به نام خدا

مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

---

www.Iran-mavad.com

موضوع تحقیق :

کاربرد سرامیک های مهندسی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مهندسی سرامیک و کاربردهای آن

۱-۱-کاربردهای پزشکی:

سرامیک‌ها، این مواد دست‌ساختهٔ بشر، از ابتدای تاریخ تمدن تا به امروز توانسته‌اند مواد بسیار مفیدی را در اختیار انسان‌ها قرار دهند. از سفالینه‌های هزاران سال قبل تا راکتورهای هسته‌ای و اخیراً نیز محافظ سفینه‌های فضایی و غیره.

یکی از کاربردهای مواد سرامیکی که در ارتباط نزدیک با زندگی بشر است، شامل بکارگیری قطعات سرامیکی در بدن انسان است. به این دسته از سرامیک‌ها "زیست-سرامیک (Bio-ceramic)" گویند. این دسته از سرامیک‌ها اهمیت فراوانی در زندگی روزمره یافته‌اند. البته استفاده از مواد مختلف بعنوان "ایمپلانت (implant)" به دورهٔ قبل از میلاد مسیح بر می‌گردد. اما از اواخر قرن نوزدهم، در اثر پیشرفت و افزایش اطلاعات پزشکی در این مورد کوشش‌های جدی انجام گرفت.

اولین مواد مصرفی بعنوان ایمپلانت، ترکیبی از برنج و مس بود که بدلیل خوردگی شدید این مواد در بدن، استفاده آنها با شکست مواجه شده است. از آنجایی که در پزشکی مدرن ضرورت استفاده از مواد مختلف به منظور ترمیم عیوب بدن انسان احساس می‌شد، پلیمریست‌ها گسترهٔ وسیعی از این مواد را برای استفاده به جامعه پزشکی معرفی کردند و متالوژرها نیز با استفاده از آلیاژهای جدید و متفاوت، قطعات ارتوپدیک بسیاری برای بدن ساختند. اما حتی این مواد نیز بعلت خوردگی شیمیایی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

در بدن ایجاد عارضه می‌کرد؛ حال آنکه بسیاری از ایمپلانت‌ها، مانند اتصال مصنوعی در مفاصل ران، بایستی برای همیشه در بدن انسان باقی می‌ماند. از این رو، پژوهشگران برای دستیابی به موادی با مشخصات بهتر به دنیای سرامیک راه پیدا کردند.

هیچ ماده‌ای که در بدن انسان جایگذاری شود کاملاً خنثی نیست. با این وجود، خوردگی سرامیک‌ها بدلیل ماهیت ذاتیشان خیلی کمتر از فلزات است. پیشرفت‌های وسیع در علم سرامیک منجر به دستیابی به موادی با خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی متفاوت و متنوع شد که می‌توانند خواص خود را برای مدت زمان طولانی در بدن موجود زنده حفظ کنند. بعضی از این مواد عبارتند از: آلومینا، کربن پیرولیتیک و زجاجی، فسفات‌های کلسیم و سدیم و غیره.

خصوصیاتی که یک ایمپلانت دایمی سرامیکی باید داشته باشد بطور خلاصه در زیر آمده است:

۱- سازگاری بیولوژیکی: عموماً مواد ایمپلانت باید با بافت‌های بدن سازگاری داشته باشند و ایجاد حساسیت و مسمومیت نکنند.

۲-عدم خوردگی: در بدن موجود زنده خوردگی بیولوژیکی روی ندهد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۳- کارایی در عملکرد: باید بتواند به نحو مطلوب وظیفه‌ای را که در هر نقطه از بدن بر عهده آن قرار می‌دهند بخوبی انجام دهد.

٤- قابلیت استریلیزه شدن: قابلیت استریل و ضدعفونی شدن را داشته باشد، بدون اینکه تغییری در ترکیب آن ایجاد کند. یا باعث تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی شود.

٥-قابلیت دسترسی: قابل دسترس بوده و براحتی تولید شود.

امتیاز سرامیک‌ها بعنوان مواد زیستی بدلیل سازگاری آنها با محیط فیزیولوژیکی است و این سازگاری بدلیل وجود یونهایی مشابه با یونهای موجود در آن محیط، مثل کلسیم، پتاسیم، منیزیم و سدیم است.

تحقیقات انجام شده در آزمایشگاه و روی بدن موجود زنده روی مواد زیر متمرکز شده است: کربن، اکسیدآلومینیم، هیدروکسید آپاتیت، فسفات تری‌کلسیم، ترکیبات شیشه‌ای و غیره که جالب توجه‌ترین این مواد عبارتنداز: دریچه‌های قلبی مصنوعی، زانوی ارتوپدیک (استخوان و مفاصل)، موادی که برای ترمیم و بازسازی جای دندان در فک بکار می‌روند، موادی که به‌وسیله آنها از راه پوست می‌توان با داخل بدن ارتباط پیدا کرد، مفصل ران پروستتیک، پیهای مصنوعی و غیره.

این مواد با توجه به نوع فعالیتشان در محیط به ۳ دسته تقسیم می‌شوند:

۱- مواد سرامیکی خنثی: مانند آلومینا و کربن

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۲- مواد سرامیکی با سطح فعال: مانند هیدروکسید آپاتیت و بیوگلاس‌ها

۳- مواد سرامیکی قابل جذب: مانند فسفات کلسیم

۱-۲-نانوسرامیکها و کاربردهای تجاری فعلی آنها در دنیا

نانو مواد، دسته‌ای از مواد هستند که از طریق کنار هم قراردادن اتم‌ها، ملکول‌ها یا مجموعه‌هایی از آنها و به طور مصنوعی تولید می‌شوند. نانوسرامیک‌ها به‌دلیل داشتن خواص ویژه در بین مواد دیگر از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین شاخه‌های نانومواد محسوب می‌شوند. متن زیر برگرفته از مقاله سیدمحسن محمودی سپهر از دانشگاه علم و صنعت ایران است که تحت عنوان "مقدمه‌ای بر نانوسرامیک" در همایش "نانوتکنولوژی، انقلاب صنعتی آینده" ارایه شده بود و به بیان پتانسیل‌ها و کاربردهای فعلی نانوسرامیک‌ها در دنیا اشاره دارد:

ظهور نانوسرامیک‌ها را می‌توان از دهه ۹۰ میلادی دانست. در این زمان بود که کشف خواص پودرهای نانوسرامیک بسیار مناسب به نظر می‌رسید ولی روش‌های آن از لحاظ فناوری، آسان و مقرون‌به‌صرفه نبود.

