بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

مواد پیشرفته

جلسه دهم

(سرامیک های پیشرفته)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

سرامیک های پیشرفته

سرامیک هنری است که شروع آن به گذشته ای بسیار دور و حتی شاید پیش از اختراع خط باز بر می گردد اما امروزه به عنوان یک فناوری جدید مطرح است.

واژه سرامیک از کلمه یونانی کراموس (Keramos) گرفته شده است و به معنی خاک پخته یا سفالینه یا ماده سوخته در آتش بوده است و ابتدا به خاک رس کوزه گری و کوزه گری گفته می شد.

سرامیک های پیشرفته

تاریخچه سرامیک ها

2200 سال ق.م: نخستین بدنه های ساخته شده از رس پخته شده

8000 سال ق.م: ظروف پخته شده در خاور نزدیک

6000 سال ق.م: پوشش های دوغابی تزئین شده با رنگ های قرمز و سیاه

1600 سال ق.م: لعاب ها

قرن دهم: ظروف کوارتز و رس در مصر

قرن چهاردهم: کاشی سفید

قرن چهاردهم: چینی

سرامیک های پیشرفته

- با انقلاب صنعتی در اروپا و استفاده از کوره های صنعتی و موتورهای بخار، استفاده گسترده از مواد سرامیکی به عنوان عایق در مصارف مذکور گسترش یافت.
- در قرون 19 و 20، جنبه های علمی سرامیک ها گسترش یافت و مواد ساختمانی نظیر آجر، لوله های فاضلاب، ظروف بهداشتی، کف پوش و ... گسترش یافتند.
- سپس پشم سنگ به عنوان نخستین الیاف سرامیکی به عنوان عایق ساخته شد.
- در ادامه، مواد دی الکتریک (عایق برقی)، مواد مغناطیسی سرامیکی، نیمه هادی ها، ابررساناها و ... پا به عرصه گذاشتند.

سرامیک های پیشرفته

در تعریف اولیه، سرامیک به عنوان هنری تعریف شده است که درخصوص طراحی و ساخت اشیای رسی بحث می کند.

امروزه سرامیک هنر و علم ساختن و بکار بردن اشیای جامدی است که اجزای تشکیل دهنده اصلی و عمده آن مواد غیرآلی و غیرفلزی باشد.

در مجموع، سرامیک ها موادی متشکل از دو یا چند عنصر هستند که عمدتاً به صورت ترکیب شیمیایی غیرفلزات با فلزات می باشند. در موارد خاص مثل کربن و بور، یک عنصر نیز به تنهایی سرامیک محسوب می شود.

سرامیک های پیشرفته

سرامیک ها موادی با پیوند یونی یا کووالانت هستند.

سرامیک ها می توانند دارای ساختار یونی کامل، کووالانت کامل یا ترکیبی از دو نوع باشند.

البته در مواردی سرامیک ها می توانند علاوه بر پیوندهای یونی و کووالانت دارای پیوند واندروالس نیز باشند نظیر گرافیت.

حتی سرامیک ها در مواردی نیز می توانند برخی از خصوصیات پیوند فلزی را از خود نشان دهند نظیر کاربیدهای فلزی مانند WC و MoC

اما در تمامی این موارد و ساختارها رفتار غالب پیوندهای یونی و کووالانت است.

سرامیک های پیشرفته

نمونه هایی از قطعات سرامیکی

سفال	چینی (پرسلان)	دیرگداز	ساینده
شیشه	شیشه سرامیک	مینا	لعاب
مواد مغناطیسی	سیمان	کاشی	مواد فروالکتریک

سرامیک های پیشرفته

- سرامیک ها می توانند به صورت آمورف، کریستالی یا ترکیبی از آنها باشند.
- اگر سرامیک کاملاً آمورف باشد به عنوان شیشه معرفی می شود.

سرامیک های پیشرفته

سرامیک های با پیوند کووالانت (ناشی از به اشتراک گذاشتن الکترون های لایه آخر)، عموماً استحکام، سختی و نقطه ذوب بالایی داشته و ضریب انبساط حرارتی آنها کم است.

انواع سرامیک های با پیوند کووالانت:

- کاربیدها: WC، TiC، SiC
- بورایدها: LaB، TiB
- نیتریدها: SiN، TiN
- سیلیسیدها: MoSi، TaSi

سرامیک های پیشرفته

سرامیک های با پیوند یونی (ناشی از انتقال الکترون های لایه آخر)، سختی و نقطه ذوب بالایی دارند.

اکسیدهایی نظیر Al_2O_3، SiO_2 و ZrO_2 در این گروه قرار می گیرند.

مواد با ترکیبی از پیوندهای یونی و کووالانت نیز در گروه سرامیک ها قرار می گیرند، مانند نیترید بور مکعبی (CBN) و نیترید بور هگزاگونال (HBN).

سرامیک های پیشرفته

طبقه بندی سرامیک ها

در حالت کلی مواد سرامیکی را می توان به چهار گروه دسته بندی کرد:

- ساختمانی: کاربرد در آجرهای ساختمانی، کاشی های سقف و کف ساختمان
- دیرگدازها: کاربرد در آستر کوره ها، بوته های ریختگی، مشعل ها
- چینی آلات: کاربرد در مواد تزیینی
- سرامیک های پیشرفته (مهندسی): کاربرد در پره توربین موتور جت، مواد کاشتنی در بدن

سرامیک های پیشرفته

سرامیک های مهندسی

سرامیک های مهندسی در همه زمینه های تکنولوژی مدرن، از هد بکار رفته در هارد کامپیوتر تا ابررساناهای دمابالا استفاده می شوند.

