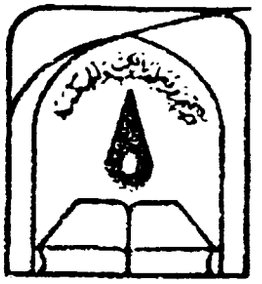
۲۱۲۲
۵۵۰۱۰۵

۳۷۱۱۵

۱۳۸۰ /۸/ ۱۱



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد (سرامیک)

بررسی و ساخت دریچه‌های کشویی آلومینا ـ کربنی

دانشجو

محمدرضا برادران سید

014702

استاد راهنما

دکتر احسان طاهری نساج

۳۷۸۸۵

استاد مشاور

دکتر علیرضا صبور روح اقدم

خرداد ماه ۱۳۸۰

۳۷۸۸۵

دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای **محمدرضا برادران سید** پایان‌نامه ۱۰ واحدی خود را با عنوان **بررسی و ساخت دریچه‌های کشویی آلومینا ـ کربنی** در تاریخ ۸۰/۳/۳۰ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی **مواد** با گرایش **سرامیک** پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱ـ استاد راهنما :	آقای دکتر طاهری‌نساج	
۲ـ استاد مشاور :	آقای دکتر صبور روح‌اقدم	
۳ـ استادان ممتحن :	آقای دکتر صراف	
	آقای دکتر هادیان	
۴ـ مدیر گروه :	آقای دکتر اسدی	
(یا نمایندهٔ گروه تخصصی)		

۸۰-۳-۳۰

[illegible] نهایی پایان‌نامه/رساله مورد تایید است

امضای استاد راهنما:

بسمه‌تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رساله دکتری نگارنده در رشتهٔ مهندسی مواد است که در سال ۱۳۸۰ در دانشکدهٔ فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر طاهر [illegible]، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر [illegible] و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهداکند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب محمدرضا برادران استید دانشجوی رشته مهندسی مواد مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: محمدرضا برادران استید

تاریخ و امضا: ۸۰/۵/۱۷

تقدیم به؛

قلب پاک **مادرم**،

و

روح مهربان **پدرم**،

برای همهٔ محبتها، راهنمایی ها

و تشویقهایشان

با ژرفترین سپاسها:

از استاد ارجمند و فرزانه ام جناب آقای دکتر طاهری نساج، به خاطر تمام راهنمایی ها و کمکهای فکری و روحی در مراحل انجام پروژه

از مسئولین کارخانهٔ دیرگداز اراک برای کمکهای بی دریغشان در تمام مراحل انجام کار

از اساتید محترم، آقای دکتر صراف و آقای دکتر نعمتی که در طول تحصیل از دانش فراوانشان بهره بردم.

از برادر عزیزم حمیدرضا که یاری او مرا در انجام این پروژه موفق گردانید.

با حق شناسی و سپاسگذاری فراوان

چکیده فارسی

سیستم دریچه کشویی از یک نازل فوقانی، آجرهای صفحه ای شکل و یک نازل تحتانی تشکیل شده است. ازآنجا که آجرهای صفحه ای شکل، مستقیماً کنترل جریان مذاب فولاد را به عهده دارند، باید به عنوان یک قطعه نسوز و همچنین یک قطعه مکانیکی، خواصی عالی داشته باشند.

صفحات آلومینا ـ کربنی با اتصال کربنی به خاطر مقاومت بالا نسبت به پوسته ای شدن و خوردگی شیمیایی، بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند.

در این تحقیق یک نمونه از این نسوزها با درصد کم کربن (۵ درصد وزنی) با استفاده از مواد اولیه ای شامل آلومینای تبولار، رزین فنولیک (نووالاک)، گرافیت و افزودنیهای پودر آلومینیوم و پودر بسیار نرم آلومینا ساخته شد.

تأثیر این افزودنیها با مقادیر متغیر بر روی خواص نسوز از قبیل ریزساختار، استحکام فشاری سرد، درصد تخلخل ظاهری، دانسیتهٔ کلی، مقاومت به اکسیداسیون و هیدراتاسیون آزمایش شد.

نتایج حاصله نشان دادند که کاربرد ۲ الی ٦ درصد وزنی پودر فلزی آلومینیوم به همراه ۱۵ درصد وزنی پودر آلومینای بسیار نرم اثرات مثبتی بر روی افزایش استحکام فشاری سرد و مقاومت به اکسیداسیون دارد، بنابراین تخریب سطح لغزشی کاسته می شود.

