

فراایندهای سرامیکی

۱۳۷۷/۹

محمد رحمانی

نمونه

محمد رحمانی

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف

افشین مسعودی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی
واحد علوم و تحقیقات

مجتبی موحدی

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

Ceramic Processing

by: M. N. Rahaman

Taylor & Francis Group, 2007

فرایندهای سرامیکی

تألیف محمد رحمان

ترجمه محمدرضا محمدی، افشین مسعودی، مجتبی موحدی

طراحی جلد: الهه احمدی میرقائد

مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۳۹۴

شمارگان: ۱۰۰۰

بها: ۳۲۰۰۰۰ ریال

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۱۳۸-۷ ISBN 978-964-208-138-7

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲-۶۶۱۶۴۰۷۰-۶۶۱۶۴۰۷۰

دفتر فروش: میدان انقلاب- خیابان شهید منیری جاوید (اردیبهشت)- ساختمان ۲۵۳ - طبقه چهارم، واحد ۴۰۲

تلفن: ۶۶۴۰۵۱۳۲-۶۶۹۶۷۸۹۶ پست الکترونیکی: publishing@sharif.edu

www.fardabook.com

سرشناسه: رحمان، محمد، ۱۹۵۰- M. N. Rahaman

عنوان و نام پدیدآور: فرایندهای سرامیکی / تألیف محمد رحمان؛ ترجمه

محمدرضا محمدی، افشین مسعودی، مجتبی موحدی.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۴.

مشخصات ظاهری: ۶۴۶ ص: مصور، جدول.

شابک: 978-964-208-138-7

وضعیت فهرست نویسی: فیا.

یادداشت: عنوان اصلی:

Ceramic Processing, c 2007

یادداشت: واژهنامه.

یادداشت: کتابنامه.

موضوع: سرامیک.

موضوع: مهندسی سرامیک.

شناسه افزوده: محمدی، محمدرضا، ۱۳۵۵، مترجم.

شناسه افزوده: مسعودی، افشین، ۱۳۶۱، مترجم.

شناسه افزوده: موحدی، مجتبی، ۱۳۶۰، مترجم.

شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی.

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۴ ق۴/۲۶ TPA۰۷

رده‌بندی دیویی: ۶۶۶/۲۲

شماره کتابشناسی ملی: ۳۹۰۵۶۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

هفت	پیشگفتار مولف
نه	پیشگفتار مترجم
۱	فصل ۱. فرایندهای ساخت سرامیک: نگاه کلی
۱	۱.۱ مقدمه
۵	۲.۱ فرایندهای ساخت سرامیک
۲۹	۳.۱ تولید سرامیک‌های چندبلورین از پودر: نگاه کلی
۳۸	۴.۱ مطالعه موردی در فرایند: تولید TiO_2 از پودر
۴۱	۵.۱ نتیجه‌گیری
۴۱	مسائل
۴۳	مراجع
۵۱	فصل ۲. سنتز پودرها
۵۱	۲.۱ مقدمه
۵۱	۲.۲ ویژگی‌های پودر
۵۴	۳.۲ روش‌های سنتز پودر
۵۵	۴.۲ تهیه پودر با روش‌های مکانیکی
۶۵	۵.۲ سنتز پودر با روش‌های شیمیایی
۱۱۷	۶.۲ موضوع ویژه: سنتز پودرهای سرامیکی نانویی

۱۱۹	۷.۲ نتیجه گیری
۱۱۹	مسائل
۱۲۲	مراجع
۱۳۳	فصل ۳. شناسایی پودر
۱۳۳	۱.۳ مقدمه
۱۳۵	۲.۳ شناسایی فیزیکی
۱۶۵	۳.۳ ترکیب شیمیایی
۱۷۰	۴.۳ ساختار بلوری و ترکیب فازی
۱۷۲	۵.۳ شناسایی سطح
۱۸۲	۶.۳ نتیجه گیری
۱۸۳	مسائل
۱۸۴	مراجع
۱۸۷	فصل ۴. علم فرایند کردن کلوییدی
۱۸۷	۱.۴ مقدمه
۱۸۹	۲.۴ انواع کلویدها
۱۸۹	۳.۴ نیروهای جاذبه سطحی
۱۹۷	۴.۴ پایداری سوسپانسیون های کلوییدی
۱۹۸	۵.۴ پایدارسازی الکترواستاتیکی
۲۱۸	۶.۴ پایدارسازی فضایی
۲۲۷	۷.۴ پایداری الکتریکی - فضایی
۲۳۲	۸.۴ ساختار کلویدهای استحکام یافته
۲۳۴	۹.۴ رئولوژی سوسپانسیون های کلوییدی
۲۴۶	۱۰.۴ نتیجه گیری
۲۴۷	مسائل
۲۴۹	مراجع