سرامیک های مهندسی به علت دارا بودن خواص منحصر بفرد، طیف وسیعی از مواد مورد استفاده در صنعت رو به رشد امروزی را به خود اختصاص داده اند. داشتن خواص متنوع و چند منظوره بودن آنها باعث شده است که در برخی موارد این سرامیک ها جایگزین مناسبی برای مواد متداول معمولی از قبیل فلزات شوند.

سرامیک های پیشرفته

دسته بندی سرامیک های مهندسی براساس ترکیب شیمیایی

- مواد سرامیکی تک عضوی
- مواد سرامیکی اکسیدی
- مواد سرامیکی غیراکسیدی
- شیشه ها

سرامیک های پیشرفته

مواد سرامیکی تک عضوی

- مواد سرامیکی تک عضوی عموماً از اتم های چهارظرفیتی C، Si و Ge تشکیل شده اند و البته عنصر B نیز در این گروه قرار می گیرد.
- Si و Ge به عنوان مواد اصلی نیمه هادی ها هستند.
- کربن به صورت گرافیت به دلیل ساختار لایه ای به عنوان ماده روانکار جهت کاهش اصطکاک بین سطوح تماس قطعات در دمای بالا بکار می رود و به دلیل نقطه ذوب بالا جهت بوته های ذوب استفاده می شود.

سرامیک های پیشرفته

مواد سرامیکی تک عضوی

- کربن به صورت الماس برای ابزار برش بکار می رود.
- نوع دیگر کربن نیز ساختار بی شکل یا شیشه ای آن است که ذغال شیشه نام داشته و از تجزیه یا تخریب ترکیبات آلی بدست می آید. این ماده در تجهیزات صنایع شیمیایی بکار می رود.
- گرافیت فاز پایدار کربن بوده ولی الماس فاز پایدار نیست که البته در فشارهای بالا پایدار است.

سرامیک های پیشرفته

خواص انواع کربن

خواص	الماس	گرافیت	کربن بی شکل
نقطه ذوب °C	4100	3750	حداکثر تا 2500
مدول GPa	1220	7000-11500	22000
پایداری در برابر واکنش های شیمیایی	بسیار خوب	بد	خوب
چگالی g/cm^3	2/26	1/4-2	1/5-1/6

سرامیک های پیشرفته

مواد سرامیکی اکسیدی

- مواد سرامیکی پایه اکسیدی دارای نقطه ذوب بالا بوده و فازهای پایدار داشته و تمایلی به واکنش های شیمیایی ندارند.
- مقاومت مناسب در برابر اکسیداسیون، نارسایی الکتریکی و هدایت حرارتی کم، جزء خواص عمومی این دسته از سرامیک هاست.
- تغییرات حجم در هنگام گرم کردن و سردکردن یا به عبارتی ضریب انبساط حرارتی آنها کم است.

Al_2O_3, ZrO_2, TiO_2, BeO, MgO, CaO, SiO_2

سرامیک های پیشرفته

مواد سرامیکی غیراکسیدی

- مواد سرامیکی غیراکسیدی از بیش از یک نوع اتم ساخته شده اند و عمدتاً ترکیبات این گروه را عناصر Si، C و همچنین N و B تشکیل می دهند.
- کاربیدها و نیتریدها در درجه اول و سپس بورایدها و سیلیسیدها از مهمترین ترکیبات این گروه هستند.
- سطح خارجی اکثر سرامیک های غیراکسیدی در دماهای بسیار بالا در معرض خطر اکسیده شدن قرار می گیرند. اما برای انواع اکسیدی این مشکل دیده نمی شود.

$SiC, Si_3N_4, B_4C, TiN, BN, TiB_3, CaB_6$

سرامیک های پیشرفته

شیشه ها

- شیشه ها عموماً پایه سیلیکاتی و حاوی ترکیبات کلسیم و سدیم بوده و آمورف هستند.
- شیشه در حقیقت مایعی است که به صورت صلب و سخت درآمده و از سرد کردن سریع ماده غیرآلی از حالت مذاب بدست می آید.
- شیشه در دمای پایین رفتاری ترد داشته و از قانون هوک پیروی می کند.
- شیشه در دماهای بالا رفتاری همانند مایعات غلیظ دارد.
- تغییر شکل شیشه ها در حالت خمیری صورت می گیرد.

سرامیک های پیشرفته

دسته بندی سرامیک های مهندسی براساس خواص

این تقسیم بندی گسترده تر بوده و معمولاً مصرف کننده های سرامیک ویژه یعنی مهندسین ماشین آلات آن را در نظر می گیرند. اساس کار در این تقسیم بندی خواص قطعات از قبیل خواص مکانیکی، حرارتی، الکتریکی و ... است.

