

خواص مکانیکی سرامیک‌ها

جلد اول

تألیف:

جان بی. واجمز، دابلیو. راجرکانن، ام. جان ماتیوسان

ترجمه:

مهدی خدایی، مرجان شیر، دکتر حمیدرضا بهاروندی، دکتر ناصر اسحاقی، داود عالی‌پور

ویراستار علمی:

دکتر خانعلی نکوئی

سرشناسه:	واچمن، جی. بی. ۱۹۲۸ -
عنوان و نام پدیدآور:	خواص مکانیکی سرامیک‌ها/ مؤلفان جان بی. واچمن، دابلو. راجر کائن، ام. جان ماتیوسان؛ مترجمان مهدی خدایی... [و دیگران]؛ ویراستار علمی خاتعلی نکونی.
مشخصات نشر:	تهران: دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۶
مشخصات ظاهری:	ج: مصور، جدول، نمودار.
شابک:	ج. ۱. ۵۰۰-۷۷۳۶-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیا.
یادداشت:	عنوان اصلی: Mechanical properties of ceramics, 2 nd ed., 2009
یادداشت:	مترجمان مهدی خدایی، مرجان شیر، حمیدرضا بهاروندی، ناصر احسانی، داود عالی‌پور.
یادداشت:	واژه‌نامه.
یادداشت:	کتابنامه.
موضوع:	سرامیک - مصالح - خواص مکانیکی.
شناسه افزوده:	کائن، دابلو. راجر.
شناسه افزوده:	ماتیوسان، ام. جان.
شناسه افزوده:	خدایی، مهدی، ۱۳۶۹ - مترجم
شناسه افزوده:	نکونی، انعلی، ویراستار.
شناسه افزوده:	دانشگاه صنعتی مالک اشتر.
رده‌بندی کنگره:	TA ۴۵۵/س۱۱۰۰
رده‌بندی دیویی:	۶۲۰/۱۲۰۴۹۲
کتابشناسی ملی:	۴۹۵۶۶۰۳



دانشگاه صنعتی مالک اشتر

مجموعه دانشکده مهندسی فناوری های ساخت

عنوان کتاب:	خواص مکانیکی سرامیک‌ها
ترجمه:	مهدی خدایی - مرجان شیر - حمیدرضا بهاروندی - ناصر احسانی - داود عالی‌پور
ناشر:	انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
طرح روی جلد:	فریناز عسگری
لیتوگرافی، چاپ و صحافی:	انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
صفحه‌آرایی رایانه‌ای:	مهدی ملایی
ویراستاری ادبی:	زهرا جاویدی
شمارگان:	۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ:	اول، پاییز ۹۶
قیمت:	۳۱۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-7736-50-0

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.

آدرس: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر - معاونت پژوهش و فناوری - مدیریت دانش

انتشارات. تلفن: ۲۲۹۳۲۸۹۱

فهرست مطالب

پیشگفتار مولف	۱
پیشگفتار مترجمان	۲
زندگینامه مولفان	۳
حروف اختصاری	۴
فصل اول: تنش و کرنش	۳
۱-۱- مقدمه	۳
۱-۲- علامت نواحی تنش	۸
۱-۳- تنش در دستگاه مختصات چرخشی (قطبی)	۱۲
۱-۴- تنش اصلی	۱۶
۱-۴-۱- تنش‌های اصلی در سه بعد	۲۱
۱-۵- نامتغیرهای تنش	۲۲
۱-۶- انحراف تنش	۲۳
۱-۷- کرنش	۲۴
۱-۸- تنش و کرنش حقیقی	۲۷
۱-۸-۱- کرنش حقیقی	۲۸
۱-۸-۲- تنش حقیقی	۳۰
مسائل	۳۱
فصل دوم: انواع رفتار مکانیکی	۳۷
۱-۲- مقدمه	۳۷
۲-۲- الاستیسیته و شکست ترد	۳۸
۳-۲- تغییر شکل پایدار	۴۳

