



۳۱۰۰۹

مرکز مطالعات و تحقیقات علمی ایران
تعمیرات بزرگ

۱۳۲۹ / ۱۲ / ۲۰



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته
مهندسی مواد - سرامیک

**بررسی و ساخت کامپوزیت مس - گرافیت
مورد مصرف در موتورهای الکتریکی**

تهیه کننده:

۹۵۶۸ -

محمد رضا نصرآبادی

استاد راهنما:

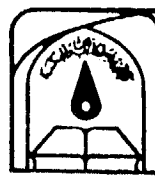
دکتر رسول صراف مأموری

استاد مشاور:

دکتر احسان طاهری نساچ

بهار ۱۳۲۹

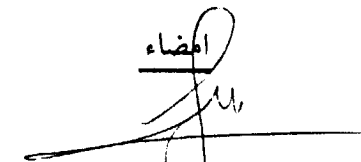
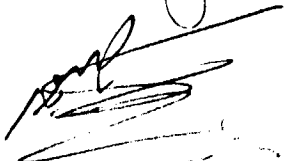
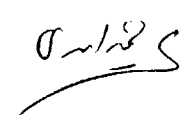
۳۱۵۵۹



دانشگاه تربیت مدرس

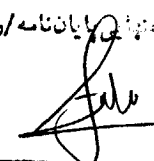
تاییدیه هیات داوران

آقای محمدرضا نصرآبادی پایان نامه ۱۰ واحدی خود را با عنوان بررسی و ساخت کامپوزیت مس - گرافیت مورد مصرف در موتورهای الکتریکی در تاریخ ۷۹/۳/۴ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد باگرایش سرامیک پیشنهاد می کنند. ۲۷

امضاء




نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
آقای دکتر صراف	۱- استاد راهنما:
آقای دکتر طاهری	۲- استاد مشاور:
آقای دکتر صبور روح اقدم	۳- استادان مستحق:
آقای دکتر نوعانی	
آقای دکتر اسدی	۴- مدیر گروه:

(با نمایندگی گروه تخصصی)

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تأیید است.
اعضای استاد راهنما:




شماره:

تاریخ:

پیوست:

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس مبین بخشی از فعالیت های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به مرکز نشر دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:
کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته مواضع و مسائل است که در سال ۷۶-۱۳۷۸ در دانشکده حیاتی و پزشکی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار مجتهد / جناب آقای دکتر رسول مرتضی، مشاوره سرکار مجتهد / جناب آقای دکتر مجتهد از آن دفاع شده است.

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های نشریات دانشگاه تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به مرکز نشر دانشگاه اهدا کند دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵ دانشجوی تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده بری فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب محمد رضا نصرانی دانشجوی رشته سورس - سراسری مقطع دانشگاه تربیت مدرس تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

تقدیم به رهپویان پاک الهی و آنان
که قدم بر عرصه‌های ناب فرهنگ و
دانش نهادند و چراغ هدایت و راستی
را بر افروختند.

بیتالی

سپاس و ستایش خداوندی را که توفیق عنایت فرمود تا از
محضر اساتید بزرگوار و جلیل القدر به خصوص استاد
راهنما آقای دکتر صراف مأموری و استاد مشاور آقای
دکتر احسان طاهری نساج کسب فیض بنمایم. همچنین از
همکاری دیگر اساتید و مسئول محترم آزمایشگاه آقای
مهندس میردامادی و همکاران و دوستان گرامی چون
مهندس اسدی و مهندس کیانی تشکر می‌نمایم.

امید است دانشگاه بتواند سالیان سال از وجود پر
برکت این اساتید و محققان فرزانه بهره‌های شایانی ببرد.

انشاء...

چکیده

جاروبکها از نظر کاربرد و ترکیب ساخت استفاده وسیعی را در صنعت دارند. اساساً هدف از ساخت چنین قطعاتی بهره‌گیری از آنها در انتقال جریان الکتریکی از یک قسمت ثابت به قسمت متحرک می‌باشد. ساخت جاروبکها از ابتدائی‌ترین شکل خود یعنی کار گذاشتن توریهای مسی در داخل کربن و گرافیت شروع شده و به ساخت آنها با تکنولوژی متالورژی پودر منتهی شده است. ترکیب و فرآیند ساخت این قطعات تعیین‌کننده خواص کاربردی آن مانند ولتاژ، جریان، سرعت سطحی و... می‌باشد.