- سرامیک های الکتریکی
- سرامیک های نوری
- حامل های کاتالیست
- سرامیک های مکانیکی
- بیو سرامیک ها

سرامیک های پیشرفته

سرامیک های الکتریکی

- **مواد عایق:** این دسته از سرامیک ها به عنوان عایق در کاربردهایی مانند شمع اتومبیل استفاده می شوند. Al_2O_3 و Be_2O_3 از جمله اکسیدهای سرامیکی عایق پرکاربرد محسوب می شوند.
- **فروالکتریک ها:** برای مبدل (تبدیل یک نوع محرک به نوع دیگر) مورد استفاده قرار می گیرند. تبدیل محرک نوری به الکتریکی و یا مکانیکی به الکتریکی و ... از کاربردهای آن است. این مواد برای تولید مبدل های الکترومکانیکی، الکتریکی-نوری و صوتی-نوری بکار می روند.

برخی از انواع آن: گروه نمک راشل، پروسکایت و ایلمانیت

سرامیک های پیشرفته

سرامیک های الکتریکی

- **پیزوالکتریک ها:** توانایی تبدیل دوجانبه فشار مکانیکی و الکتریسیته به یکدیگر را خاصیت پیزوالکتریک می نامند. از سرامیک های پیزوالکتریک در مبدل ها و وسایلی که انرژی الکتریکی را به مکانیکی تبدیل می کنند از جمله در گرامافون، میکروفون ها، مولدهای ماوراء صوت و ... استفاده می شود.
- **نیمه هادی ها:** ترمیستورها یکی از انواع نیمه هادی ها هستند. این قطعات با تغییرات دما مقاومت الکتریکی شان تغییر می کند و از آنها به عنوان وسیله ای برای اندازه گیری دما استفاده می شود.

سرامیک های پیشرفته

سرامیک های الکتریکی

- **سرامیک های هادی:** سرامیک ها هدایت الکترونی ندارند اما بعضی از آنها می توانند هدایت یونی و سطحی داشته باشند و در آنها انتقال جریان از طریق یون ها صورت گیرد. به عنوان مثال زیرکونیا این خاصیت را دارد و در باتری ها و سنسورهای اکسیژنی کاربرد دارد.

سرامیک های پیشرفته

سرامیک های نوری

- این دسته از سرامیک ها نور را از خود عبور می دهند و شفاف هستند.
- نکته قابل توجه این است که این قطعات با شیشه بسیار متفاوتند، زیرا شیشه ساختار آمورف دارد ولی این سرامیک ها ساختار پلی کریستالی دارند.
- از سرامیک های نوری می توان آلومینای شفاف، مولایت شفاف و اکسید ایتریم شفاف را نام برد.

حامل های کاتالیست

- کاتالیزورها سرعت واکنش را تغییر می دهند، ولی در واکنش شرکت نمی کنند. این کاتالیزورها باید توسط قطعاتی حمل شوند. مثلاً پلاتین که یکی از معروفترین کاتالیست هاست، باید بر روی قطعات ویژه ای سوار شوند تا در حین واکنش استفاده شوند.
- کوردریت $2MgO\text{-}2Al_2O_3\text{-}3SiO_2$ و Al_2O_3 از جمله حامل های کاتالیزوری پرمصرف هستند.

سرامیک های پیشرفته

سرامیک های مکانیکی

- برخی از سرامیک های مهندسی از نظر سختی براساس معیار موس، بعد از الماس قرار می گیرند و لذا به علت داشتن این خاصیت می توانند موادی مناسب در ابزار برش فولاد در سرعت های بالا باشند.
- همچنین به علت سختی بسیار بالا، این مواد مقاوم در برابر سایش هستند و در مواردی که ماده به علت اصطکاک زیاد با دیگر سطوح ساییده می شود، می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

سرامیک های پیشرفته

سرامیک های مکانیکی

- **قلم های تراش:** این قطعات هنگام تراش فلزات نباید تغییر شکل داشته باشند، همچنین باید طول عمر بالایی داشته باشند، لبه آن ها زود کند نشود و حرارت ایجاد شده در سر قلم باعث تغییر شکل نوک قلم نشود.

برای این منظور از Al_2O_3، Si_3N_4، TiC و TiN استفاده می شود. سرمت ها نیز جز این گروه یعنی قلم های تراش به حساب می آیند. از سرمت ها می توان کاربید تنگستن را نام برد.

سرامیک های پیشرفته

بیوسرامیک ها

- سرامیک ها در محیط های شیمیایی و خورنده واکنش نمی دهند و به اصطلاح خورده نمی شوند و مقاومت شیمیایی بالایی دارند. این خاصیت باعث شده که از آنها به عنوان اندام مصنوعی و مواد کاشتنی در بدن استفاده شود.
- بیوسرامیک ها در بدن جای عضو اصلی را می گیرند. این قطعات عموماً آلومینایی هستند، مانند دندان و دریچه قلب.

سرامیک های پیشرفته

خواص مکانیکی سرامیک ها

مدول الاستیک

- مدول الاستیک سرامیک ها بسیار بالا و میزان تغییر شکل آنها بسیار کم است.
- مدول الاستیک در انواع با پیوند یونی در حدود فلزات یا کمی بالاتر و در انواع با پیوند کووالانسی بسیار بالاتر از فلزات است.
- عموماً مدول الاستیک سرامیک ها در محدوده 500-60 گیگاپاسکال است.

سرامیک های پیشرفته

خواص مکانیکی سرامیک ها

تغییر شکل پلاستیک

- تغییر شکل پلاستیک سرامیک ها بسیار محدود و یا در حقیقت در دمای محیط صورت نمی گیرد. علت آن نوع پیوندها و سیستم های لغزش مستقل بسیار محدود و عموما غیرفعال است.
- در دماهای بالا نابجایی ها و سیستم های لغزش فعال شده و تغییرشکل شروع می شود. این دما برای فعال شدن در سرامیک های مختلف متفاوت است که برای انواع یونی کمتر از کووالانسی است.

