواره در طی دوران تحصیل، از نصایح ارزشمندشان بهره مند گشتم، صمیمانه تشکر می کنم. جا دارد در اینجا از کلیه ی پرسنل محترم آزمایشگاه گروه های مهندسی مواد، مکانیک وشیمی، به ویژه جناب آقای مهندس خمری و جناب آقای رضایی، بخاطر کمک های بی دریغشان کمال سپاس و قدردانی را داشته باشم.

در پایان از تمامی دوستان عزیزم که مرا در به ثمر رسیدن این پژوهش یاری کردند، صمیمانه متشکرم .

برای همه این بزرگواران ارجمند، از در گاه ایزد منان، آرزوی سلامتی و توفیق روز افزون را دارم.

چکیده

در این پژوهش فرایند تولید، ویژگیهای ریزساختاری و اثر تغییر اندازه تخلخلها بر مقاومت فشاری و مقاومت به ضربه در فوم های آلومینیومی با تخلخل باز با روش مذاب تحت فشار بررسی گردید. پودر نمک با اندازههای متفاوت(۴۵۰، ۸۵۰، ۱۴۵۰و ۲۰۰۰ میکرون) وشکل مختلف (گوشه دار و آسیاب شده) به عنوان فضاساز در داخل یک قالب فلزی فشرده و در دمای بهینه ۵۰۰ سانتیگراد پیشگرم گردیده و با مذاب فوق ذوب آلومینیوم تحت فشاری مشخص عملیات فلزخورانی انجام شد. بعد از انجماد، نمک موجود در آن به روش آلتراسونیک کاملا با آب پاکسازی شده و فوم آلومینیومی با حفرات مشخص باز تولید گردید. ریزساختار فوم تولیدی بوسیله میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی مطالعه گردید و توزیع حفرات به روش آنالیز تصویر بدست آمد. از تست فشار و تست ضربه برای بررسی مقاومت فشاری و استحکام به ضربه ی فومها استفاده شد. نتایج نشان داد که اندازه تخلخلهای فوم، شکل و توزیع حفرات تاثیر قابل ملاحظهای بر خواص آن دارد. همچنین روش فلزخورانی یکی از روشهای اقتصادی و مفید تولید فومهای آلومینیومی با اندازه تخلخل متفاوت میباشد.

واژگان کلیدی: فوم آلومینیوم ،توزیع حفرات ، مقاومت فشاری ،مقاومت به ضربه، اندازه حفرات