به‌وجود آمدن نانوتکنولوژی اهمیت نانوسرامیک‌ها را بیش از پیش آشکار کرد و نانوتکنولوژی باعث تحلیل بهتر از پدیده‌ها و یافتن روش‌های بهتری برای تولید مواد شد. شکل گرفتن مهندسی نانو، منجر به درک بی‌سابقه اجزای اولیهٔ پایه‌ای تمام

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

اجسام فیزیکی و کنترل بر این اجزا شده است و این پدیده به زودی روشی را که اغلب اجسام توسط آنها طراحی و ساخته می‌شده‌اند، دگرگون می‌کند.

ویژگی‌های نانوسرامیک‌ها:

الف) استحکام مکانیکی: پوشش دادن سطح اجسام با نانوسرامیک‌ها، باعث افزایش استحکام و سختی جسم می‌شود که استحکام آنها بسیار بیشتر از پوشش‌هایی از نوع سرامیک‌های معمولی است.

ب) ابررسانایی: نانوسرامیک‌ها به‌علت داشتن خواص نوری و الکتریکی به‌عنوان ابررسانا نیز به‌کار می‌روند.

ج) قدرت پوشش: در ساختار نانو، تعداد مکان‌های فعال افزایش می‌یابد، این افزایش در سطح منجر به کاهش مقدار مواد مصرفی می‌شود و قیمت نهایی محصول کاهش می‌یابد.

د) قابلیت رقابت با مواد دیگر: نانوسرامیک‌ها ارزش افزوده فوق‌العاده‌ای را ایجاد می‌کنند و این مواد همانند رنگدانه‌ها و پوشش‌ها گرانقیمت هستند.

ه) سازگار با محیطزیست: این پوشش‌ها با محیطزیست سازگار هستند و آلودگی‌های مواد قبلی را ایجاد نمی‌کنند.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

و) انعطاف‌پذیری: در سرامیک‌های معمولی انعطاف‌پذیری وجود ندارد ولی در نانوسرامیک‌ها به‌دلیل داشتن خاصیت منحصر به فرد در قابلیت حرکت مرزدانه‌ها بر روی هم، انعطاف‌پذیری خوبی وجود دارد.

ز) سطح ویژه بالا: نانوسرامیک‌ها سطح ویژهٔ بالایی دارند و در انجام واکنش‌های شیمیایی در کاتالیست‌ها، سنسورهای گازی، جداسازی و جذب مواد بر روی سطح آن و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کاربردهای نانوسرامیک:

به‌علت خواص فوق‌العاده‌ای که نانوسرامیک‌ها دارند، طراحان محصولات می‌توانند از آنها به‌طور ماهرانه، به‌عنوان مواد مخصوص استفاده نمایند. این مواد مخصوص، مواد اولیه مورد نیاز برای ساخت محصولی مستحکم‌تر که در محدودهٔ دمایی بیشتر عمل می‌کند را تأمین می‌کنند. از طرفی تولید نانوسرامیک‌ها در دماهای پایین‌تر، موفقیت بزرگی است که منجر به تولید اقتصادی محصولات بی‌عیب و با دقت بالا می‌شود.

نانوسرامیک‌ها در حال توسعه و به‌کارگیری برای کاربردهای گوناگون هستند که از خواص مغناطیسی، نوری، الکتریکی و دیگر خواص آنها استفاده می‌شود. خواص منحصر به فرد نانوسرامیک‌ها، محدوده وسیعی از کاربرد از جمله قطعات سرامیکی بادوام برای موتورهای خودکار، سیم‌های ابررسانای انعطاف‌پذیر و اجزای متصل-

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کننده فایراستیکی را به همراه دارد. بعضی دیگر از پتانسیل‌ها و کاربردهای دیگر در جدول زیر آورده شده است:

پتانسیل و کاربردهای تجاری فعلی نانوسرامیک‌ها

۳-۱- مروری کوتاه بر بازار سرامیکهای پیشرفته در جهان

سرامیک‌های پیشرفته نسل جدیدی از سرامیک‌ها هستند که دارای خواص بهتری نسبت به سرامیک‌های سنتی بوده و کاربردهای زیادی را به خود اختصاص داده‌اند. متن زیر خلاصهٔ گزارش موسسهٔ SCUP در مورد سرامیک‌های پیشرفته است:

سرامیک‌ها موادی غیرآلی و غیرفلزی هستند که مقاومت خوبی در دمای بالا از خود نشان می‌دهند. در ابتدا مواد اولیهٔ سرامیکی بصورت پودر هستند سپس در شکل‌های مختلف به اجسام صلب تبدیل می‌شوند. سرامیک‌ها می‌توانند بصورت آمورف (بی‌شکل)، تک‌فاز، چندفاز، تک‌کریستال و پلی‌کریستال وجود داشته باشند و خواص این مواد بستگی به ساختار اتمی آنها دارد. محصولاتی مثل آجرها، کاشی، چینی (بصورت ظروف غذا و چینی بهداشتی)، نسوزها، ساینده‌ها، شیشه‌آلات (شیشه‌های تخت، ظروف شیشه‌ای) و لعاب‌های چینی جزو سرامیک‌های سنتی هستند و در گروه سرامیک‌های پیشرفته قرار نمی‌گیرند.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

سرامیک‌های پیشرفته دارای خواص فیزیکی، الکترونیکی و مکانیکی خاصی هستند که آنها را نسبت به سرامیک‌های سنتی برتری بخشیده است. سرامیک‌های پیشرفته در پنجاه سال گذشته توسعهٔ خوبی یافته‌اند. بازار سرامیک‌های پیشرفته که قسمت عمدهٔ آن در امریکا، اروپای غربی و ژاپن قرار دارد، در سال ۲۰۰۰ بالغ بر ۲۰,۲ میلیارد دلار بوده است. البته خلق کاربردهای جدیدی برای این مواد باعث ایجاد یک رشد ٤ درصدی برای بازار این مواد تا سال ۲۰۰۵ خواهد شد.