سرامیک های پیشرفته

خواص مکانیکی سرامیک ها

استحکام

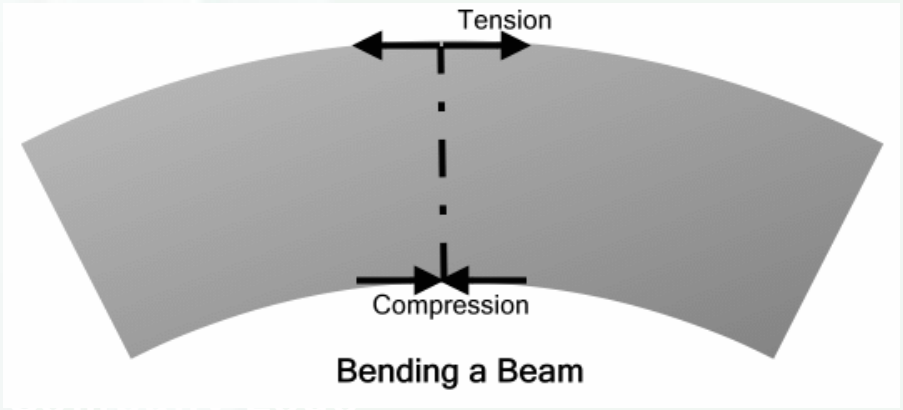
- در مواد سرامیکی چون استحکام پیوندها در جهات مختلف متفاوت است، لذا مدول الاستیک و استحکام سرامیک نیز در جهات کریستالوگرافی مختلف، متفاوت است.
- جهت تست استحکام سرامیک ها از روش های دیگر بجز تست کشش استفاده می شود. چون برخلاف فلزات، سرامیک ها به تنش های کششی حساس هستند. علت آن وجود شکاف ها و ترک های ریز در سرامیک است که به عنوان مراکز تمرکز تنش عمل می کنند.

سرامیک های پیشرفته

خواص مکانیکی سرامیک ها

استحکام

- اگر سرامیکی نظیر آلومینا تحت فشار و کشش قرار گیرد، استحکام فشاری آن 8 برابر استحکام کششی آن می شود.
- اگر استحکام کششی سرامیک یک باشد، استحکام خمشی آن که ترکیبی از کشش و فشار است، 2 و استحکام فشاری آن، 10-5 است. لذا برای سنجش خواص سرامیک از روش خمش استفاده می شود که ترکیب دو خصوصیت فشار و کشش را در بر می گیرد.



سرامیک های پیشرفته

خواص مکانیکی سرامیک ها

Material	Flexural Strength		Modulus of Elasticity	
	MPa	ksi	GPa	10^6 psi
Silicon nitride (Si_3N_4)	250–1000	35–145	304	44
Zirconia[a] (ZrO_2)	800–1500	115–215	205	30
Silicon carbide (SiC)	100–820	15–120	345	50
Aluminum oxide (Al_2O_3)	275–700	40–100	393	57
Glass-ceramic (Pyroceram)	247	36	120	17
Mullite ($3Al_2O_3$-$2SiO_2$)	185	27	145	21
Spinel ($MgAl_2O_4$)	110–245	16–35.5	260	38
Magnesium oxide (MgO)	105[b]	15[b]	225	33
Fused silica (SiO_2)	110	16	73	11
Soda-lime glass	69	10	69	10

[a] Partially stabilized with 3 mol% Y_2O_3.

[b] Sintered and containing approximately 5% porosity.