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ساختار پایان نامه ۳

فصل دوم: مروری بر منابع علمی **۴**

۲-۱- مقدمه ۵

۲-۲- روش های تولید مواد فلزی متخلخل(فوم های فلزی) ۷

۲-۲-۱تولید فوم فلزی از مذاب فلز ۷

۲-۲-۱-۱ فوم سازی فلزات به روش مستقیم ۷

۲-۲-۱-۲ فوم سازی فلزات به روش غیر مستقیم ۱۶

۲-۲-۲ تولید فوم فلزی از فلز جامد ۱۹

۲-۲-۲-۱ زینتریگ پودر ها و فیبر های فلزی ۱۹

۲-۲-۲-۲ روش محبوس کردن گاز ۲۰

۲-۲-۲-۳ استفاده ازپرکننده ها و فضا سازها ۲۲

۲-۳ خواص فوم های فلزی ۲۴

۲-۳-۱ قابلیت جذب انرژی ۲۴

۲-۳-۲ استحکام فشاری ۲۵

فصل سوم: مواد و روش تحقیق ۲۷

۳-۱- مواد اولیه ۲۸

۳-۲- آماده سازی پودر نمک NaCl ۲۹

۳-۳- ساخت قالب ۳۰

۳-۳ تولید کامپوزیت آلومینیوم و نمک NaCl ۳۲

۳-۳-۱ تعیین پارامترهای مؤثر بر فرآیند تولید ۳۲

۳-۳-۲ روش تولید کامپوزیت آلومینیوم و نمک ۳۳

۳-۴ آماده سازی نمونه ها ۳۶

۳-۴-۱ نمونه میکروسکوپی ۳۶

۳-۴-۲ نمونه تست فشار ۳۷

۳-۴-۳ نمونه تست ضربه ۳۷

۳-۵ شستشوی نمک از داخل کامپوزیت آلومینیوم و نمک ۳۸

۳-۶ اندازه گیری درصد تخلخل و چگالی نسبی ۴۰

۳-۷ آنالیز توزیع حفرات ۴۱

۳-۸ انجام تست ها ۴۱

۳-۶-۱ بررسی میکروسکوپی ۴۱

۳-۶-۲ تست فشار ۴۲

۳-۶-۳ تست ضربه ۴۳

فصل چهارم: نتایج و بحث **۴۴**

۴-۱ چگالی نسبی و درصد تخلخل فوم ها ۴۵

۴-۲ آنالیز توزیع حفرات ۴۸

۴-۳ تست فشار ۵۷

۴-۴ تست ضربه ۶۴

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها **۶۶**

مراجع **۶۹**

فهرست جدول ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۳-۱. ترکیب شیمیایی شمش آلومینیوم..... ۲۷

جدول ۴-۱. مقدار تغییر وزن نمونه های فوم تولید شده پس از چند مرحله شستشو ۴۵

جدول ۴-۲.مقدار چگالی نمونه های تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب نشده..... ۴۶

جدول ۴-۳.مقدار چگالی نمونه های تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده ۴۶

جدول۴-۴. درصد تخلخل نمونه های تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب نشده..... ۴۷

جدول۴-۵. درصد تخلخل نمونه های تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده..... ۴۷

جدول ۴-۶. انرژی لازم برای مقاومت به ضربه فوم های تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب نشده..... ۶۴

جدول ۴-۷. انرژی لازم برای مقاومت به ضربه فوم های تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده..... ۶۵

فهرست شکل ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱- انواع پراکندگی یک فاز در فاز دیگر..... ۶

شکل ۲-۲- انتخاب اندازه و مقدار ذرات پودر برای افزایش دانسیته مذاب ۹

شکل ۲-۳- تصویر شماتیک تولید فوم آلومینیومی با استفاده از روش تزریق گاز به داخل مذاب..... ۱۰

شکل ۲-۴- فوم سازی مستقیم از مذاب با استفاده از عامل فوم ساز..... ۱۱

شکل ۲-۵- اثر مدت زمان هم زدن بر ویسکوزیته مذاب بعد ازاضافه کردن فلز کلسیم..... ۱۲

شکل ۲-۶- ساختار حفرات فوم آلومینیوم تولید شده با افزودن TiH_2 به مذاب..... ۱۳

شکل ۲-۷- فرآیند تولید فوم آلومینیومی،با استفاده از گاز تولید شده با ذرات حل شده در مذاب..... ۱۵

شکل ۲-۸- فرآیند تولید فوم با حفرات باز به روش ریخته گری با استفاده از پیش فرم پلیمری..... ۱۶

شکل ۲-۹- قطعات تولید شده به روش ریخته گری دقیق..... ۱۷

شکل ۲-۱۰- تزریق مذاب فلز به داخل مواد فشرده شده(قابل شستشو)..... ۱۸

شکل ۲-۱۱- برنز متخلخل تولید شده با فرآیند زینترینگ..... ۲۰

شکل ۲-۱۲- روش محبوس کردن گاز..... ۲۱

شکل۲-۱۳- ریز ساختار قطعه Ti_6Al_4V تولید شده به روش محبوس کردن گاز..... ۲۲

شکل ۲-۱۴- فرآیند تولید فلزات متخلخل با استفاده از مواد فضا ساز و فیلرها..... ۲۳

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱۵- ساختار تیتانیوم متخلخل تولید شده با استفاده ازفیلرهای متفاوت..... ۲۴