بر اساس طبقه‌بندی‌های حاصل از مطالعات تئوریک جاروبکهای فلز - گرافیت با دو ترکیب $65\text{Cu}-25\text{G}$ و $75\text{Cu}-25\text{G}$ انتخاب گردید. ابتدا مواد اولیه شامل مس، گرافیت، افزودنیها تهیه و مورد تجزیه و تحلیل با SEM و EDX قرار گرفت. علاوه بر آن آزمایشات جهت تعیین توزیع دانه‌بندی، رطوبت و خاکستر نیز صورت گرفت سپس پارامترهای مربوط به فرآیند ساخت جاروبکها در مراحل ترکیب بندی، شکل دهی و زینترینگ مورد تجزیه و تحلیل علمی و عملی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از فعالیتهای تجربی در انتخاب مواد اولیه می‌توان از پودرهای مس با شکل ذرات دندریتی با اندازه ذرات کمتر از 150 میکرون بهره جست. پودر گرافیت برگهای با برگهای محدوده دانه‌بندی قابل مقایسه با پودر مس مناسب می‌باشد. همچنین پودر میکروسیلیس باید دارای دانه‌بندی ریزتر از دو نوع پودر گرافیت و مس باشد.

فشار بهینه شکل دهی به وسیله پرس 2500 kg/cm^2 می‌باشد و مناسبترین شرایط زینترینگ در دمای 900 درجه سانتیگراد با زمان یک ساعت و شرایط اتمسفر هیدروژنی حاصل گشت.

اعداد حاصل از آزمایشات مکانیکی و الکتریکی مقادیر استحکام و مقاومت الکتریکی قابل قبولی را در مقایسه با مقادیر حاصله از منابع مطالعاتی نشان می‌دهد. حصول ریز ساختار مناسب نیز از جمله نتایج مطلوب روند تحقیقاتی تجربی این فعالیت بوده است.

کلید واژه‌ها: جاروبک، مس، گرافیت، کربن، اتصالات لغزان

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
فصل اول - مقدمه	
۲	۱- مقدمه.....
فصل دوم - مروری بر منابع مطالعاتی	
۶	۲- کلیات.....
۹	۲-۱- کربن و گرافیت.....
۱۴	۲-۱-۱- خواص مفید مورد استفاده در صنعت تولیدات کربنی.....
۱۶	۲-۱-۲- خواص فیزیکی.....
۱۹	۲-۱-۳- خواص حرارتی.....
۲۳	۲-۱-۴- خواص تشعشع و نشر.....
۲۴	۲-۲- پودر مس.....
۲۸	۲-۳- تقسیم‌بندی جاروبکها.....
۲۸	۲-۳-۱- جاروبکهای کربن-گرافیت.....
۲۹	۲-۳-۲- جاروبکهای الکتروگرافیت.....
۳۰	۲-۳-۳- جاروبکهای گرافیتی.....
۳۱	۲-۳-۴- جاروبکهای فلز-گرافیت.....
۳۶	۲-۴- روشها و فرآیند ساخت جاروبکهای فلز-گرافیت.....
۳۹	۲-۵- بررسی خواص جاروبکهای فلز-گرافیت.....
۳۹	۲-۵-۱- خواص مربوط به هدایت بار جریانی.....
۴۱	۲-۵-۲- خواص مربوط به اتصال لغزان.....
۴۲	۲-۵-۳- خواص مربوط به انتقال (کموتاسیون).....
۴۴	۲-۶- انتخاب نوع جاروبک.....

صفحه	عنوان
------	-------

۴۷	۲-۷- اتصال جاروبک
۴۹	۲-۸- کاربرد جاروبکهای گرافیت - فلز

فصل سوم - مراحل و فعالیتهای تجربی

۵۳	۳-۱- مواد اولیه
۶۲	۳-۲- تجهیزات
۶۶	۳-۳- روش کار

فصل چهارم - نتایج و بحث

۷۱	۴-۱- مواد اولیه و فرآیند ساخت
۷۵	۴-۲- بررسی عوامل مؤثر در شکل دهی جاروبکها
۷۷	۴-۳- بررسی عوامل مؤثر در زینترینگ
۷۹	۴-۴- بررسی ریز ساختار
۹۱	۴-۵- بررسی خواص مکانیکی
۹۳	۴-۶- بررسی خواص الکتریکی جاروبکهای مس - گرافیت