کلید واژه ها:

نسوز ـ صفحات دریچه کشویی ـ نسوزهای آلومینا ـ کربنی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول ـ مقدمه	
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- تعریف مواد نسوز	۲
۱-۳- تاریخچهٔ صنعت نسوز	٤
۱-٤- اهمیت کاربرد مواد نسوز در صنایع	٤
فصل دوم ـ بررسی منابع مطالعاتی	
۲-۱- وسایل کنترل جریان مذاب در ریخته گری فولاد	۹
۲-۱-۱- میله های استوپر	۹
۲-۱-۲- نازلهای انطباقی (شیپورهای چرخشی)	۱٤
۲-۱-۳- دریچه های کشویی	۱٥
۲-۱-۳-۱- تعریف نازلها (شیرهای) دریچه کشویی	۱٦
۲-۱-۳-۲- تاریخچه	۱۷
۲-۲- مزایا و معایب سیستم دریچه کشویی نسبت به استوپرها	۲۰
۲-۳- انواع سیستم های دریچه کشویی	۲۱
۲-٤- عوامل مؤثر بر تخریب صفحات نسوز دریچه کشویی	۲٥
۲-٤-۱- عوامل ایجاد شوک حرارتی و تنش های ترمومکانیکی	۲٦
۲-٤-۲- علل خوردگی مکانیکی (Erosion)	۲٦
۲-٤-۳- علل خوردگی شیمیایی (Corrosion)	۲٦
۲-٥- عوامل مؤثر در انتخاب مواد نسوز مصرفی جهت ساخت صفحات دریچه کشویی	۲٦
۲-٦- انواع نسوزهای مصرفی به عنوان صفحات دریچه کشویی	۳۰
۲-۷- صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینایی و منیزیتی	۳۱
۲-۷-۱- صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینا بالا با پیوند سرامیکی	۳٤
۲-۷-۲- صفحات نسوز دریچه کشویی منیزیایی با پیوند سرامیکی	۳٦

عنوان	صفحه
۲-۷-۲- صفحات نسوز دریچه کشویی منیزیا ـ کربنی با پیوند کربنی	۳۹
٤-۷-۲- صفحات نسوز دریچه کشویی بر پایه آلومینا کربن با پیوند کربنی	٤۳
۱-٤-۷-۲- اشکال گوناگون تخریب و خصوصیات مهم صفحات نسوز آلومینا ـ کربنی	٤٤
۲-٤-۷-۲- طبقه بندی کلی صفحات نسوز آلومینا ـ کربنی و موقعیت کاربردی آنها	٤٥
۳-٤-۷-۲- مواد اولیه جهت ساخت صفحات دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی	٤٦
۱-۳-٤-۷-۲- آلومینای تبولار	٤٦
۲-۳-٤-۷-۲- مواد حاوی کربن	٤۸
۳-۳-٤-۷-۲- مواد آنتی اکسیدان	٥۲
٤-۳-٤-۷-۲- سایر مواد افزودنی خاص	٥٤
٥-۳-٤-۷-۲- چسب یا بایندر	٥٥
۸-۲- صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی با افزودنی گرافیت	٦۳
۹-۲- صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی با افزودنی مولایت	٦٦
۱-۹-۲- اثر تزریق قیر قطران و عملیات حرارتی بعد از آن	٦۷
۲-۹-۲- اثر افزودن پودر فلزی سیلیسیم به عنوان آنتی اکسیدان	٦۹
۱۰-۲- نسوزهای آلومینا ـ کربنی با افزودنی دانه های فیوز آلومینا ـ زیرکونیا	۷۰
۱-۱۰-۲- صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی با افزودنی آلومینا ـ زیرکونیا	۷۱
۲-۱۰-۲- دلایل برتری صفحات نسوز آلومینا ـ کربنی با افزودنی مواد فیوز آلومینا ـ زیرکونیا	۷٤
۱۱-۲- نوع جدید صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی	۷٤
۱۲-۲- کاربرد آنتی اکسیدانهای جدید	۷۸
فصل سوم ـ مراحل آزمایش و شرح روش کار	
۱-۳- انتخاب مواد اولیه	۸۱
۱-۱-۳- آلومینای تبولار	۸۱
۲-۱-۳- گرافیت	۸۱
۳-۱-۳- پودر آلومینیوم	۸۲
٤-۱-۳- چسب یا بایندر	۸۲