سرامیک‌های الکترونیکی:

عمده‌ترین استفادهٔ سرامیک‌های پیشرفته در صنایع الکترونیک است که حدود ٦٦ درصد کل مصرف سرامیک‌های پیشرفته را به خود اختصاص می‌دهند. مهم‌ترین مواد سرامیکی برای کاربردهای الکترونیکی، اکسیدهای خالص یا مخلوطی از اکسیدها هستند که شامل آلومینا، زیرکونیا، سیلیسیا، فریت‌ها، تیتانات باریم اصلاح‌شده و تیتانات و زیرکونات سرب هستند. فیبرها، محافظ‌ها در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی، خازن‌ها، تبدیل‌کننده‌ها، القاگرها، ابزارهای پیزوالکتریکی و سنسورهای فیزیکی و شیمیایی عمده‌ترین موارد استفادهٔ سرامیک‌های الکترونیکی هستند. میزان بازار جهانی سرامیک‌های الکترونیکی در نیمهٔ پایانی سال ۲۰۰۰، حدود ۱۳,۳ میلیارد دلار بوده است. مواد مورد مصرف در مدارهای IC مجتمع، محافظ‌های الکترونیکی و خازن‌ها تقریباً ٦٧ درصد بازار سرامیک‌های الکترونیکی را بخود اختصاص داده‌اند.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

بازار محصولات سرامیکی الکترونیکی اگر چه نسبتاً بزرگ است ولی نرخ رشد آنها از نرخ رشد دو رقمی که در چند دههٔ گذشته از خود نشان داده‌اند بیشتر نیست.

سرامیک‌های ساختاری:

استفاده از سرامیک‌ها در کاربردهای ساختاری کمتر از ۱۹ درصد کل بازار است. سرامیک‌های ساختاری بعنوان اجزاء تحمل‌کنندهٔ تنش یا پوشش قسمت‌هایی که تحت تنش هستند شناخته می‌شوند. علاوه بر این، مقاومت سرامیک‌ها در برابر خوردگی، سایش و دمای بالا، این مواد را برای کاربرد در تجهیزات صنعتی زیادی مناسب ساخته است. افزایش بازده و کاهش مصرف انرژی، محرک تحقیقات بر روی سرامیک‌های ساختاری پیشرفته است. در سال ۲۰۰۵ شاهد بازار جهانی ٤,٥ میلیارد دلاری برای سرامیک‌های ساختاری خواهیم بود و رشد خوبی در بازار اجزای مقاوم به سایش، یاطاقان‌ها، درزگیرها، تجهیزات فرآیندها و پوشش‌های سرامیکی محقق می‌شود. بیشترین مواد اولیه مورد استفاده در سرامیک‌های ساختاری انواع گوناگون اکسیدآلومینیوم، زیرکونیا، کاربید سیلیسیم و نیترید سیلیسیم است.

پودرها و افزودنی‌ها:

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

در حوزهٔ سرامیک‌های سنتی، پودرها مواد غیرآلی هستند که در فرآیندهای مختلف بصورت بلوک یا قطعهٔ نهایی شکل می‌گیرند و افزودنی‌ها مواد غیرآلی هستند که استفاده از پودرها را در فرآیندهای مختلف آسان می‌کنند و در قطعهٔ نهایی باقی نمی‌مانند. این تعریف‌ها صحت خود را تا حد زیادی در مورد سرامیک‌های پیشرفته که از تکنولوژی‌های پیچیدهٔ شیمیایی بهره می‌برند، از دست داده‌اند.

پودرهای سرامیکی پیشرفته و افزودنی‌ها بعنوان مواد خام برای سرامیک‌های ساختاری و سرامیک‌های الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پودرهای سرامیکی پیشرفته بازاری بالغ بر ۲,۷ میلیارد دلار را به خود اختصاص داده‌اند که رشد متوسطی معادل ۲ درصد برای آنها تا سال ۲۰۰۵ پیش‌بینی شده است. پوردهای اکسیدی ۸۵ درصد از این بازار را از نظر ارزش و ۹۵ درصد را از نظر وزن به خود اختصاص داده‌اند. بقیهٔ بازار مربوط به غیراکسیدی‌هایی نظیر کاربید سیلیسیم، نیترید سیلیسیم، نیترید آلومینیوم و تیتانیوم دی‌براید است. پودرهای آلومینیومی با کارایی بالا، پودرهای زیرکونیا که در بیوسرامیک‌ها استفاده می‌شوند و کاربردهای مربوط به سیستم‌های مخلوط چند اکسیدی مثل شیشه‌سرامیک‌ها و سرامیک‌های با ضریب انبساطی پایین، رشد متوسط بالاتری را از خود نشان خواهند داد. رشد بازار افزودنی‌ها کمی بیشتر از پودرها خواهد بود که علت آن رواج افزودنی‌های با کارایی بالا و افزودنی‌های قوی در روش‌های تولید از قبیل شکل دادن گرم و سرد و قالب‌گیری تزریقی است.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۱-۴-سرامیکهای مغناطیسی:

مواد مغناطیسی، در صنایع مهمی همچون کامپیوتر و خودرو کاربردهای گسترده دارند و بشر روز به روز به دنبال تولید بیشتر و بهتر این مواد است. استفاده از خاک‌های نادر در این زمینه، رویکردی است که در دنیا مورد توجه بسیار قرار گرفته است. مطلب زیر به بررسی نحوهٔ ظهور مغناطیس‌های خاک نادر و توسعهٔ آنها تا ظهور مغناطیس‌های NdFeB پرداخته است:

پنج رویداد تاریخی تا ظهور مغناطیس‌های خاک نادر:

۱- اولین رویداد، کشف خواص آهنربایی گادولینیوم توسط یوربین و همکارانش بود که در سال ۱۹۳۵ به ثبت رسید و برای اولین بار مشخص شد خاک‌های نادر دارای خواص مغناطیسی هستند.