سرامیک های پیشرفته

خواص مکانیکی سرامیک ها

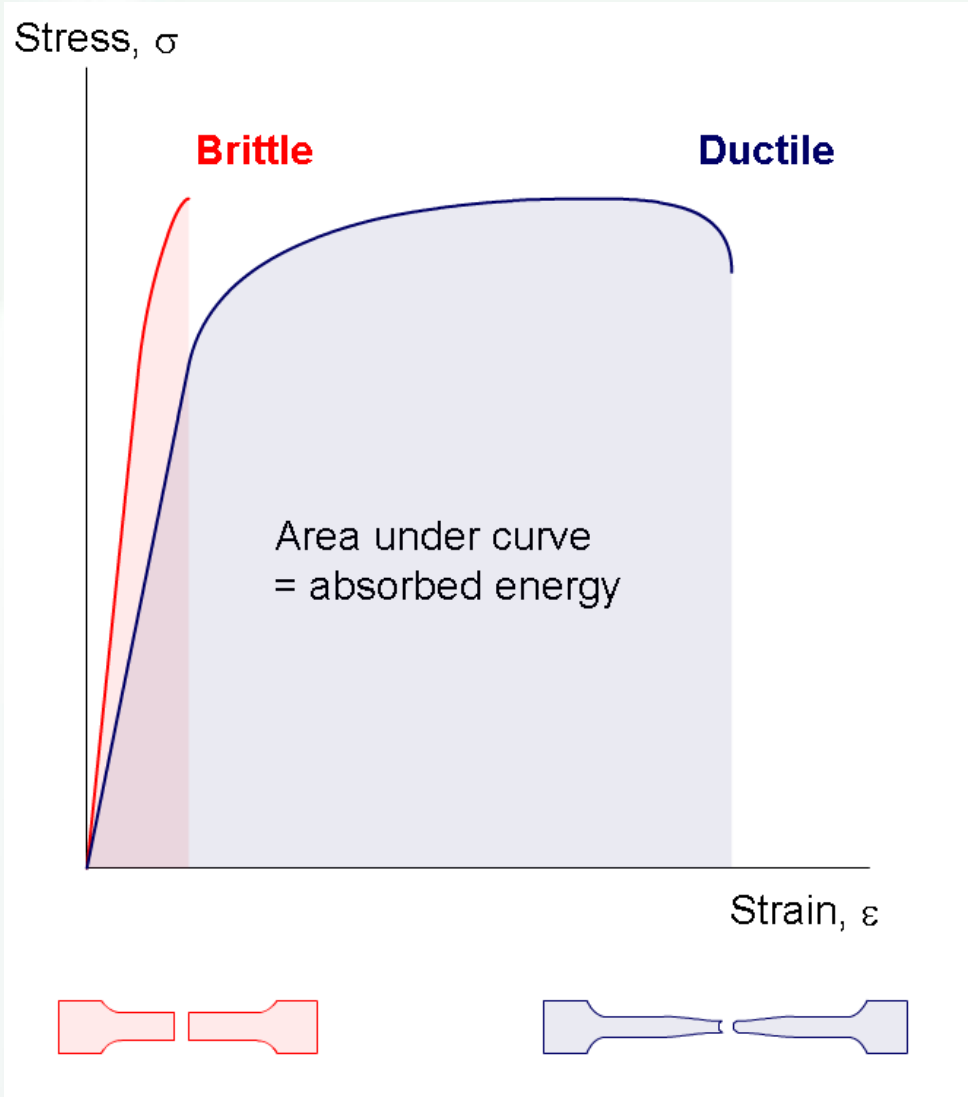
شکست ترد و چقرمگی

- فلزات پیش از شکست تمایل به تغییرشکل پلاستیک دارند، اما سرامیک ها چنین رفتاری ندارند و شکست ترد از ویژگی های آنهاست.
- به علت استحکام کششی بسیار کمتر سرامیک ها در مقایسه با استحکام کششی، شکست آنها در حالت کشش سریع تر صورت می گیرد.
- برای بهبود چقرمگی شکست سرامیک ها می توان از تنش های فشاری برای بسته شدن ترک، ایجاد ترک های ریز و افزودن فاز دوم جهت جلوگیری از رشد ترک و یا کامپوزیت کردن آنها بهره جست.

سرامیک های پیشرفته

خواص مکانیکی سرامیک ها

شکست ترد و چقرمگی



شکست در سرامیک ها، ترد

و در فلزات، نرم است.

سرامیک های پیشرفته

خواص مکانیکی سرامیک ها

خستگی

- برای فلزات خستگی شامل افت استحکام ناشی از تنش های تکراری است اما در سرامیک ها بدون بارهای سیکلی نیز خستگی در اثر عوامل شیمیایی نیز روی می دهد که به آن خستگی استاتیکی اطلاق می شود.
- پدیده خستگی استاتیکی در شیشه های سیلیکاتی روی می دهد که در محیط آب و دمای محیط ایجاد می شود. آب با سیلیکا واکنش داده و پیوند می دهد. واحدهای هیدروکسیل حاصل به یکدیگر اتصال نمی یابند و لذا سبب شکسته شدن ساختار سیلیکاتی می شوند که با ایجاد ترک و گسترش تدریجی آن همراه است.

سرامیک های پیشرفته

شوک حرارتی

- تردی ذاتی سرامیک ها همراه با کاربرد اصلی این مواد در دمای بالا سبب ایجاد مشکلی به نام شوک حرارتی می شود.
- شوک حرارتی شکست کامل یا جزئی سرامیک ها در اثر تغییر ناگهانی دماست.
- در بحث شوک حرارتی دو خصوصیت حرارتی ماده شامل هدایت حرارتی و ضریب انبساط حرارتی مهم هستند.
- اغلب سرامیک ها دارای ضریب انبساط حرارتی کمتر از فلزات بوده و هدایت حرارتی آنها نیز کمتر از فلزات و برای برخی از انواع کووالانت نظیر الماس در حد فلزات است.

Company Logo

سرامیک های پیشرفته

شوک حرارتی

- به علت انبساط حرارتی نامطلوب و غیرهمگن، تنش های داخلی ایجاد شده و همچنین هدایت حرارتی پایین تر نیز سبب کاهش یا افزایش موضعی دما در یک ناحیه و عدم تغییر آن در ناحیه دیگر و در نتیجه افزایش تنش های داخلی می شود.
- در مجموع، افزایش هدایت حرارتی و کاهش ضریب انبساط حرارتی می توانند مقاومت به شوک حرارتی را بالا ببرند.