عنوان	صفحه
۲-۳- روش ساخت نمونه های آزمایشگاهی	۸۳
۱-۲-۳- درصد وزنی پارامترهای ثابت و متغیر مواد اولیه جهت ساخت نمونه ها	۸۳
۲-۲-۳- دانه بندی مواد اولیه	۸٤
۳-۲-۳- مخلوط سازی	۸٤
٤-۲-۳- شکل دادن	۸٥
٥-۲-۳- عملیات حرارتی	۸٥
۳-۳- تعیین ویژگیهای فیزیکی نمونه ها	۸٥
۱-۳-۳- اندازه گیری استحکام فشاری سرد (C.C.S)	۸٥
۲-۳-۳- اندازه گیری تخلخل و دانسیته	۸٦
۳-۳-۳- تعیین مقاومت به اکسیداسیون نمونه ها	۸٦
٤-۳-۳- تعیین مقاومت به هیدراته شدن	۸۷
٥-۳-۳- تعداد نمونه ها جهت انجام آزمایشات	۸۷
فصل چهارم ـ بحث و بررسی نتایج	
٤- مقدمه	۸۸
۱-٤- مطالعات تغییرات استحکام فشاری سرد	۸۸
۲-٤- مطالعات تغییرات دانسیته و تخلخل	۹۱
۳-٤- مطالعات تغییرات مقاومت به اکسیداسیون	۹٥
٤-٤- مطالعات مربوط به هیدراته شدن	۹۸
٥-٤- مطالعات تغییرات فازی برخی نمونه های آلومینا ـ کربنی	۱۰۰
٦-٤- مطالعات تغییرات ریزساختاری در برخی نمونه های آلومینا ـ کربنی	۱۰۲
فصل پنجم ـ نتیجه گیری و پیشنهادات نهایی	
نتیجه گیری و پیشنهادات	۱۰۷
منابع و مراجع	۱۰۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- طبقه بندی دیرگدازی مواد براساس مخروطهای زگر ۲

جدول ۲-۱- مصرف کنندگان محصولات نسوز و حداکثر دمای کاربردی در این صنایع ۵

جدول ۳-۱- میزان تولید فولاد در جهان بین سالهای ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۲ میلادی ۷

جدول ٤-۱- میزان تولید فولاد در جهان بین سالهای ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷ میلادی ۸

جدول ۱-۲- ترکیب شیمیایی و خواص برخی از پوشش های استوپر از جنس رس ـ گرافیت ۱۲

جدول ۲-۲- ترکیب شیمیایی مواد نسوز گرافیتی جهت ساخت استوپرهای یکپارچه ۱٤

جدول ۳-۲- خواص مواد نسوز گرافیتی جهت ساخت استوپرهای یکپارچه ۱٤

جدول ٤-۲- تولید سالیانه فرآورده های نسوز و ارزش دلاری آنها برای صنایع کشور در سال ۱۳۷۳ ۲۱

جدول ۵-۲- مشخصات نمونه هایی از صفحات دریچه کشویی ۲٤

جدول ٦-۲- برخی خصوصیات فیزیکی مواد نسوز جمع آوری شده از تولید کنندگان ۲۸

جدول ۷-۲- خواص و ترکیب شیمیایی تعدادی از صفحات دریچه کشویی ۳۱

جدول ۸-۲- ترکیب شیمیایی و مینرالی برخی نسوزهای دریچه کشویی آلومینایی و منیزیایی ۳۲

جدول ۹-۲- ترکیب شیمیایی و خواص برخی صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینایی با باند سرامیکی ۳۵

جدول ۱۰-۲- خواص فیزیکی و شیمیایی برخی صفحات منیزیایی با پیوند سرامیکی ۳۷

جدول ۱۱-۲- مواد مورد استفاده به همراه ترکیب ترجیحی جهت ساخت صفحات دریچه کشویی ٤۰

جدول ۱۲-۲- ترکیب و خواص برخی نمونه های صفحات دریچه کشویی منیزیا ـ کربنی و منیزیایی ٤۱