۲۵۵	فصل ۵. فرایند سل - ژل
۲۵۵	۱.۵ مقدمه
۲۵۷	۲.۵ انواع ژل‌ها
۲۶۱	۳.۵ فرایند سل - ژل سیلیکات‌های آبی
۲۶۶	۴.۵ الکوکسیدهای فلزی
۲۷۳	۵.۵ فرایند سل - ژل الکوکسیدهای سیلیسیمی
۳۱۰	۶.۵ روش‌های تولید سل - ژل
۳۲۱	۷.۵ کاربردهای فرایند سل - ژل
۳۲۹	۸.۵ نتیجه‌گیری
۳۲۹	مسائل
۳۳۰	مراجع
۳۳۷	فصل ۶. مخلوط کردن و فشردن پودرها
۳۳۷	۱.۶ مقدمه
۳۳۸	۲.۶ مخلوط کردن مواد جامد ذره‌ای
۳۵۰	۳.۶ انباشتگی ذرات
۳۶۵	۴.۶ نتیجه‌گیری
۳۶۵	مسائل
۳۶۷	مراجع
۳۷۱	فصل ۷. شکل‌دهی سرامیک‌ها
۳۷۱	۱.۷ مقدمه
۳۷۳	۲.۷ افزودنی‌ها در شکل‌دهی سرامیک
۳۹۰	۳.۷ شکل‌دهی سرامیک‌ها
۴۳۲	۴.۷ تولید بی‌شکل جامد
۴۴۱	۵.۷ نتیجه‌گیری
۴۴۱	مسائل
۴۴۴	مراجع

۴۵۳	فصل ۸. خشک کردن، چسب‌زدایی، و شناسایی ریزساختاری قطعات خام
۴۵۳	۱.۸ مقدمه
۴۵۴	۲.۸ خشک کردن سرامیک‌های گرانول
۴۷۴	۳.۸ زدودن چسب (چسب‌زدایی)
۴۸۲	۴.۸ ریزساختارهای خام و شناسایی آنها
۴۸۶	۵.۸ نتیجه‌گیری
۴۸۶	مسائل
۴۸۷	مراجع
۴۹۳	فصل ۹. تف‌جوشی (شال‌گیری) ریزساختار
۴۹۳	۱.۹ مقدمه
۴۹۵	۲.۹ تف‌جوشی حالت جامد
۵۲۲	۳.۹ رشد دانه و درشت شدن
۵۵۱	۴.۹ تف‌جوشی فاز مایع
۵۶۲	۵.۹ عمل تف‌جوشی
۵۸۸	۶.۹ نتیجه‌گیری
۵۸۸	مسائل
۵۹۳	مراجع
۶۰۵	واژه‌نامهٔ انگلیسی-فارسی
۶۱۳	واژه‌نامهٔ فارسی-انگلیسی
۶۲۱	فهرست راهنما

پیشگفتار مؤلف

ساخت و به‌کارگیری سرامیک‌ها یکی از قدیمی‌ترین مهارت‌های فناوری است. مواد سرامیکی اغلب در کاربردهای سنتی نظیر سرامیک‌های برنانه‌نگار رس و شیشه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در چند دهه گذشته، توسعه‌های جدیدی در به‌کارگیری سرامیک‌ها در فناوری‌های پیشرفته انجام شده است. کشف ابررساناهای سرامیکی و به‌کارگیری سرامیک در کاشی‌های با مقاومت حرارتی بالا در فضاپیماها، فیبرهای نوری، اجزاء موتورهای دما بالا و الکترولیت در پیل‌های سوختی اکسید جامد مورد توجه فراوان هستند.