سرامیک های پیشرفته

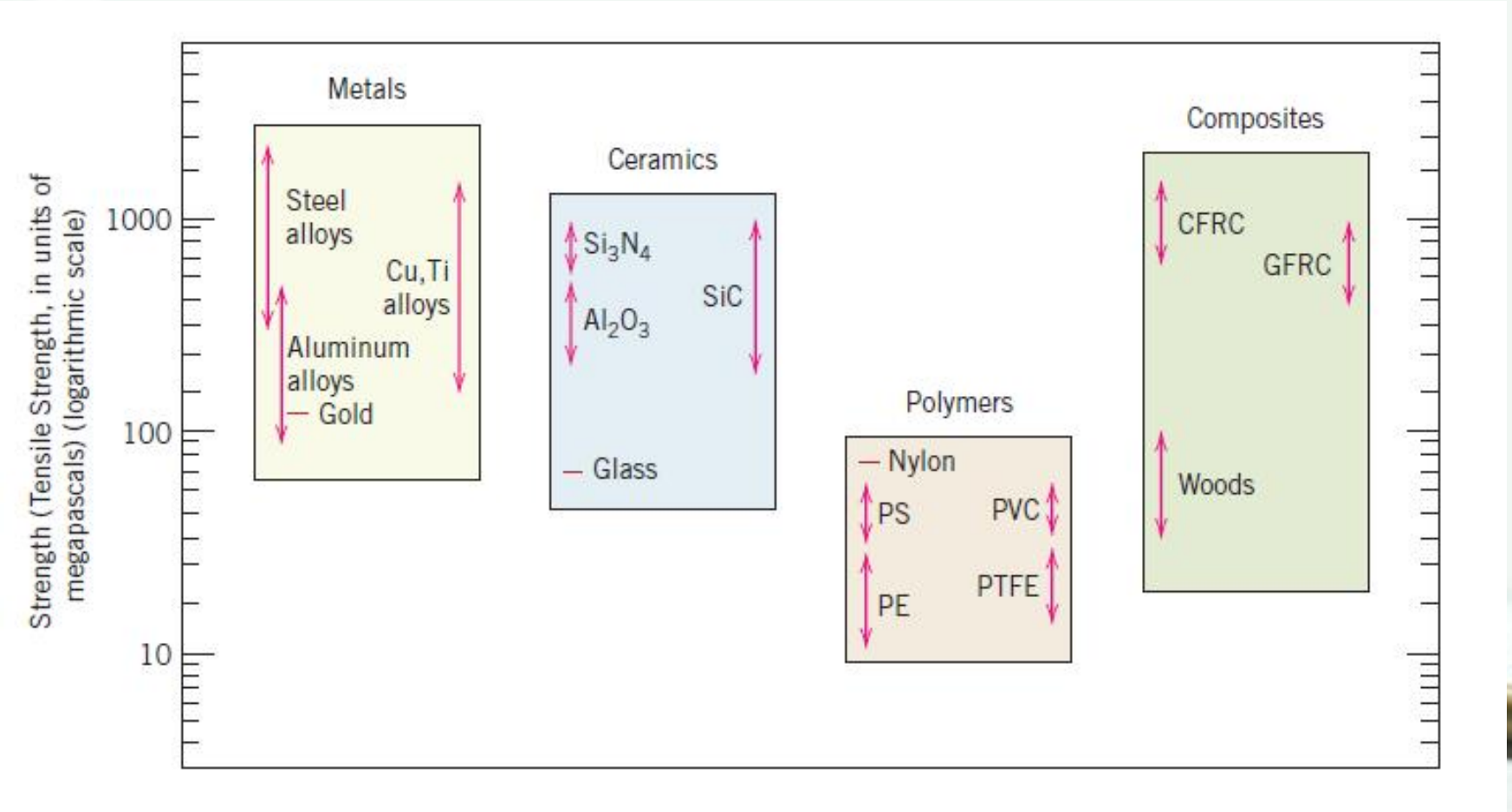
خواص کلی سرامیک ها

سرامیک ها دارای خواص کلی زیر هستند:

- استحکام فشاری بسیار بالاتر از استحکام کششی
- سخت و ترد
- عایق حرارت و برق
- مقاومت به خوردگی بالا
- نقطه ذوب بالا
- وزن مخصوص آن ها عمدتاً 3-2 گرم بر سانتیمتر مکعب است.