جدول ۱۳-۲- ترکیب و خواص صفحات دریچه کشویی منیزیا ـ کربنی ٤۲

جدول ۱٤-۲- نتایج آزمایش POFI ٤۲

جدول ۱۵-۲- خواص و ترکیب شیمیایی تعدادی از صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی ساخته شده توسط شرکت شینوگاوا ٤٤

جدول ۱٦-۲- طبقه بندی نسوزهای صفحات دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی و موقعیت کاربردی آنها ٤۵

جدول ۱۷-۲- ترکیب شیمیایی و خواص برخی از انواع آلومینای تبولار (آمریکایی) ٤۷

جدول ۱۸-۲- خصوصیات بوکسیت چینی برای ساخت صفحات دریچه کشویی ٤۷

جدول ۱۹-۲- دمای آغاز سوختن انواع مواد حاوی کربن ٤۹

عنوان	صفحه

جدول ۲۰-۲- نوع رزین و فرآیند مخلوط سازی ۵۹

جدول ۲۱-۲- مقدار کربن و بازده کربن (تئوری) تعدادی از رزین ها ۶۰

جدول ۲۲-۲- روشهای تعیین مقدار کربن ۶۱

جدول ۲۳-۲- ترکیب و خصوصیات صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی با افزودنی مولایت ۶۷

جدول ۲۴-۲- خصوصیات نسوزهای آلومینا ـ کربنی با افزودنی مولایت قبل و بعد از تزریق قیرقطران ۶۸

جدول ۲۵-۲- نتایج حاصله برای نمونه های آلومینا ـ کربنی با افزودنی مولایت و درصدهای متغیر سیلیسیم. ۶۹

جدول ۲۶-۲- آنالیز شیمیایی مواد اولیه جهت ساخت صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی با افزودنی مولایت. ۷۰

جدول ۲۷-۲- ترکیب و خواص صفحات دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی با افزودن فیوز آلومینا ـ زیرکونیا ۷۲

جدول ۲۸-۲- ترکیب و خواص صفحات آلومینا ـ کربنی با افزودنی مواد فیوز آلومینا ـ زیرکونیا و سایر مواد ۷۳

جدول ۲۹-۲- ترکیب و خواص تعدادی از صفحات نسوز جدید ۷۵

جدول ۱-۳- آنالیز شیمیایی آلومینای تبولار آمریکایی ۸۱

جدول ۲-۳- دانه بندی و مشخصات گرافیت مصرفی ۸۲

جدول ۳-۳- مشخصات فیزیکی رزین فنولیک مایع (نووالاک) ۸۲

جدول ٤-۳- درصدهای وزنی مواد اولیه برای ترکیبات مختلف نمونه های آلومینا ـ کربنی ۸۳

جدول ۱-٤- نتایج استحکام برای نمونه های ۱ الی ٤، پخته شده در دماهای مختلف ۸۸

جدول ۲-٤- مقادیر استحکام فشاری برای نمونه های حاوی پودر نرم آلومینا پخته شده در ۱۲۰۰°c ۹۰

جدول ۳-٤- تأثیر درجه حرارت پخت بر تخلخل ظاهری نمونه های آلومینا ـ کربنی با درصدهای مختلف پودر فلزی آلومینیوم ۹۱

جدول ٤-٤- تأثیر درجه حرارت پخت بر دانسیتهٔ ظاهری نمونه های آلومینا ـ کربنی با درصدهای مختلف پودر فلزی آلومینیوم ۹۳

جدول ٥-٤- تأثیر درجه حرارت پخت بر دانسیتهٔ کلی نمونه های آلومینا ـ کربنی با درصدهای مختلف پودر فلزی آلومینیوم ۹٤

جدول ٦-٤- تأثیر درجه حرارت پخت بر ضخامت لایهٔ کربن زدایی شدهٔ نمونه های آلومینا ـ کربنی با درصدهای مختلف پودر فلزی آلومینیوم ۹٥