افزایش کاربرد سرامیک‌ها در فناوری‌های پیشرفته منجر به بهبود خواص و قابلیت اطمینان آنها شده است. در سال‌های اخیر این حقیقت آشکار شده است که بهبود در این گونه موارد تنها با دقت در فرایند ساخت حاصل می‌شود. خواص مهندسی سرامیک‌های چندبلوری به کمک کنترل ریزساختار، که بستگی به روش فرایند برای ساخت محصول دارد، انجام می‌شود، بنابراین، فرایند ساخت عامل اصلی نوع ریزساختار محصول با خواص مورد نظر است. اغلب گفته می‌شود، علم مواد فرایندی است میان علوم فیزیکی (نظیر فیزیک، شیمی و ریاضی) و مهندسی (نظیر برق، مکانیک و عمران). از این دیدگاه، نگرشی بر فرایند سرامیک‌ها با درک اصول و به‌کارگیری دانش ایجاد ریزساختار با خواص مفید اهمیت می‌یابد.

به دلیل اهمیت و کاربرد وسیع، تمرکز این کتاب بر ساخت سرامیک‌ها با ترکیب و تف‌جوشی پودرهاست. شرح مختصری در خصوص تولید سرامیک‌ها (و شیشه‌ها) با روش کمتر متداول سل-ژل

نیز داده شده است. ایده اصلی نگارش کتاب بیان اصول بنیادین هر فرایند جهت ارائه کاربرد این روش‌ها برای ساخت عملی سرامیک‌هاست. هر روش ساخت شامل مراحل مختلفی است که هر مرحله برای دستیابی به محصولی با ساختار و خواص موردنظر دارای اهمیت است. جنبه مهم این عملیات این است که اهمیت هر مرحله و ارتباط میان مراحل مختلف در کل روش ساخت نشان داده شود. فصل اول مقدمه‌ای مروری بر روش‌های مختلف ساخت مواد سرامیکی است. این مرور شامل بیان جزئیات فرایندهای پودر و سل-ژل است که در بخش‌های بعدی کتاب شرح داده می‌شود. فصول دوم تا نهم توسعه‌ای منطقی از شروع فرایند ساخت تا ریزساختار نهایی حاصل را بیان می‌کند.

کتاب من تهیه یک کتاب مرجع مناسب برای درسی در فرایند سرامیک در یک ترم برای دانشجویان سال آخر قطع کارشناسی یا ترم‌های اول مقاطع تحصیلات تکمیلی است. داشتن پیش‌زمینه‌ای در مفاهیم و فرایند سرامیک‌های سنتی که در ترم‌های اول مقطع کارشناسی تدریس می‌شود، ضروری است. امیدوارم این کتاب برای محققان در صنعت که در زمینه تولید سرامیک‌ها فعال هستند و یا کسانی که مشتاقند در فرایند سرامیک‌ها توسعه‌ای ایجاد کنند، نیز مفید باشد. در اینجا لازم می‌دانم از نویسندگان و اشراان مختلف که اجازه استفاده از تصاویر تحقیقاتی خود را برای این کتاب دادند، تشکر کنم. بیشترین تشکر و قدردانی خود را از همسر، وشتی، جهت تشویق و حمایت در تهیه این کتاب، بیان می‌کنم.

محمد رحمان

پیشگفتار مترجمان

سرامیک از کلمه یونانی «کراموس» به معنی سنگ گرفته شده است. سرامیک علم و هنر ساخت و به‌کارگیری محصولاتی است که ترکیب اصلی آنها مواد غیرآلی و غیرفلزی است. بشر اولیه در حدود ۲۴۰۰۰ سال قبل از میلاد اقدام به ساخت سرامیک به شکل حیوانات و پیکره انسان، تخته صاف و توپ کرده است. این سرامیک‌ها از چربی و استخوان حیوانات به همراه خاکستر استخوان و مقداری رس ریزدانه ساخته و در دمای حدود ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره‌های گنبدی شکل پخت می‌شدند. اولین ظروف سفالی مورد استفاده در حدود ۹۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح ساخته می‌شد که برای نگهداری غذا و دانه‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گرفت. مردم ایران نیز از نخستین سازندگان آثار سفالی بوده‌اند. کهن‌ترین اشیاء سفالی به دست آمده در کاوش‌های باستانی ایران آثار مکشوفه از تپه گنج‌دره در استان کرمانشاه است که به هزاره هشتم قبل از میلاد بر می‌گردد.