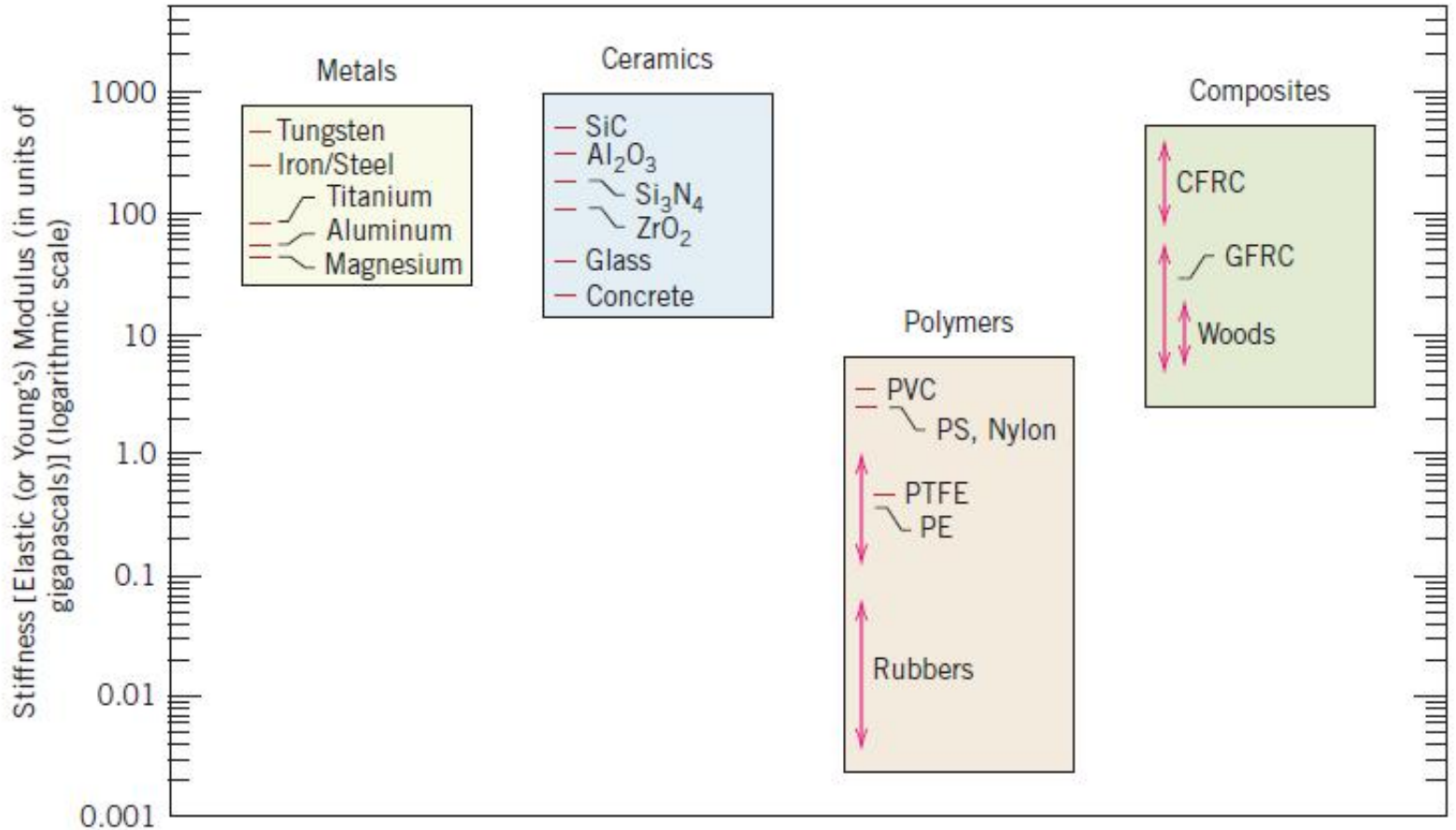
سرامیک های پیشرفته

مقایسه استحکام سرامیک ها و دیگر مواد مهندسی



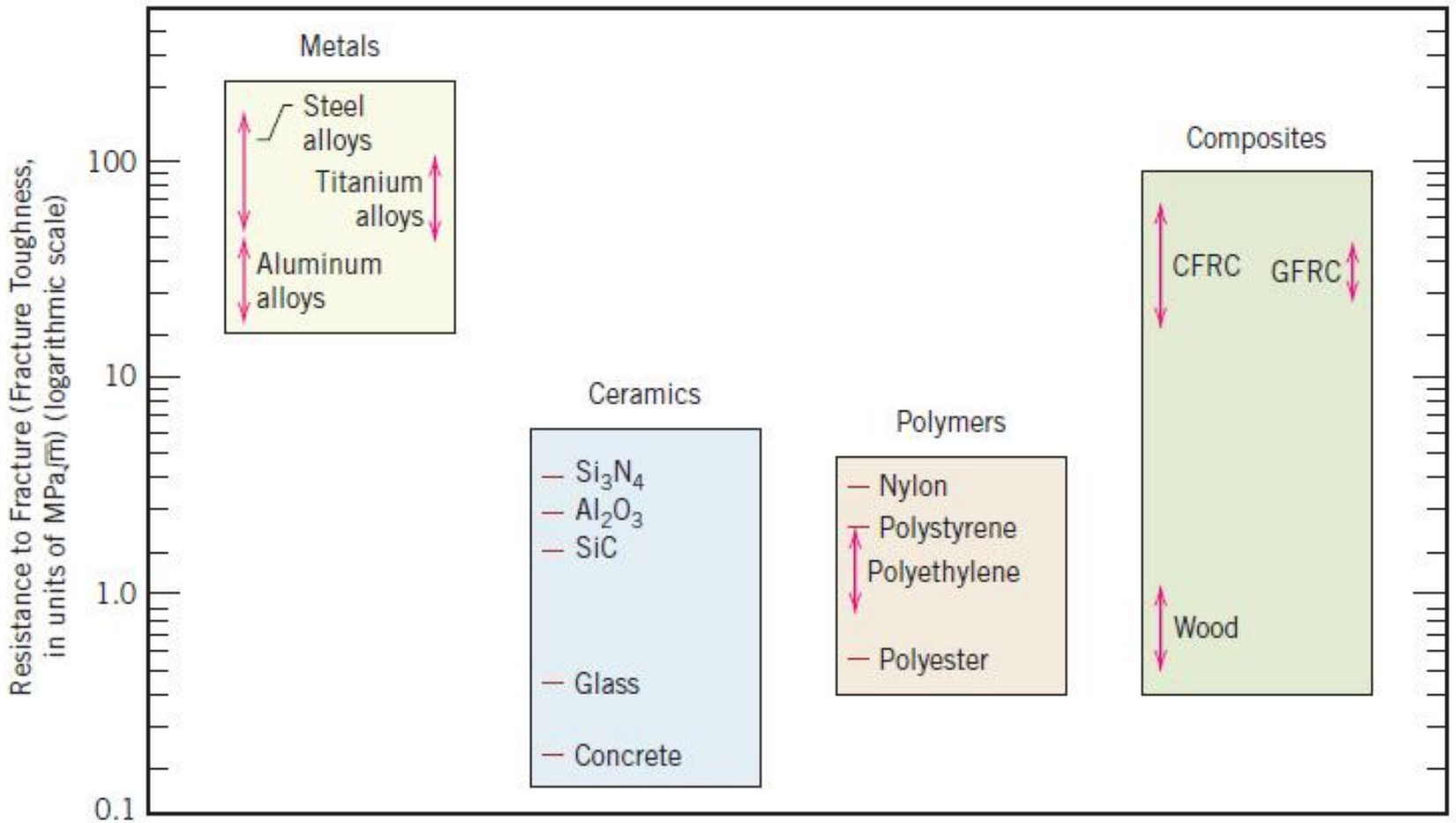
سرامیک های پیشرفته

مقایسه سفتی سرامیک ها و دیگر مواد مهندسی