فصل پنجم - نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادات

فصل ششم - منابع و مراجع

۱۰۱

فصل هفتم - ضمایم

فهرست جداول

- جدول ۱-۲- خواص کربن و گرافیت در دمای محیط
- جدول ۲-۲- تغییرات خواص کربن و گرافیت با درجه حرارت
- جدول ۲-۳- کاربرد تولیدات کربنی و خواص مرتبط با آنها
- جدول ۲-۴- ضریب اصطکاک کربن و گرافیت
- جدول ۲-۵- مقایسه مقاومت به شوک حرارتی در مواد گوناگون
- جدول ۲-۶- خصوصیات پودر مس تجارتي
- جدول ۲-۷- تقسیم بندی کلی جاروبکها فلز- گرافیت
- جدول ۲-۸- مشخصه های انواع جاروبکهای فلز- گرافیت
- جدول ۲-۹- مقاومت الکتریکی جاروبکها با مواد کربنی مختلف
- جدول ۲-۱۰- پارامترهای موثر بر لغزش جاروبکها
- جدول ۲-۱۱- راهنمای انتخاب جاروبکها
- جدول ۲-۱۲- پارامترهای استاندارد کابلهای ارتباطی جاروبکها
- جدول ۳-۱- میزان خاکستر و رطوبت موجود در پودر گرافیت مصرفی
- جدول ۳-۲- دانه بندی پودر های گرافیت مورد استفاده
- جدول ۴-۱- جاروبکهای مورد مورد نظر در این تحقیق
- جدول ۴-۲- نتایج آزمایشگاهی جاروبکهای مس گرافیت
- جدول ۴-۳- نتایج آزمایشگاهی مرتبط با خواص مکانیکی
- جدول ۴-۴- مقاومت ویژه و پارامترهای مرتبط با آن در جاروبکهای مس- گرافیت

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- تصویر نمونه ساخته شده گرافیت- مس به روش متالورژی پودر
- شکل ۲-۲- هدایت حرارتی گرافیت پلی کریستال
- شکل ۲-۳- هدایت حرارتی کربن و گرافیت
- شکل ۲-۴- مورفولوژی و دانه بندی پودر مس الکترولیتی
- شکل ۲-۵- مورفولوژی و دانه بندی پودر مس احیا شده
- شکل ۲-۶- مورفولوژی و دانه بندی پودر مس اتمیزه گازی
- شکل ۲-۷- مورفولوژی و دانه بندی پودر مس اتمیزه آبی
- شکل ۲-۸- مورفولوژی و دانه بندی پودر مس هیدرو متالورژی
- شکل ۲-۹- ریز ساختار جاروبکهای مس - گرافیت
- شکل ۲-۱۰- تغییرات دانسیته بر حسب درصد وزنی مس در جاروبکهای مس-
گرافیت
- شکل ۲-۱۱- تغییرات مقاومت بر حسب درصد وزنی مس در جاروبکهای مس-
گرافیت
- شکل ۲-۱۲- تغییرات ولتاژ کاربردی بر حسب درصد وزنی مس در جاروبکهای
مس- گرافیت
- شکل ۲-۱۳- فرایند ساخت جاروبکهای فلز- گرافیت
- شکل ۲-۱۴- تاثیر درصد وزنی پودر مس بر قابلیت عبور جریان جاروبکهای
مس- گرافیت
- شکل ۲-۱۵- نحوه اتصال جاروبکها
- شکل ۳-۱- نمودار توزیع دانه بندی پودر گرافیت نوع B
- شکل ۳-۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی پودر گرافیت نوع B
- شکل ۳-۳- نمودار توزیع دانه بندی پودر گرافیت نوع A