فصل سوم: الاستیسیته.....	۴۹
۱-۳- مقدمه.....	۴۹
۲-۳- الاستیسیته‌ی اجسام همسانگرد.....	۵۰
۳-۳- نمادگذاری کاهیده برای تنش‌ها، کرنش‌ها و ثوابت الاستیک.....	۵۳
۴-۳- اثر تقارن بر ثوابت الاستیک.....	۵۶
۵-۳- وابستگی جهت مدول الاستیک در تک‌بلورها و کامپوزیت‌ها.....	۵۹
۶-۳- مقادیر مدول چند بلور برحسب ثوابت تک‌بلور.....	۶۱
۷-۳- عیبات ثوابت الاستیک با پارامتر شبکه.....	۶۳
۸-۳- تغییرات ثوابت الاستیک با دما.....	۶۴
۹-۳- خواص الاستیک سرامیک‌های متخلخل.....	۶۶
۱۰-۳- انرژی الاستیک در مرز شده.....	۷۰
مسائل.....	۷۳
فصل چهارم: استحکام جامدات بدون عیب.....	۷۷
۱-۴- مقدمه.....	۷۷
۲-۴- استحکام تئوری در کشش.....	۷۷
۳-۴- استحکام تئوری در برش.....	۸۲
مسائل.....	۸۴
فصل پنجم: مکانیک شکست الاستیک خطی.....	۸۷
۱-۵- مقدمه.....	۸۷
۲-۵- تمرکز تنش.....	۸۸
۳-۵- نظریه‌ی شکست جامد ترد گریفیث.....	۹۰
۴-۵- محاسبه تنش در نوک ترک.....	۹۵
۵-۵- شکل ترک در جامدات ترد.....	۹۶
۶-۵- فرمول مکانیک شکست ایروین: ضریب شدت تنش.....	۹۸
۷-۵- فرمول مکانیک شکست ایروین: نرخ انرژی آزاد.....	۱۰۴
۱-۷-۵- رابطه‌ی بین G و K_I	۱۰۵

۱۰۹	۸-۵- برخی از ضرایب مفید شدت تنش
۱۱۱	۹-۵- انتگرال J
۱۱۵	۱۰-۵- ترک زیر فشار داخلی
۱۱۷	۱۱-۵- شکست تحت تنش چند محوره
۱۲۰	مسائل

فصل ششم: اندازه‌گیری الاستیسیته، استحکام و چقرمگی شکست..... ۱۲۷

۱۲۷	۱-۶- مقدمه
۱۲۹	۲-۶- آزمایش کشش
۱۳۷	۳-۶- آزمون چرخش
۱۴۱	۳-۶-۱- خمش نقطه‌ای
۱۴۳	۳-۶-۲- خمش چهار نقطه‌ای
۱۴۵	۳-۶-۳- اندازه‌گیری چقرمگی شکست به وسیله خمش
۱۵۰	۴-۶- آزمایش تیر یک سر گیر و نایی
۱۵۲	۵-۶- آزمایش پیچش دوتایی
۱۵۳	۶-۶- آزمایش فرورفتگی
۱۵۵	۶-۶-۱- روش مستقیم
۱۵۷	۶-۶-۲- روش غیرمستقیم
۱۶۰	۶-۶-۳- روش اصلاح شده
۱۶۱	۶-۶-۴- خلاصه‌ای از سه روش
۱۶۲	۶-۶-۵- روش ASTM با استاندارد B 01 - 1421 C
۱۶۳	۷-۶- آزمایش خمش دوماحوره
۱۶۴	۸-۶- تعیین ثابت الاستیک با استفاده از روش‌های ارتعاشی و مافوق صوت
۱۶۶	مسائل

فصل هفتم: بررسی آماری استحکام..... ۱۷۳

۱۷۳	۷-۱- مقدمه
۱۷۴	۷-۲- توزیع‌های آماری

۱۷۶	۷-۳-توابع توزیع استحکام.....
۱۷۶	۷-۳-۱-توزیع گوسی یا نرمال.....
۱۷۷	۷-۳-۲-توزیع ویبول.....
۱۷۹	۷-۳-۳-مقایسه‌ی توزیع‌های نرمال و ویبول.....
۱۸۰	۷-۴-نظریه‌ی ضعیف‌ترین اتصال.....
۱۸۴	۷-۵-تعیین پارامترهای ویبول.....
۱۸۷	۷-۶-تأثیر اندازه‌ی نمونه.....
۱۸۷	۷-۷-اطلاق با آزمایش خمش.....
۱۹۶	۷-۸-تراپ ایمنی.....
۱۹۷	۷-۹-مثالی برای معادله‌ی تنش اطمینان.....
۱۹۹	۷-۱۰-آزمایش اطمینان.....
۲۰۱	۷-۱۱-استفاده از داده‌های شتاب مرکب در رگرسیون خطی تعیین.....
۲۰۳	۷-۱۲-روش درست‌نمایی بیشه در تخمین پارامتر ویبول.....
۲۰۷	۷-۱۳-آمار شکست تحت تنش بحرانی.....
۲۱۰	۷-۱۴-اثرات اشاعه آهسته‌ی ترک و رفتار منحنی R بر توزیع آماری استحکام.....
۲۱۱	۷-۱۵-توزیع‌های ترک‌های سطحی و چندگانه.....
۲۱۳	مسائل.....
۲۱۹	فصل هشتم: اشاعه ترک در شرایط کمتر از حد بحرانی.....
۲۱۹	۸-۱-مقدمه.....
۲۲۰	۸-۲-اشاعه ترک در شرایط کمتر از حد بحرانی.....
۲۲۵	۸-۳-نظریه سرعت ترک و سازوکار مولکولی.....
۲۲۹	۸-۴-مدت‌زمان شکست تحت تنش ثابت.....
۲۳۵	۸-۵-شکست تحت نرخ تنش ثابت.....
۲۳۷	۸-۶-مقایسه زمان‌های شکست تحت تنش ثابت و نرخ تنش ثابت.....
۲۳۸	۸-۷-رابطه پارامترهای آماری ویبول با رشد ترک بحرانی و.....
۲۴۱	۸-۸-ترکیب نمودارهای استحکام-احتمال-زمان.....