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- ترکیبات نسوز و حد پایداری دمایی آنها	۳
شکل ۲-۱- فرآیند تولید اقتصادی فولاد تمیز	٦
شکل ۱-۲- نمایی از ریخته گری فولاد از پاتیل	۱۰
شکل ۲-۲- نمایی از پاتیل فولاد و میلهٔ استوپر	۱۰
شکل ۳-۲- انواع مختلف سرتوپی	۱۱
شکل ٤-۲- نمایی از میلهٔ استوپر یکپارچه	۱۳
شکل ٥-۲- نوعی استوپر یکپارچه با سر تقویت شده	۱۳
شکل ٦-۲- سطح مقطع نازل انطباقی	۱٥
شکل ۷-۲- مراحل کنترل جریان مذاب در سیستم دریچه کشویی دوصفحه ای	۱٦
شکل ۸-۲- نمونه ای از سیستم دریچه کشویی در تاندیش	۱۷
شکل ۹-۲- نمودار رشد استفاده از سیستم دریچه کشویی در ژاپن	۱۸
شکل ۱۰-۲- نمایی از سیستم دریچه کشویی پاتیل نوع کوراساکی	۱۹
شکل ۱۱-۲- نمایی از تخلیه مذاب فاقد سرباره از کوره EAF	۲۲
شکل ۱۲-۲- نمایی از سیتم SG دوصفحه ای	۲۳
شکل ۱۳-۲- نمایی از سیتم SG سه صفحه ای	۲٤
شکل ۱٤-۲- نمایی از صفحهٔ نسوز ثابت تحتانی	۲٤
شکل ۱٥-۲- مقطعی از سیستم دریچه کشویی گردان	۲٥
شکل ۱٦-۲- نمودار مقاوت به شوک حرارتی و خوردگی شیمیایی	۳۲
شکل ۱۷-۲- نمودارهای مقایسه خواص فیزیکی و شیمیایی صفحات نسوز آلومینا بالا	۳٤
شکل ۱۸-۲- ریزساختار نمونهٔ A قبل از کاربرد	۳٦
شکل ۱۹-۲- ریزساختار نمونهٔ A بعد از کاربرد	۳٦
شکل ۲۰-۲- ریزساختار نمونهٔ D قبل از کاربرد	۳۸
شکل ۲۱-۲- ریزساختار نمونهٔ D بعد از کاربرد	۳۸
شکل ۲۲-۲- پیدایش پولکهای فلزی در نمونهٔ D	۳۹

عنوان **صفحه**

شکل ۲۳-۲- مسیر تکاملی صفحات نسوز دریچه کشویی آلومینا ـ کربنی ۴۳

شکل ۲۴-۲- اشکال و علل تخریب صفحات نسوز آلومینا کربنی به همراه خواص مهم آنها ۴۵

شکل ۲۵-۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی از آلومینای تبولار با بزرگنمایی ۷۵۰ ۴۶

شکل ۲۶-۲- رابطهٔ مقاومت به اکسیداسیون با اندازهٔ میانگین پولکهای گرافیت ۵۰

شکل ۲۷-۲- اثر افزودن مواد مخصوص حاوی کربن ۵۲

شکل ۲۸-۲- منحنی های انبساط حرارتی برخی از مواد ۵۵

شکل ۲۹-۲- منحنی انبساط حرارتی AZTS در مقایسه با مولایت و کوراندوم ۵۵

شکل ۳۰-۲- مقایسه ساختارهای کربنی تولید شده پس از پیرولیز برای قیر و رزین ۵۸

شکل ۳۱-۲- نمودار رابطهٔ بین استحکام فشاری سرد و سرعت تخریب سطح لغزشی ۶۴

شکل ۳۲-۲- تصویر بافت صفحات نسوز قدیمی و جدید اصلاح شده ۶۵

شکل ۳۳-۲- نمایی از صفحات نسوز دریچه کشویی استفاده شده (صفحات قدیمی و صفحات اصلاح شده) ۶۵

شکل ۳۴-۲- رابطهٔ بین دمای پخت با استحکام فشاری سرد و خوردگی ۷۶

شکل ۳۵-۲- نتایج کاربردی صفحات جدید در مقایسه با صفحات معمولی ۷۷

شکل ۳۶-۲- خاصیت اکسیداسیونی ماده Mg-B در مقایسه با B4C ۷۸

شکل ۳۷-۲- مقایسه HMOR صفحات جدید و صفحات قبلی ۷۹

شکل ۳۸-۲- نتایج مربوط به آزمایش هیدراته شدن ۷۹

شکل ۱-۴- تغییرات استحکام نسبت به درجه حرارت پخت در نمونه های آلومینا ـ کربنی با درصدهای مختلف پودر فلزی آلومینیوم ۸۸