۲- در پروژهٔ منهاتان در طول جنگ جهانی دوم، رویداد دوم اتفاق افتاد. آن زمان، روش‌هایی برای جداسازی اورانیوم جهت ساخت بمب اتم لازم بود. این روش‌ها استفادهٔ کم‌خطر و شیمیایی از اورانیم را توسعه داد. این موضوع برای خاک‌های نادر نیز اتفاق افتاد و این تکنولوژی توانایی بالایی را اولین بار برای جداسازی خاک‌های نادر فراهم کرد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۳- گزارشی که در سال ۱۹٦۰ توسط هابارد و همکارانش منتشر شد رویداد سوم را رقم‌زد. این گزارش به وجود خواص آنتی‌فرومغناطیس در $GdCo_5$ که با ترکیب کردن Gd و Co به‌وجود آمده بود، اشاره داشت. این موضوع امیدهایی را در مورد وجود خاصیت مغناطیسی در ترکیبات (RCo_5 R عنصر خاک نادر) بوجود آورد. البته بعدها هابارد و همکارانش عضویت $GdCo_5$ را در خانوادهٔ RCo_5 رد کردند.

٤- هنوز سال ۱۹٦٦ نشده بود که هوفر و استرنت در مورد خواص مغناطیسی (YCo_5 Y یکی از عناصر خاک نادر) گزارشی را منتشر کردند. این اتفاق سرآغازی برای تحقیق در مورد خواص مغناطیسی RCo_5 بود و بدین وسیله محققین دریافتند این موضوع زمینه مناسبی برای تحقیق است.

٥- سرانجام ساماریم (Sm) بعنوان خاک نادر ایده‌آل برای استفاده در ترکیبات RCo_5 کشف شد. شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی چون جنرال الکتریک، جنرال موتورز، ریتون و دانشگاه‌های دیتون و پترسبورگ در امریکا بر روی این ماده کار می‌کردند. در همان زمان‌که $SmCo_5$ با خواص مغناطیسی عالی، آرام‌آرام در حال تجاری شدن بود، ترکیب PtCo نیز ظهور کرد و حتی در ساعت‌ها نیز بکارگرفته شد، اما بسرعت با تجاری شدن $SmCo_5$ از رده خارج گردید. این اتفاق زمانی به وقوع پیوست که $SmCo_5$ در ارزان‌ترین سطح قیمت و بالاترین حد کورسیویتهٔ قرار داشت.

پیشرفت‌های پس از ظهور $SmCo_5$ و بروز مشکلات

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

SmCo۵ اولین تجربه در بکارگیری خاک‌های نادر در ساخت آهنرباهای تجاری بود. بعد از دهۀ ۱۹۷۰ این مغناطیس‌ها بهبود نسبتاً کمی در خواص یافتند که مغناطیس‌های (۲-۱۷) Sm۲(FeCuCoZr)۱۷ حاصل این بهبود بود. این آلیاژ از هر دو جهت ترکیب و فرآیند ساخت پیچیده بود. اما خواص بهتر و مطلوب‌تری نسبت به SmCo۵ داشت.

علاوه بر امریکا و اروپا که فعالیت‌هایی در مورد این مواد داشتند حجم زیادی از تحقیقات در ژاپن صورت می‌گرفت که در این زمینه شرکت‌های TDK و شینتسو فعالیت بیشتری داشتند. بعد از دهۀ ۱۹۸۰ تحقیقات بر روی آهنرباهای دائم فریتی در امریکا کاهش یافت و جایگزینی‌هایی در این زمینه صورت گرفت که از جملۀ آن بکارگیری مغناطیس (۲-۱۷) در هدفون و موتورچرخان واکمن سونی بود.

به علت نیاز به قیمت‌های کمتر از SmCo۵، وجود نیازهای مغناطیسی فراتر از قابلیت‌های SmCo۵ و نیاز به طراحی جدید برای هر کاربرد خاص، تولید یک مادۀ جدید که این مشکلات را نداشته باشد، ضروری بنظر می‌رسید.

علاوه بر محدودیت‌های که در بالا مطرح شد. کبالت مورد استفاده در این ماده نیز مشکلاتی را برای این مغناطیس بوجود آورد. کبالت حدود ٦٦ درصد در SmCo۵ و ۵۰ درصد در مغناطیس‌های (۲-۱۷) کاربرد داشت. در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ چندین بار تولید کبالت قطع شد که علت آن ناآرامی سیاسی در زئیر، بزرگترین منبع تولید

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کبالت در غرب بود. با توجه به این مسائل، بعید به نظر می‌رسد که SmCo۵ بتواند در سطح وسیعی از کاربردها مثل اتومبیل به کار گرفته شود. اگر چه بحث‌هایی در مورد افزایش ساماریم در این ترکیبات وجود داشت ولی این مسأله نیز هرگز تحقق نیافت.

ظهور NdFeB

{این روند تا آنجا ادامه یافت که جان هریست از شرکت جنرال‌موتورز در سال ۱۹۷۸ پیشنهاد تولید مغناطیسی با خواص SmCo۵ که فاقد هر دو عنصر Sm و Co باشد را مطرح نمود. در کنفرانس جاذبه و مواد مغناطیس که در نوامبر سال ۱۹۸۳ در پیتسبورگ برگزار شد، اولین فرمول شناخته شده در مورد NdFeB ارائه شد و در مورد آن بحث گردید. در این کنفرانس مشخص شد که گروه‌های زیادی در مناطق مختلف جهان در این زمینه کار می‌کنند. }

مهم‌ترین روش‌های تولید در این زمینه متالورژی پودر و ریخته‌گری چرخشی بود. صرف نظر از روش‌های تولید، نتایج فوق‌العاده بود و پتانسیل‌ها در این زمینه غیرقابل باور به‌نظر می‌رسید. در سال بعد (۱۹۸٤) NdFeB تجارتی جایگزین SmCo۵ و مغناطیس‌های (۲-۱۷) شد و با سرعت زیادی این جایگزینی انجام گرفت که دلایل آن به شرح زیر است:

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۱) به دلیل مشابهت روش تولید SmCo۵ و NdFeB (متالورژی پودر) این جایگزینی به سرعت در کمپانی‌های تولیدکننده صورت گرفت و این کمپانی‌ها به سرعت به تولید معقولی در این زمینه دست یافتند.