۲۴۸	۸-۹- آزمایش اطمینان برای تضمین حداقل عمر
۲۵۱	۸-۱۰- رشد ترک بحرانی و شکست ناشی از عیوب، نشست گرفته از
۲۵۲	۸-۱۱- اشاعه‌ی آهسته‌ی ترک در دمای بالا
۲۵۵	مسائل
۲۶۱	فصل نهم: اشاعه ترک پایدار و رفتار منحنی R
۲۶۱	۹-۱- مقدمه
۲۶۴	۹-۲- مفهوم منحنی R (منحنی T)
۲۷۲	۹-۳- اثرات منحنی R بر توزیع استحکام
۲۷۳	۹-۴- اثر منحنی R بر رشد ترک کمتر از حد بحرانی
۲۷۴	مسائل
۲۷۹	فصل دهم: مرور بر سازه‌کارهای چقرمه کردن در سرامیک‌ها
۲۷۹	۱۰-۱- مقدمه
۲۸۳	۱۰-۲- چقرمه کردن به وسیله انحراف ترک
۲۸۵	۱۰-۳- چقرمه کردن به وسیله خم کردن ترک
۲۸۷	۱۰-۴- نکته‌های عمومی درباره‌ی محافظت از ترک
۲۹۵	فصل یازدهم: تأثیر ریزساختار بر چقرمگی و استحکام
۲۹۵	۱۱-۱- مقدمه
۲۹۶	۱۱-۲- حالت‌های شکست در سرامیک‌های چند بلور
۳۰۲	۱۱-۳- ناهمسانگردی بلوری در سرامیک‌های چند بلور
۳۰۸	۱۱-۴- تأثیر اندازه دانه بر چقرمگی
۳۱۳	۱۱-۵- عیوب طبیعی در سرامیک‌های چند بلور
۳۱۶	۱۱-۶- تأثیر اندازه دانه بر استحکام شکست
۳۲۵	۱۱-۷- تأثیر ذرات فاز ثانویه بر استحکام شکست
۳۲۸	۱۱-۸- رابطه‌ی بین چقرمگی و استحکام
۳۳۲	۱۱-۹- تأثیر تخلخل بر چقرمگی و استحکام

۳۳۳.....	۱۰-۱۱- شکست سرامیک‌های سنتی.....
۳۳۵.....	مسائل.....
۳۴۱.....	فصل دوازدهم: چقرمه کردن سرامیک‌ها به وسیله استحاله‌ی فازی.....
۳۴۱.....	۱-۱۲- مقدمه.....
۳۴۳.....	۲-۱۲- مفاهیم اولیه چقرمه کردن به وسیله استحاله.....
۳۴۶.....	۳-۱۲- تئوری چقرمه کردن به وسیله استحاله فازی.....
۳۵۱.....	۴-۱۲- تئوری استحاله حجمی-برشی.....
۳۵۱.....	۵-۱۲- رفتار استحاله فازی وابسته به اندازه دانه.....
۳۶۰.....	۶-۱۲- به کارگیری تئوری برای زیرکونیای پایدار شده با Ca.....
۳۶۵.....	مسائل.....
۳۷۱.....	فصل سیزدهم: خواص مکانیکی کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی ...
۳۷۱.....	۱-۱۳- مقدمه.....
۳۷۲.....	۲-۱۳- رفتار الاستیک کامپوزیت‌ها.....
۳۷۵.....	۳-۱۳- رفتار شکست کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف پیوسته‌ی هم‌جهت.....
۳۸۰.....	۴-۱۳- ترک خوردگی کامل کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف پیوسته‌ی ...
۳۸۶.....	۵-۱۳- اشاعه‌ی ترک‌های کوتاه کاملاً پل زده شده.....
۳۹۲.....	۶-۱۳- اشاعه‌ی نسبی ترک‌های پل زده شده.....
۳۹۶.....	۷-۱۳- بررسی بیشتر در مورد تأثیرات پل زدن ترک.....
۳۹۹.....	۸-۱۳- بررسی‌های آماری بیشتر.....
۴۰۰.....	۹-۱۳- خلاصه‌ای از سازوکارهای چقرمه کردن با الیاف.....
۴۰۱.....	۱۰-۱۳- سایر سازوکارهای شکست در کامپوزیت‌های تقویت شده با ...
۴۰۲.....	۱۱-۱۳- منحنی تنش- کرنش کششی کامپوزیت‌های تقویت شده با ...
۴۰۵.....	۱۲-۱۳- کامپوزیت‌های لایه‌ای.....
۴۰۸.....	مسائل.....
۴۱۳.....	فصل چهاردهم: خواص مکانیکی کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی ...