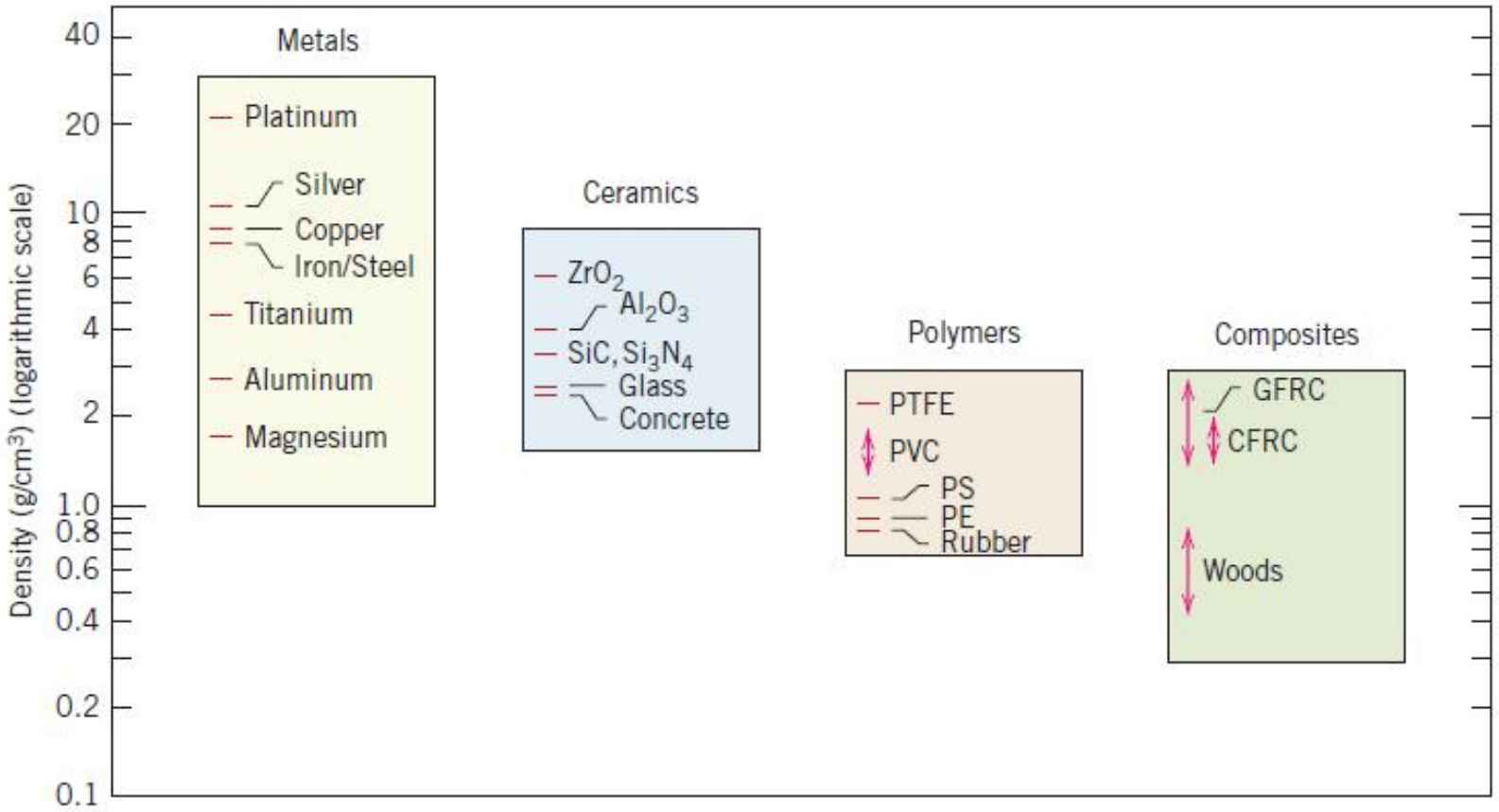
سرامیک های پیشرفته

مقایسه چقرمگی شکست سرامیک ها و دیگر مواد مهندسی



سرامیک های پیشرفته

مقایسه چگالی سرامیک ها و دیگر مواد مهندسی



سرامیک های پیشرفته

مقایسه هدایت الکتریکی سرامیک ها و دیگر مواد مهندسی