۲) در اثر حضور SmCo، پذیرش مغناطیس‌های خاک نادر از طرف بازار به راحتی صورت گرفت که به دلیل آشنایی قبلی مصرف‌کنندگان با مغناطیس‌های خاک نادر بود.

۳) انتظار مشتری‌های زیادی برای ظهور ماده‌ای با این خواص، رشد سریع آنرا به دنبال داشت.

{رشد بازار NdfeB یکنواخت نیست و به نظر می‌رسد یک جهش سریع و سپس یک توقف دارد. این مسئله بدلیل تغییرات بازار کامپیوتر است. اگر چه کاربردهای دیگری نیز برای این مواد توسعه داده شده است ولی رشد بازار باقیمانده نیز ناهماهنگ است و هنوز تاحد زیادی به بازار کامپیوتر بستگی دارد. }

حضور چین در بازار

در دهۀ ۱۹۹۰ چینی‌ها رشد خوبی در حوزۀ خاک‌های نادر داشتند. محرک ابتدایی منابع خاک نادر در اینرمونگولیا نزدیک پاوتو بود که بزرگترین منبع خاک نادر در جهان است و نسبت خاک رس موجود در آن نسبت به سایر جاها کمتر است. در سال

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۲۰۰۱ چین برای ۸۰ درصد از تولید لانتانیدهای(گروهی از عناصر خاک نادر) جهان برنامه‌ریزی کرد. شکل (۱)، افزایش منابع تولید خاک‌های نادر را به اندازهٔ ۳۳ درصد بین سال‌های ۱۹۹٤ تا ۲۰۰۱ نشان می‌دهد.

در این دوره سهم امریکا از بازار جهانی از ۳۲ درصد به ٦ درصد تنزل کرده است در حالیکه سهم چین از ٤۷ درصد به ۸۲ درصد افزایش یافته است. نفوذ فرآورده‌های چینی باعث نزول قیمت خاک‌های نادر در دههٔ گذشته شده است. برای مثال فلز نئودیمیوم (Nd یک عنصر خاک نادر) که در سال ۱۹۹۰، ۵۰ دلار برای هر کیلوگرم قیمت داشت، الان زیر ۱۰ دلار برای هر کیلوگرم ارزش دارد. قیمت مغناطیس‌ها نیز در این دوره کاهش پیدا کرده ولی به این شدت نبوده است.

بعد از دههٔ ۱۹۹۰ توان رقابت چین در تولید مغناطیس‌ها به نحو چشم‌گیری افزایش یافته و امریکا و تمام تولیدکنندگان جهان را تحت تأثیر قرار داده است. وجود منابع خاک نادر، کارگر ارزان و تمایل به تولید انبوه در چین منجر شده که مغناطیس‌های خاک نادر و محصولاتی که مغناطیس‌ها در آنها کاربرد دارند از چین به جهان صادر شود. شکل (۲) تفکیک واردات مواد مغناطیسی به امریکا را در ده سال گذشته نشان می‌دهد. در دههٔ گذشته واردات امریکا ۱٦ درصد افزایش یافته است. سهم چین از واردات امریکا از ۷,۲ درصد به ۳٤ درصد افزایش یافته و سهم ژاپن از ٤٤ درصد به ۳۲ درصد کاهش یافته است.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۱-۵-کاربردهای سرامیکهای مغناطیسی:

مواد مغناطیسی از جمله مواد مهندسی بسیار مهمی هستند که کاربردهای مختلفی را به خود اختصاص داده‌اند. به طور مثال می‌توان به کاربرد آنها در سیستم‌های الکترونیکی اشاره کرد که هر روزه از آنها استفاده می‌کنیم. متن زیر که از خبرنامهٔ انجمن سرامیک ایران (شمارهٔ ۱۰) نقل شده است، به معرفی و کاربرد مواد مغناطیسی پرداخته است:

به طور کلی مواد مغناطیسی به دو دسته سخت‌مغناطیس (نظیر آهنرباهای دائم) و نرم‌مغناطیس (نظیر مواد مغناطیسی با پسماند مغناطیسی کم) تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- آهنرباهای دائم سرامیکی مواد مغناطیسی دائم به دسته‌ای از مواد اطلاق می‌شود که خاصیت مغناطیسی خود را پس از حذف میدان مغناطیسی خارجی حفظ می‌کنند و کاربردهای وسیعی را به خود اختصاص داده‌اند. به عنوان مثال می‌توان از کاربرد آنها در یخچال‌ها، موتورهای جریان مستقیم، نگهدارنده‌ها، دستگاه‌های سنجش، بلندگوها و بسیاری موارد دیگر نام برد.

اکثر آهنرباهای دائمی تجارتی، از فریت‌های سخت‌مغناطیس سرامیکی تشکیل شده‌اند که حاوی اکسیدهای مختلفی می‌باشند. البته قیمت مواد اولیه فریت‌های سخت-مغناطیس، در مقایسه با مواد مورد نیاز برای آهنرباهای فلزی نظیر آلیاژ AlNiCo و یا ترکیبات آلیاژهای کمیاب خاکی، کمتر می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که فریت-

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

های سخت‌مغناطیس سرامیکی، به لحاظ دارا بودن میدان‌های پسماندزدای (Hc) قوی-تر در مقایسه با آهنرباهای فلزی نظیرAlNiCo، می‌توانند در ابعاد کوچکتری، بدون اینکه مواجه با خطر میدان‌های آهنربازدا باشند، تهیه شوند.