در قرن حاضر با تکامل فناوری به‌خصوص در حوزه الکترونیک، مواد سرامیکی که دارای اهمیت بسیاری هستند نیز این مسیر تکاملی را طی نمودند. این مواد خواص ویژه‌ای دارند که مهم‌ترین آنها خصوصیات مغناطیسی، اپتیکی و الکترونی است که به‌عنوان قسمتی از فناوری جدید در صنایع الکترونیک و اپتوالکترونیک تکامل یافت. امروزه سرامیک‌ها به دو دسته سنتی و مدرن طبقه‌بندی می‌شوند. سرامیک‌های سنتی عمدتاً سرامیک‌های سیلیکاتی هستند که از جمله آنها می‌توان به محصولات رسی، سیمان و شیشه‌های سیلیکاتی اشاره نمود. همچنین سرامیک‌های

مدرن براساس ترکیب شیمیایی به دو دسته سرامیک‌های اکسیدی و غیراکسیدی تقسیم‌بندی می‌شوند. از این رو دارای کاربردهای متنوعی در علوم فضایی، پزشکی، مخابرات، وسایل ارتباطی و صنعت خودروسازی هستند.

کتاب حاضر ترجمه کتاب *Ceramic Processing* و حاصل تجربیات تدریس، تحقیقات و دستاوردهای علمی محمد رحمان استاد دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه علم و فناوری میسوری است. در این کتاب دسته‌بندی‌های مختلف مواد سرامیکی همراه با کاربرد و روش‌های ساخت آنها شرح داده شده است. همچنین مکانیسم‌هایی که در مراحل مختلف فرایند ساخت سرامیک، نظیر تف‌جوشی، رشد دانه، کنترل ریزساختار و متراکم شدن سرامیک‌ها رخ می‌دهند، به تفصیل بیان شده است.

یکی از مزایای کتاب حاضر پرداختن به اصول علم کلوئیدها و فرایند سل-ژل در دو فصل مجزاست که هر دو این بحث در سنتز نانومواد مفیدند. اگرچه کتب متعدد و حجیمی در این دو زمینه به رشته تحریر درآمده‌اند، تشریح اصول و مبانی و مهم‌ترین جزئیات این دو مبحث به‌طور خلاصه و به بیانی شیوا در این کتاب ارائه شده که سبب می‌شود خواننده در کوتاه‌ترین زمان به آگاهی کامل برسد. لذا مطالعه این کتاب نه تنها برای دانشجویان رشته مهندسی مواد در گرایش سرامیک در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد، بلکه برای دانشجویان کارشناسی ارشد گرایش نانومواد و دانشجویان دکتری نانوفناوری توصیه می‌گردد. مزید امتنان است پس از خواندن این کتاب ما را از راهنمایی‌ها و پیشنهادهای سازنده خبر آگاه سازید.

محمد رضا محمدی

افشین مسعودی

مجتبی موحدی

تابستان ۱۳۹۴

شرحی در مورد نویسنده

محمد رحمان استاد تمام در زمینه سازه‌ها در دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه میسوری-رولا است. او مدرک کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه کمبریج انگلستان و مدرک دکتری خود را از دانشگاه شفیلد انگلستان اخذ نمود. پیش از این به دانشگاه میسوری در سال ۱۹۸۶، در دانشگاه لیدز انگلستان، دانشگاه وست ایندیز، آزمایشگاه ملی لارنس برکلی کالیفرنیا مشغول به کار بود. دکتر رحمان نویسنده دو کتاب و نویسنده و همکار در ۱۲۵ مقاله علمی است که اغلب این مقالات در حوزه فرایند و تفجوشی سرامیکی است.