۴۱۳	۱-۱۴- مقدمه
۴۱۴	۲-۱۴- مدل سازی چقرمگی به وسیله ویسکر
۴۲۶	۳-۱۴- سازوکارهای ترکیبی چقرمه کردن در کامپوزیت های تقویت شده ...
۴۲۸	۴-۱۴- کامپوزیت های زمینه سرامیکی تقویت شده با لیگامنت
۴۲۸	۵-۱۴- کامپوزیت های زمینه سرامیکی تقویت شده با صفحه های کوچک
۴۲۹	مسائل
۴۳۳	واژه نامه
۴۵۱	مراجع

پیشگفتار مولفان

این کتاب تألیف کتاب خواص مکانیکی سرامیک‌ها در ویرایش اول، در ویرایش دوم نیز حفظ شده و در حقیقت ویرایش دوم، کتاب درسی است که توضیحات بیشتری به آن افزوده شده و در پایان هر فصل تعدادی مسئله آمده است. از این رو تجربه‌ی دو نویسنده جدید کمتر - به مدت ۲۰ سال در تدریس خواص مکانیکی در دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد - موجب پیشرفت مباحث کتاب شد. در متن کتاب، یک پیش‌زمینه‌ی عمومی از فیزیک، حساب دیفرانسیل و انتگرال وجود دارد. در فصل‌های ۱ تا ۳ مبانی تنش و کرنش بیان شده و در فصل‌های بعد، به موضوع‌های خاص، به‌روز و پیشرفته‌تر در خواص مکانیکی سرامیک‌ها پرداخته شده است. زمان توسعه‌ی مباحث بیشتری از کتاب از دهه‌ی ۱۹۶۰ میلادی تا سال ۱۹۸۶ که سال چاپ نخستین ویرایش کتاب است - می‌باشد. کتاب‌های درسی دیگر درباره‌ی مادی چون الاستیک، ویسکو الاستیک یا تغییر شکل پلاستیک تمرکز می‌کنند. این کتاب، بنابر شکست، به‌عنوان مهم‌ترین مبحث در کاربرد ساختاری سرامیک‌های ترد را بررسی می‌کند.

این کتاب همچنین برای دانشمندان حرفه‌ای مواد و مهندسانی که پیش‌زمینه‌ای عمومی از خواص مکانیکی دارند، اما به علم عمیق‌تری در این باره نیاز دارند، مفید خواهد بود.

ممکن است فصل‌های خاصی به دانشمندان برای توسعه و بهبود خواص مکانیکی یک ماده‌ی سرامیکی کمک کنند. به‌عنوان نمونه، فصل ۱۱ به یک مهندس مواد کمک می‌نماید

تا به یک ماده سرامیکی با استحکام و مقاومت بالاتر در برابر رشد ترک دست یابد. یکی دیگر از اهداف این کتاب، کمک به مهندسان رشته‌های دیگر (غیر از علم مواد) در طراحی سطح تنش مناسب برای یک هدف خاص است. به عنوان نمونه، به مهندسانی که با شیشه‌های زیر تنش سروکار دارند، روش‌هایی برای تعیین طول عمر یک شیشه و محاسبه‌ی احتمال شکست آن در این کتاب معرفی شده است.

جان بی. واچمن، دابلیو. راجر کانن، ام. جان ماتیوسان

www.ketab.ir