فریت‌های سخت‌مغناطیس سرامیکی از نوع هگزاگونال، یک بخش از خانواده اکسیدهای کمپلکس با فرمول عمومی $MO.٦Fe_٢O_٣$ می‌باشند که MO معرف اکسیدهای: باریم، استرانسیم، سرب و یا ترکیبی از این عناصر می‌باشند. از مواد مهم تجارتی در این گروه می‌توان به فریت‌های باریم با فرمول $BaO.٦Fe_٢O_٣$ و فریت استرانسیم با فرمول $SrO.٦Fe_٢O_٣$ اشاره کرد.

در این راستا از افزودنی‌های مختلفی نظیر $Sio_٢$ یا $AL_٢O_٣$ بمنظور افزایش میدان پسماندزدای (Hc) و کمک زینتر، استفاده می‌گردد. سرامیک‌های مغناطیسی همچنین بر مبنای میزان نظم ریزساختارشان که در پروسه تولید قابل کنترل می‌باشد، به دو گروه تقسیم می‌شوند:

نوع اول مگنت‌های آنیزوتروپ (جهت‌دار)، که دارای یک محور ترجیهی مغناطیسی می‌باشند و نوع دوم مگنت‌های ایزوتروپ (غیرجهت‌دار)، که دارای یک بافت ریزساختاری جهت‌دار نمی‌باشند و خواص مشابهی را در جهات مختلف از خود نشان می‌دهند. همچنین در مگنت‌های جهت‌دار آنیزوتروپ بخاطر وجود یک محور یکسان، انرژی مغناطیسی ماکزیمم می‌باشد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کاربرد مواد مغناطیسی دائم بر پایهٔ عملکرد ویژه مغناطیسی‌شان می‌باشد و در سیستم‌های فضانوردی، کامپیوتر، الکترونیک، پزشکی، صنعت خودروسازی، صنایع نظامی، وسایل انتقال اطلاعات و غیره مشاهده می‌شوند. در واقع فریت‌های سخت مغناطیس سرامیکی در بسیاری از موارد مورد استفاده قرار می‌گیرند: از اسباب-بازی‌های ساده و قفل‌های کابینت گرفته تا موتورهای الکتریکی DC.

آهنرباهای بزرگ در سپراتورهای مغناطیسی برای تغلیظ مینرال‌ها و فیلترهای آبی و آهنرباهای کوچک در صفحات نمایشگر اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صنعت، آهنرباهای دائم سرامیکی به چندین گروه تقسیم می‌شوند: سرامیک‌های مغناطیسی مشهور به گروه ۱، از مواد ارزان قیمت ساخته می‌شوند و کاربردهایی نظیر: قفل‌های ساده، کوپل‌های مغناطیسی هم‌محور برای کنتورهای آب و یاتاقان‌های بدون اصطکاک در کنتورهای برق را به خود اختصاص داده‌اند.

سرامیک‌های مغناطیسی مشهور به گروه ۲، در موتورهای DC مورد استفاده در خودروها، موتورهای پله‌ای (Stepper Motors) و کوپل‌های مغناطیسی هم‌محور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سرامیک‌های مغناطیسی مشهور به گروه ۵، بصورت آهنرباهای حلقه‌ای شکل در بلندگوها و جداکننده‌های مغناطیسی و دیسک‌های مورد استفاده در کوپل‌های مغناطیسی، مورد مصرف قرار می‌گیرند.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

سرامیک‌های مغناطیسی مشهور به گروه ۷ و ۸، در موتورهای DC، موتورهای DC Brushiess و ژنراتورها و محرک‌های القایی خطی استفاده می‌شوند.

۲- فریت‌های نرم‌مغناطیس مواد نرم‌مغناطیس بطور کلی با اعمال میدان‌های ضعیف مغناطیسی، خاصیت مغناطیسی از خود نشان می‌دهند. وقتی نیروی اعمالی حذف می-شود، خاصیت مغناطیسی باقیمانده در آن‌ها تضعیف می‌گردد. اهمیت نرم‌مغناطیس‌ها در بسیاری از سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی مشهود است.

مواد نرم‌مغناطیس در سیستم‌های توزیع نیرو، تغییر انرژی الکتریکی به مکانیکی و ارتباطات مایکروویو مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنها همچنین به عنوان مبدل‌های الکتریکی و مواد فعال جهت ذخیره‌سازی اطلاعات در بسیاری از سیستم‌های اطلاع-رسانی عمل می‌کنند. بسیاری از کاربردهای جدید آنها در اثر بهبود خواص و ویژگی-های این مواد بوده است.

مواد اولیهٔ فریت‌های نرم‌مغناطیس، اکسیدهای سرامیکی هموژنی هستند که اکسید آهن به عنوان جزء اصلی آنها می‌باشد. فریت‌ها می‌توانند ساختارهای کریستالی متفاوتی را دارا باشند.

بطور کلی ۳ ساختار کریستالی برای فریت‌های تجاری امروزی شناخته شده است:

اولین کلاس دارای ساختار مگنتوپلامبایت هگزاگونالی است (مثل: $BaFe_{12}O_{19}$).

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

دومین کلاس دارای ساختار گارنت می‌باشد که به گارنت مغناطیسی یا فریت‌های مایکروویو نیز شهرت دارد. فرمول عمومی این گروه بصورت $M_2O_3,_5FeO_{33}$ یا $M_3Fe_5O_{12}$ می‌باشد. یون‌های فلزی در این ترکیب، در مقایسه با دو کلاس دیگر سه ظرفیتی هستند. در گارنت‌های مغناطیسیM، معمولاً ایتریم (Y+3) یا یکی از یون‌های کمیاب خاکی‌ها نظیر Gd+3 بصورت ($Gd_3Fe_5O_{12}$) می‌باشد.