شکل۲- ۱۶- مقایسه انرژی جذب شده به وسیله فوم متخلخل و جامد چگال (توپر)..... ۲۵

شکل ۲-۱۷- رفتار فشاری سه نمونه از فوم های AlSi با دانسیته های متفاوت..... ۲۶

شکل ۳-۱- پودر نمک مورد استفاده برای پیش فرم..... ۲۸

شکل ۳-۲- قطعاتی از شمش آلومینیوم خالص مورد استفاده برای مذاب ریزی..... ۲۹

شکل ۳-۳- تصویر آسیاب سیاره ای..... ۳۰

شکل ۳-۴- شمش های استوانه ای فولادی مورد استفاده برای ساخت قالب..... ۳۱

شکل ۳-۵- قالب مورد استفاده برای تولید کامپوزیت آلومینیوم و نمک NaCl..... ۳۲

شکل۳-۶- تصویر شماتیک فرایند فلز خورانی..... ۳۴

شکل ۳-۷- تصویر قالب قرار گرفته تحت فشار، بعد از مذاب ریزی..... ۳۵

شکل ۳-۸- تصویرنمونه تولید شده فوم آلومینیوم و آلومینیوم خالص ۳۶

شکل ۳-۹- نمونه آماده شده برای بررسی های میکروسکوپی..... ۳۶

شکل۳-۱۰- نمونه آماده شده برای تست فشار قبل از شستشوی نمک..... ۳۷

شکل۳-۱۱- نمونه های آماده شده برای تست ضربه..... ۳۸

شکل ۳-۱۲- نمونه های قرارگرفته در آب مقطر برای انحلال نمک موجود در آن..... ۳۹

شکل ۳-۱۳-تصویر دستگاه آلتراسونیک..... ۳۹

شکل ۳-۱۴- تصویر فوم تولید شده پس از شستشوی کامل نمک..... ۴۰

عنوان شکل **صفحه**

شکل۳-۱۵- تصویر نمونه فوم قرار گرفته زیر فک دستگاه تست فشار..... ۴۲

شکل۳-۱۶- تصویر نمونه قرار گرفته در دستگاه تست ضربه..... ۴۳

شکل ۴-۱- تصویر میکروسکوپ نوری از سطح کامپوزیت آلومینیوم و نمک NaCl..... ۴۹

شکل ۴-۲- تصویر میکروسکوپ نوری از سطح نمونه فوم کاملا شسته شده از نمک..... ۵۰

شکل ۴-۳- تصویر ماکروسکوپی از سطح نمونه های تولید شده..... ۵۱

شکل ۴-۴- تصویر میکروسکوپ (SEM) از ساختار فوم تولید شده..... ۵۱

شکل ۴-۵- توزیع حفرات فوم های تولید شده باپیش فرم نمک آسیاب نشده بااندازه۴۵۰ میکرون ۵۲

شکل ۴-۶- توزیع حفرات فوم های تولید شده باپیش فرم نمک آسیاب نشده بااندازه۸۵۰ میکرون ۵۳

شکل ۴-۷- توزیع حفرات فوم های تولید شده باپیش فرم نمک آسیاب نشده بااندازه۱۴۵۰میکرون ۵۳

شکل ۴-۸- توزیع حفرات فوم های تولید شده باپیش فرم نمک آسیاب نشده بااندازه۲۰۰۰ میکرون ۵۴

شکل ۴-۹- توزیع حفرات فوم های تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده با اندازه۴۵۰میکرون ۵۴

شکل ۴-۱۰- توزیع حفرات فوم های تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده با اندازه۸۵۰میکرون ۵۵

شکل ۴-۱۱- توزیع حفرات فوم های تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده با اندازه۱۴۵۰میکرون ۵۵

شکل ۴-۱۲- توزیع حفرات فوم های تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده با اندازه۲۰۰۰میکرون ۵۶