فهرست اشکال

- شکل ۳-۴ - تصویر میکروسکوپ الکترونی پودر گرافیت نوع A
- شکل ۳-۵ - تصویر میکروسکوپ الکترونی پودر مس
- شکل ۳-۶ - نمودار توزیع دانه بندی پودر مس
- شکل ۳-۷ - نمودار EDX پودر مس
- شکل ۳-۸ - نمودار توزیع اندازه ذرات پودر میکروسیلیس
- شکل ۳-۹ - تصویر میکروسکوپ الکترونی پودر میکروسیلیس
- شکل ۳-۱۰ - طیف EDX ناحیه ای از تصویر میکروسکوپی شکل (۳-۹)
- شکل ۳-۱۱ - نقشه قالب نمونه و مراحل انجام عمل پرس کردن
- شکل ۳-۱۲ - تصویر پرس یک طرفه هیدرولیک ۳۰ تنی
- شکل ۳-۱۳ - تصویر کوره لوله ای با اتمسفر کنترل شده
- شکل ۳-۱۴ - نقشه محفظه اضافی کوره
- شکل ۳-۱۵ - مدار تست مقاومت
- شکل ۳-۱۶ - روند تحقیق و بررسی ساخت جاروبکهای مس - گرافیت
- شکل ۴-۱ - تصویر SEM نمونه جاروبک خارجی با درصد ترکیب 35G Cu - 65%
- شکل ۴-۲ - دانه بندی پودر مس، گرافیت و افزودنی ها در مقایسه با هم
- شکل ۴-۳ - دانسیته خام جاروبکهای مس - گرافیت بر حسب فشار پرس
- شکل ۴-۴ - اثر دما بر افزایش استحکام فشاری جاروبکهای مس - گرافیت
- شکل ۴-۵ - ریز ساختار جاروبک مس - گرافیت با درصد ترکیبی Cu - 65% graphite A
- شکل ۴-۶ - طیف EDX ناحیه ای از تصویر میکروسکوپی شکل (۴-۵)
- شکل ۴-۷ - ریز ساختار جاروبک مس - گرافیت با درصد ترکیبی Cu - 65% graphite B
- شکل ۴-۸ - طیف EDX ناحیه ای از تصویر میکروسکوپی شکل (۴-۷)

فهرست اشکال

- شکل ۹-۴- ریز ساختار جاروبک مس - گرافیت با درصد ترکیبی - Cu 65 %
graphite B-% 6 SiO₂
- شکل ۱۰-۴- ریز ساختار جاروبک مس - گرافیت با درصد ترکیبی - Cu 75 % -
graphite B
- شکل ۱۱-۴- طیف EDX ناحیه ای از تصویر میکروسکوپی شکل (۱۰-۴)
- شکل ۱۲-۴- ریز ساختار جاروبک مس - گرافیت با درصد ترکیبی - Cu 75 %
graphite B-% 6 SiO₂
- شکل ۱۳-۴- آنالیز EDX ذره میکروسیلیس در زمینه تصویر (۹-۴)
- شکل ۱۴-۴- ریز ساختار جاروبک مس - گرافیت با درصد ترکیبی - Cu 75 %
graphite B-% 6 SiO₂
- شکل ۱۵-۴- ریز ساختار جاروبک مس - گرافیت با درصد ترکیبی - Cu 75 %
graphite B-% 6 SiO₂
- شکل ۱۶-۴- ریز ساختار جاروبک مس - گرافیت با درصد ترکیبی - Cu 75 %
graphite B-% 6 SiO₂
- شکل ۱۷-۴- استحکام فشاری بر حسب درصد تخلخل ظاهری جاروبکهای مس -
گرافیت
- شکل ۱۸-۴- مقاومت ویژه جاروبکهای ۶۵٪ مس - گرافیت با ترکیبهای مختلف
- شکل ۱۹-۴- مقاومت ویژه جاروبکهای ۷۵٪ مس - گرافیت با ترکیبهای گوناگون

فصل اول:

مقدمه

۱- مقدمه

بر طبق تعریف، جاروبکهای فلز - گرافیت به قطعاتی گویند که اجزاء انتقال دهنده جریان الکتریکی بین اجزاء ثابت و چرخنده در موتورها و ژنراتورها می باشند. با توجه به اهمیت کارکرد موتورها و ژنراتورها و گستردگی کاربرد این وسایل در صنایع گوناگون جایگاه جاروبکهای فلز - گرافیت بیشتر نمایان می شود.

جاروبکها انواع گوناگونی دارند که در صنایع مختلف جهت کاربردهای متنوع استفاده می شوند. به طور کلی جاروبکها در سه گروه کلی تقسیم بندی می شوند.

الف - جاروبکهای الکتروگرافیت

ب - جاروبکهای گرافیتی

ج - جاروبکهای فلز - گرافیت

جاروبکهای فلز - گرافیت حوزه مورد بحث این پروژه نیز خود به چندین گروه منشعب می گردد که مهمترین آنها دو نوع مس - گرافیت و نقره - گرافیت می باشد. علاوه بر آن جاروبکهای مس - گرافیت با توجه به درصدهای مختلف مس در داخل جاروبک به پنج گروه مختلف تقسیم بندی می شوند.

این پنج گروه شامل درصدهای ۲۱، ۲۵، ۵۰، ۶۵ و ۷۵ درصد مس می باشند و با توجه به شرایط کاربردی هر یک از آنها مورد استفاده قرار می گیرند. دانسیته جریان این