سومین کلاس دارای ساختار اسپینلی می‌باشد. در اینجا، اکسیدهای آهن یا فلزاتی نظیر: نیکل، منگنز، روی، منیزیم و کبالت بصورت منفرد یا ترکیبی وجود دارند. کلاس اسپینلی نام خود را از مینرال غیر مغناطیسی $MgAl_2O_4$ یا $MgAl_2O_3$ گرفته است و دارای ساختار مکعبی پیچیده‌ای می‌باشد. در اسپینل‌های مغناطیسی، یون دوظرفیتی Mg_2+ می‌تواند توسط Cu_2+، Co_2+، Fe_2+، Zn_2+، Li_2+، Mn_2+، Ni_2+، و یا در بیشتر مواقع با ترکیبی از این یون‌ها جایگزین گردد. یون Al_3+ نیز می‌تواند جانشین Fe_3+ گردد.

اسپینل‌های مغناطیسی دارای فرمول عمومی MFe_2O_4 یا $MO.Fe_2O_3$ می‌باشند.

نرم‌مغناطیس‌ها همچنین بر اساس محدوده فرکانسی نیز تقسیم بندی می‌شوند:

فریت‌های غیر مایکروویو برای فرکانس‌هایی از محدوده شنوایی تا MHz۵۰۰

فریت‌های مایکروویو برای فرکانس‌هایی در محدوده MHz-۵۰۰GHz۱۰۰

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فریت‌های غیر مایکروویو خود به دو بخش زیر تقسیم می‌شوند:

فریت‌ها با حلقه هیستریزیس مستطیلی شکل برای حافظه‌های کامپیوتری

فریت‌های خطی(مرکب از فریت‌های منگنز- روی و نیکل- روی) برای مبدل‌ها و سلف‌ها در فیلترها فریت‌های مایکروویو، فراهم کننده یک محیط غیرفعال با تلفات کم می‌باشند که اجازه انتشار امواج را با تلفات ناچیز فراهم می‌کنند. در حقیقت با توجه به اینکه امواج الکترومغناطیس از دو مولفه الکتریکی و مغناطیسی تشکیل شده‌اند، با برهم‌کنش مولفه مغناطیسی موج با ممان‌های مغناطیسی ماده و مولفه الکتریکی موج با مولفه دی الکتریکی فریت، رفتار موج الکترومغناطیس تحت تأثیر پارامترهایی نظیر قابلیت نفوذ مغناطیسی، قابلیت نفوذ دی‌الکتریکی و آهنربایش ماده قرار می‌گیرد. با به کار بردن یک میدان مغناطیسی DC خارجی، واکنشی بین سینگال مایکروویو و محیط انتشار موج(فریت) صورت می‌پذیرد که امکان کنترل آن را فراهم می‌سازد.

بیش از ۱۰۰ نوع ترکیبات فریتی به عنوان فریت‌های مایکروویو برای تولید تجهیزات مخابراتی معرفی شده‌اند. مواد فریتی نرم‌مغناطیس در وسایلی نظیر: مبدل‌ها، موتورها، ژنراتورها، سولونوئیدها، رله‌هایDC و حفاظ‌های مغناطیسی بکار برده می‌شوند. با وجود مقاومت الکتریکی بالا و خواص مغناطیسی خوب، از این فریت‌ها به عنوان یک هسته عالی برای فیلترها در محدوده فرکانسی ۵۰ - ٤۵۰KHz استفاده می-شود.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

با گسترش صنعت تولید تلویزیون در سال ۱۹۵۰، اهمیت صنایع تولید فریت‌ها بیشتر نمود پیدا کرد. هسته‌های فریتی در سیستم تقارب اشعه الکترونیکی لامپ تصویر تلویزیون و ترانس‌های ولتاژ، مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین از فریت‌های نرم در منابع تغذیه از نوع (Switch Mode) که کاربردهای وسیعی، در کامپیوتر و مخابرات دارد، استفاده می‌گردد.

در سال ۱۹۷۰ هسته‌های فریتی بطور گسترده‌ای برای فیلترها در وسایل مربوط به سیستم‌های مخابراتی مورد استفاده قرار گرفتند. در سال ۱۹۸۰ از هسته‌های فریتی در منابع تغذیه فرکانس بالا استفاده گردید. اکثر فریت‌های اسپینلی رایج، یکی از انواع فریت‌های منگنز-روی و نیکل- روی می‌باشند که در ترانسفورماتورها، سلف‌ها و هدهای ضبط صوت یا ویدئو به کار می‌روند.

عملکرد فریت منگنز- روی ترجیحاً برای فرکانس‌هایی تا ۱MHz می‌باشد. بقیه فریت-های اسپینیلی نظیر منیزیم- منگنز، نیکل- روی و فریت‌های لیتیمی در تجهیزات مایکروویو، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بقیه کاربردهای مربوط به فریت‌های نرم-مغناطیس شامل هسته‌های حافظه، سنسورهای دمایی، اجزاء موتورهای الکتریکی، هسته‌های ترانسفورماتورها و حذف‌کننده‌های نویز الکتریکی می‌باشند.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

از میان فریت‌هایی که به آنها در این مقوله اشاره شده است، فریت‌های هگزاگونالی خواص ویژه‌ای دارند که آنها را برای استفاده در فرکانس‌های بالا (MHz۱۰۰<) مناسب کرده است.

فریت‌های نیکل- روی برای فرکانس‌های بالاتر از فرکانس کاربردی فریت‌های منگنز- روی ترجیح داده می‌شوند، زیرا دارای هدایت الکتریکی پائین‌تری می‌باشند. از فریت‌ها معمولاً به عنوان آنتن‌های گیرنده در رادیوها استفاده می‌شود و به جرأت می‌توان گفت تقریباً تمام گیرنده‌های رادیویی AM از این آنتن‌ها استفاده می‌کنند.

نکته قابل ذکر دیگر اینکه، شکل هسته‌های فریتی با توجه به خواص مکانیکی و مغناطیسی ویژه طراحی می‌شود. به عنوان مثال اشکال مختلفی از هسته برای سلف- های دارای ضریب کیفیت بالا (Q-Factor) و اتلاف پایین مورد نیاز می‌باشد.