شکل۴-۱۳- منحنی تنش – کرنش برای نمونه های آلومینیوم خالص ریخته گری شده..... ۵۷

شکل۴-۱۴- منحنی تنش–کرنش نمونه های فوم تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب نشده، با اندازه ۴۵۰ میکرون..... ۵۸

عنوان شکل **صفحه**

شکل۴-۱۵- منحنی تنش –کرنش نمونه های فوم تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب نشده، با اندازه۵۰ میکرون..... ۵۸

شکل۴-۱۶- منحنی تنش–کرنش نمونه های فوم تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب نشده، با اندازه ۱۴۵۰ میکرون..... ۵۹

شکل۴-۱۷- منحنی تنش–کرنش نمونه های فوم تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب نشده، با اندازه ۲۰۰۰ میکرون..... ۵۹

شکل۴-۱۸- منحنی تنش–کرنش نمونه های فوم تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده،با اندازه ۴۵۰میکرون..... ۶۰

شکل۴-۱۹- منحنی تنش –کرنش نمونه های فوم تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده، با اندازه ۸۵۰میکرون..... ۶۰

شکل۴-۲۰- منحنی تنش –کرنش نمونه های فوم تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده، با اندازه ۱۴۵۰میکرون..... ۶۱

شکل۴-۲۱- منحنی تنش –کرنش نمونه های فوم تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده، با اندازه ۲۰۰۰میکرون..... ۶۱

شکل ۴-۲۲- منحنی تنش-کرنش نمونه های فوم تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب نشده(تمام سایزها)..... ۶۲

شکل ۴-۲۳- منحنی تنش- کرنش نمونه های فوم تولید شده با پیش فرم نمک آسیاب شده(تمام سایزها)..... ۶۳

فهرست علائم

نشانه	علامت
چگالی	ρ (gr/cm ^{3})
جرم	m (gr)
حجم	V (cm ^{3})
ارتفاع	H(cm)
قطر	D(cm)
میزان تخلخل	P (%)
تنش	σ(MPa)
کرنش	ε(%)

فصل اول

مقدمه

۱ ۱ - مقدمه

مواد متخلخل دارای میزان بالایی از تخلخل ، خواص فیزیکی و مکانیکی خاصی دارند که برای برخی از کاربردها در زمینه هایی مانند جذب انرژی، عایق حرارتی، جذب صوت و سازه های سبک و غیره مناسب هستنند. مواد متخلخل از مواد مختلف پلیمری ، سرامیکی و فلزی بطور مصنوعی ساخته می شوند و یا بطور طبیعی (چوب و استخوان) وجود دارند. این گروه از مواد متخلخل فلزی که فوم های فلزی نامیده می شوند با توجه به ویژگیهای مقاومت دردمای بالا ،هدایت الکتریکی و حرارتی و همچنین داکتیل بودن آنها کاربردهای جدید وگوناکونی در صنایع مختلف د ارند[۱ و ۲].

روشهای مختلفی برای تولید فوم های فلزی وجود دارد که بر اساس چگونگی تشکیل تخلخل و یا حالت فلز (جامد، مذاب و بخار) طبقه بندی می شوند. در حالت جامد از روش زینتر کردن پودر جامد استفاده می شود، که فوم های با حفرات باز و یا بسته قابل تولید هستند [۱و۳و۴]. ساخت فوم های فلزی با استفاده از روشهای مذاب ،به دو گروه عمده و مجزا تقسیم بندی می شوند : روشهای استفاده از یک الگوی جامد که حفرات نهایی در فوم را در فلز پس از انجماد نگه می دارد و ایجاد حفرات با استفاده از مواد حباب ساز در مذاب که پس از انجماد در داخل فلز باقی می مانند. روشهای فلز خورانی یکی از روشهای مهم برای تولید فوم کنترل شده است[۸-۵].

روش فلز خورانی پیش فرم پودر نمک برای تولید فوم های آلومینیوم و آلیاژهای آن به علت حلالیت در آب ، فراوانی ، ارزان بودن و غیر سمی بودن یکی از روشهای مهم برای تولید این نوع فوم ها است[۱۱-۹].

هدف از انجام این تحقیق، مطالعه چگونگی تغییر خواص فوم فلزی با توجه به تغییر اندازه حفرات موجود در آن می باشد.

۱ ۲ - ساختار پایان نامه

این پایان نامه شامل پنج فصل است:

در فصل اول، مقدمه ای کوتاه درباره فوم های فلزی و خواص آنها، روش تحقیق و هدف انجام این پژوهش بیان شده است.

در فصل دوم، به انواع روش های تولید فوم های فلزی، ویژگی های هر روش، کاربرد ها و در نهایت خواص این فوم ها پرداخته شده است.

در فصل سوم، فعالیت های آزمایشگاهی، مواد اولیه مورد استفاده، چگونگی فرآیند تولید و انجام تست های مورد نیاز ارائه گردیده است.

در فصل چهارم، نتایج بدست آمده از تست های انجام شده، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

و در نهایت در فصل پنجم، نتیجه گیری از این پژوهش و پیشنهادهایی برای ادامه تحقیقات و مطالعات مرتبط با این پروژه، ارائه شده است.

فصل دوم

مروری بر منابع علمی

۲-۱- مقدمه

در سالهای اخیر گروه جدیدی از فلزات سلولی و مواد متخلخل با خواص منحصر بفردی مانند چگالی پایین ، استحکام به وزن بالا، سطح ویژه زیاد، عایق مناسب حرارتی و صوتی و جذب انرژی بسیار خوب، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است.این مواد که به آنها فوم فلزی گفته می شود امروزه کاربردهای بسیاری دارند که به علت وزن ساختاری سبک و قابلیت بالای جذب انرژی می باشد. از موارد استفاده آنها می توان بطور عمده در بخش های مختلف صنعتی و تحقیقاتی مانند: خودرو سازی ، هوافضا ، پزشکی و انواع فیلتر ها و ضربه گیرها اشاره کرد .[۱و۲و۱۲]

فوم های فلزی موادی با ساختار نسبتا ناشناخته هستند،البته برنامه های کاربردی که در آن تحقیق روی مواد بسیار سبک وزن همراه با سختی بالا و هزینه اقتصادی قابل قبول برای تولید، وجود دارد. عملکرد فومهای فلزی به ویژه آنهایی که از آلومینیوم ساخته شده، در نمونه های مختلف مانند پانل، قطعات پیچیده سه بعدی از جنس فوم،پروفیل های توخالی و همچنین ریخته گری هایی با هسته فومی و غیره بوده ،مورد بحث و از اهداف برجسته و مهم در آینده به شمار می روند. [۱۳و ۱۴]

ساخت فوم های فلزی روش های متفاوتی دارد. نخستین بار سوسنیک [1] با ترکیب کردن عناصری که دمای ذوب و جوش بسیار متفاوتی نسبت به هم داشتند ماده ای مرکب ساخت و سپس با حرارت دادن آن ترکیب، عنصری که دمای ذوب کمتری داشت تا زمان رسیدن به دمای ذوب عنصر دیگر، تبخیر شد و به این ترتیب به جای آن حفره بوجود آمد و جسم متخلخل تولید شد. از جمله این عناصر، ترکیب آلومینیوم و جیوه است.[۱۵]

مواد متخلخل می تواند از جنس های متفاوت پلیمیری، سرامیکی و فلزی تولید شود که هر کدام مزایا و معایب خاصی دارد و برای کاربرد های متفاوتی استفاده می شوند[۱و۲]. مزیت فوم های فلزی نسبت به فوم های سرامیکی ،قابلیت شکل پذیری و انتقال حرارت بوده و نسبت به فوم های پلیمری، استحکام زیاد، قابلیت تحمل دمای بیشتر به دلیل بالاتر بودن دمای ذوب و جوش و نیز مقاومت در برابر محیط های حاوی برخی محلول های آلی می باشد[۱۶].

[1] sosnick