شکل ۲-۴- تغییرات استحکام نمونه ها با درصدهای مختلف سوپر فاین آلومینا که در دمای $1200^{\circ}C$ پخته شده اند. ۹۰

شکل ۳-۴- تغییرات درصد تخلخل ظاهری نسبت به درجه حرارت پخت در نمونه های آلومینا ـ کربنی با درصدهای مختلف پودر آلومینیوم ۹۱

شکل ۴-۴- تغییرات دانسیتهٔ ظاهری نسبت به درجه حرارت پخت در نمونه های آلومینا ـ کربنی با درصدهای مختلف پودر فلزی آلومینیوم ۹۳

شکل ۵-۴- تغییرات دانسیتهٔ کلی نسبت به درجه حرارت پخت در نمونه های آلومینا ـ کربنی با درصدهای مختلف پودر فلزی آلومینیوم ۹۴

عنوان **صفحه**

شکل ٦-٤- تغییرات مقاومت به اکسیداسیون نسبت به درجه حرارت پخت در نمونه های آلومینا ـ کربنی با درصدهای مختلف پودر فلزی آلومینیوم ٩٥

شکل ٧-٤- تغییرات لایهٔ کربن زدایی شده در نمونه های ١ الی ٤ که در $250^{\circ}c$ عملیات حرارتی شده اند ٩٦

شکل ٨-٤- تغییرات لایهٔ کربن زدایی شده در نمونه های ١ الی ٤ که در $670^{\circ}c$ پخت شده اند ٩٧

شکل ٩-٤- تغییرات لایهٔ کربن زدایی شده در نمونه های ١ الی ٤ که در $980^{\circ}c$ پخت شده اند ٩٧

شکل ١٠-٤- تغییرات لایهٔ کربن زدایی شده در نمونه های ١ الی ٤ که در $1200^{\circ}c$ پخت شده اند ٩٨

شکل ١١-٤- نمایی از نمونه های ١ و ٢ با درصدهای مختلف آنتی اکسیدان فلزی آلومینیوم پخته شده در $1200^{\circ}c$ ٩٩

شکل ١٢-٤- نمایی از نمونه ای ٣ و ٤ با درصدهای مختلف آنتی اکسیدان پودر فلزی آلومینیوم پخته شده در $1200^{\circ}c$ ٩٩

شکل ١٣-٤- XRD از نمونهٔ آلومینا ـ کربنی بدون آنتی اکسیدان پخته شده در دمای $1200^{\circ}c$ ١٠١

شکل ١٤-٤- XRD از نمونهٔ آلومینا ـ کربنی (شمارهٔ ٤) حاوی ٦ پودر فلزی آلومینیوم پخته شده در دمای $1200^{\circ}c$ ١٠١

شکل ١٥-٤- XRD از نمونهٔ آلومینا ـ کربنی (شمارهٔ ٦) حاوی ٦ درصد پودر فلزی آلومینیوم و ١٠ درصد SFA پخته شده در دمای $1200^{\circ}c$ ١٠٢

شکل ١٦-٤- تصویر SEM با بزرگنمایی ١٦٥٠ از نمونهٔ آلومینا ـ کربنی شمارهٔ ٤ پخته شده در دمای $1200^{\circ}c$ ١٠٣

شکل ١٧-٤- تصویر SEM با بزرگنمایی ١٦٥٠ از نمونه آلومینا ـ کربنی شمارهٔ ٥ پخته شده در دمای $1200^{\circ}c$ ١٠٣

شکل ١٨-٤- تصویر SEM با بزرگنمایی ١٦٥٠ از نمونه آلومینا ـ کربنی شمارهٔ ٦ پخته شده در دمای $1200^{\circ}c$ ١٠٤

شکل ١٩-٤- آنالیز عنصری EDX از سطح ذرات آلومینیوم موجود در نمونهٔ آلومینا ـ کربنی شمارهٔ ٤ پخته شده در دمای $1200^{\circ}c$ ١٠٥

شکل ٢٠-٤- تصویر SEM با بزرگنمایی ١٠٠٠٠ از نمونهٔ آلومینا ـ کربنی شمارهٔ ٦ پخته شده در دمای $1200^{\circ}c$ ١٠٥

شکل ٢١-٤- ناحیه از شکل (١٦-٤) با بزرگنمایی ٦٦٧٠ ١٠٦