توسعه بازار مربوط به فریت‌های مایکروویو، وابسته به توسعه سیستم‌ها و تجهیزات مخابراتی و نظامی نظیر رادار و غیره می‌باشد. فریت‌های مایکروویو نظیر گارنت ایتریم-آهن به عنوان هدایت‌کننده‌های امواج برای انتشار امواج الکترومغناطیس و جابجاکننده‌های فازی (Phase Shiftr) استفاده می‌شوند. از دیگر کاربردهای فریت- های مایکروویو می‌توان به ایزولاتورها، سیرکلاتورها، اسیلاتورها، سوئیچ‌ها و فیلتر- ها اشاره کرد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کار برد های سرامیکهای زیرکونیایی ZRO۲

تحقیق درمورد زیرکونیا مورد توجه شمار زیادی از دانشمندان و متخصصین میباشد امروزه کاربردهای تجاری فراوانی برای صنعت سرامیک مهندسی موجود می باشد .

عنصر زیرکونیم در صخره های آتشفشانی یافت میشود و این عنصر بصورت اکسید بادلیت آزاد، که همواره مقادیر جزیی از اکسید هافنیم به همراه دارد، و به صورت اکسید مرکبی با سیلیسیم به نام زیرکن(Zro۲) ، (Sio۲نیز پیدا میشود.

زیرکونیا دارای سه فاز کریستالین مونوکلینیک، تتراگونال و کوبیک میباشد که در هر فاز دارای نقطه ذوب و دانسیته متفاوت است ومونوکلینیک در دمای ۱۱۷۰ ^{o}cبه تتراگونال تبدیل میشود و در دمای ۲۳۷۰ ^{o}c به فاز کوبیک و از آن پس تا نقطه ذوب برابر ۲٦۸۰ ^{o}c به فاز مایع تبدیل میگردد.و به همین دلیل در صنعت استفاده از زیرکونیا زیاد میباشد.

زیرکن رایجترین و به طور وسیع پراکنده ترین کانی تجاری میباشد . این کانی که در ابتدا با رسوبات آتشفشانی همراه بوده است ، بواسطه تلفیقی از تأثیرات آب و هوایی و تغلیظ ناشی از دانسیته بالایش بصورت رسوبات ثانوی و پر حجمی در ماسه های ساحلی تجمع یافته است .روشهای تولید محصولات زیرکونیایی کاملاً وابسته به خلوص آن میباشد. خواص سرامیکهای زیرکونیا بر این مطلب اشاره دارد که ترکیب استحکام، چقرمگی (مقدار انرژی لازم برای شکست مکانیکی) و مقاومت شیمیایی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

امکان کاربرد این مواد را در محیطهای خشن و سخت تحت شرایط بارگذاری شدید، فراهم میسازد. مثلا سرامیکهای دارای آلومیناو زیرکونیا در مقایسه با آلومینای معمولی دارای استحکام ، چقرمگی و مقاومت سایشی بیشتری هستند و در نتیجه میتوان از کاربرد سرامیکهای کامپوزیت (کامپوزیتها اختلاطی از دو یا چند ماده مجزا از نظر فیزیکی و شیمیایی هستند که خواصی را در مجموع ایجاد میکنند که بر خواص مواد سازنده آنها ارجعیت دارند.)، نوک ابزار برش را نام برد. استفاده دیگر ازاین سرامیکها در ساخت قطعات موتور خودروها، به ویژه موتورهای دیزل میباشد، از این ماده میتوان در قسمتهایی از موتور که فشار زیادی را در درجه حرارت پایین تحمل میکند استفاده کرد. عملی ترین کاربرد این ماده استفاده از آن در پوشش سر پیستونها است که با استفاده از خاصیت هدایت حرارتی پایین آن بصورت عایق حرارتی عمل میکند و باعث کاهش گم گشت حرارتی از محفظه احتراق شده و در نتیجه بازدهی و طول عمر موتور را افزایش میدهد .

همچنین یکی دیگر از کاربرد های زیرکونیا که فعلا مورد تحقیق و بررسی میباشد، به عنوان یک ماده بیولوژیکی قابل نصب به جای مفصل فرسوده در بدن انسان میباشد. از موارد مورد استفاده دیگر میتوان عایق های حرارتی و آجر نسوز را نام برد. در این مورد میزان و نوع تخلخل سرامیک تولید شده، تاثیر تعیین کننده ای در خواص حرارتی آن دارد ،(تخلخل به دو دسته تبدیل میشود: تخلخل باز و تخلخل بسته. به تخلخلی که به سطح آزاد جسم راه داشته تخلخل باز و به تخلخلی که از هیچ راه به

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

سطح آزاد مرتبط نیست ودر انتهای عمل پخت حاصل میشود ، تخلخل بسته میگویند.)

آنچه در خوردگی آجر مهم است تخلخل باز است و همچنین باعث کاهش استحکام و بارپذیری آجر نیز میشود ولی باعث افزایش مقاومت به شوک حرارتی نسوز میشود زیرا حفره بعنوان عامل کند کننده رشد ترک عمل میکند بطوریکه عوامل بسیاری بر روی تخلخل ظاهری ، نمونه ها بعد از عملیات حرارتی مؤثر میباشد که از جمله این عوامل میتوان به نوع و توزیع دانه بندی مواد اولیه مورد استفاده و چگونگی توزیع مواد چسبی در بین ذرات سیستم اشاره کرد همچنین به فشار پرس، دما، زمان پخت و افزودنیهای خاص نیز می توانند در دانسیته و تخلخل مؤثر باشند.

با اضافه کردن اکسید آلومینیوم Al۲o۳ و ااکسید منیزیم MgO میزان تخلخل کاهش می یابد وبا اضافه کردن Fe۲o۳ میزان تخلخل افزایش می یابد.

از آنجا که سرامیکها از دانسیته پایین تر و مقاومت پوششی عالی نسبت به فلزات برخوردارند و همچنین با توجه به خواص مقاومت حرارتی بالای این مواد، از انها در ساخت ماشینهای درون سوز نیز استفاده میشود و و همچنین کاربردهای فراوانی را در صنعت دارا میباشند.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد