INSO
12396
1st. Revision
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۲۳۹۶
تجدیدنظر اول
۱۳۹۴

دندانپزشکی- مواد سرامیکی- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

Dentistry — Ceramic materials Specifications and Test Methods

ICS:11.060.10

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۱۳۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر یافته و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۱۳۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان ، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود . پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب ، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند . در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی ، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون ، برای حمایت از مصرف کنندگان ، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی ، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی ، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه-بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره ، آموزش، بازرسی ، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم ، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها ، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
«دندانپزشکی- مواد سرامیکی- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون»

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
حسن حقیقی‌فرد، مریم (دکترای دندانپزشکی)	عضو انجمن دندانپزشکان عمومی ایران
دبیر:	
ذاکر حمیدی، محمد صادق (دکترای شیمی فیزیک)	عضو هیأت علمی دانشگاه تبریز
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
بهروزیان، احمد (دکترای دندانپزشکی، ارتودنسی)	عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی تبریز
پدرام، حامد (دکترای دندانپزشکی)	عضو هیأت مدیره انجمن دندانپزشکان عمومی ایران
جلالی، امید (دکترای دندانپزشکی، ایمپلنت)	عضو انجمن دندانپزشکان ایران
زارعی، محمود (دکترای شیمی کاربردی)	عضو هیات علمی دانشکده شیمی دانشگاه تبریز
زمان، جمشید (دکترای دندانپزشکی)	عضو هیأت مدیره انجمن دندانپزشکان عمومی ایران
شهنی‌زاده، باقر (دکترای دندانپزشکی)	رئیس هیأت مدیره انجمن دندانپزشکان عمومی ایران
صدقی، لیلا (دکترای دندانپزشکی)	عضو هیأت مدیره انجمن دندانپزشکان عمومی ایران

عطایی، لیلا (دکترای دندانپزشکی)	عضو هیأت مدیره انجمن دندانپزشکان عمومی ایران
عظیمی، شهرام (دکترای دندانپزشکی، اندودونسی)	عضو انجمن دندانپزشکان ایران
قدیمی کلجاهی، فریده (کارشناسی ارشد شیمی)	کارشناس مسئول اداره کل استاندارد آذربایجان شرقی
قیصری، تقی (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)	مدیر عامل شرکت خدمات مهندسی سرمد تبریز
قاسمی، ابراهیم (دکترای مواد- سرامیک)	پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ
کبیری، رویا (دکترای شیمی)	مسئول آزمایشگاه NMR دانشکده شیمی دانشگاه تبریز
منافیان، فاطمه (کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی)	مدیر آزمایشگاه شرکت آسیاناما
نجار، رضا (دکترای شیمی)	عضو هیات علمی دانشکده شیمی دانشگاه تبریز
نیک‌آیین، زیبا (دکترای بیومکانیک مهندسی پزشکی)	سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران		ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		ج
پیش‌گفتار		و
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اصطلاحات و تعاریف	۱
۴	انواع، طبقه‌ها و شناسایی آن‌ها	۶
۵	الزامات	۸
۶	نمونه‌برداری	۹
۷	روش‌های آزمون	۹
۸	اطلاعات و دستورالعمل‌ها	۲۱
۹	بسته‌بندی، نشانه‌گذاری و برچسب‌زنی	۲۱
	پیوست الف (اطلاعاتی) چقرمگی شکست	۲۳
	پیوست ب (اطلاعاتی) آماره‌های ویبول	۳۱
	پیوست پ (اطلاعاتی) کتاب‌نامه	۳۳

پیش‌گفتار

استاندارد «دندانپزشکی- مواد سرامیکی- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون» نخستین بار در سال ۱۳۸۸ تدوین شد. این استاندارد بر اساس پیشنهادهای رسیده و بررسی توسط شرکت کیفیت آفرینان آذر و تایید کمیسیون‌های مربوط برای اولین بار مورد تجدید نظر قرار گرفت و در پانصد و بیست و نهمین اجلاسیهٔ کمیته ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۱۳۹۴/۱۱/۲۷ تصویب شد. اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۹۶: سال ۱۳۸۸ است.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 6872: 2015, Dentistry — Ceramic materials

مقدمه

این استاندارد ملی شامل الزامات ویژه کمی و کیفی برای رهایی از خطرات بیولوژیکی نمی‌باشد و توصیه می‌شود برای ارزیابی خطرات بیولوژیکی یا مسمومیت‌زای احتمالی، به استاندارد ملی شماره ۴۳۰۰ و ISO 7405 مراجعه شود.

دندانپزشکی- مواد سرامیکی- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات و روش‌های آزمون مواد سرامیکی دندانی مورد استفاده در ترمیم‌ها و پروتزهای ثابت تمام‌سرامیکی و سرامیکی-فلزی است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزیی از این استاندارد محسوب می‌شود.

در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و یا تجدید نظر، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. معهذا بهتر است کاربران ذی‌نفع این استاندارد، امکان کاربرد آخرین اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون چاپ و / یا تجدید نظر، آخرین چاپ و/ یا تجدید نظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۸، آب مورد مصرف در آزمایشگاه تجزیه- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۱۸، واژه‌ها و اصطلاحات دندانپزشکی-قسمت ۱: اصطلاحات پایه

۲-۳ استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۹۲، واژه‌ها و اصطلاحات دندانپزشکی-قسمت ۲: مواد دندانی

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف به‌کار رفته در استانداردهای ملی ایران شماره ۲۸۱۸ و ۲۸۹۲، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به‌کار می‌رود:

۳-۱ مواد

۳-۱-۱

سرامیک افزایشی **addition ceramic**

سرامیک افزودنی **add-on ceramic**

سرامیک اصلاحی **correction ceramic**

ماده سرامیکی دندانی که در دمای کمتری پخت می‌شود و معمولا برای ترمیم سطوح تماس روی یک ترمیم یا پروتز دندانی به‌کار می‌رود.

۲-۱-۳

سرامیک زیبایی **aesthetic ceramic**

پرسلن دندانی[1] (طبق بند ۳-۱-۵) یا سرامیک شیشه‌ای[2] (طبق بند ۳-۱-۱۰) با شفافیت و رنگ مناسب که به منظور شبیه‌سازی خواص نوری دندان طبیعی استفاده می‌شود.

۳-۱-۳

سرامیک عاج رنگی **chromatic dentin ceramic**

سرامیک عاجی که دارای استحکام یا خلوص رنگی بالا می‌باشد.

۴-۱-۳

سرامیک دندانی **dental ceramic**

ماده غیرفلزی و غیرآلی که به طور خاص فرمول‌بندی شده است تا طبق دستورالعمل سازنده در شکل‌دهی بخش یا تمام پروتز یا ترمیم دندانی به‌کار رود.

۵-۱-۳

پرسلن دندانی **dental porcelain**

ماده‌ای است که اساسا سرامیک دندانی شیشه‌ای (طبق بند ۳-۱-۴) بوده و بیشتر برای زیبایی در پروتز یا ترمیم دندانی به‌کار می‌رود.

۶-۱-۳

سرامیک عاجی **dentine ceramic**

ماده سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) که برای شکل‌دهی کلی و رنگ پایه ترمیم یا پروتز دندانی با شبیه‌سازی عاج دندان طبیعی به‌کار می‌رود.

۷-۱-۳

سرامیک مینایی **enamel ceramic**

ماده سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) که برای پوشش بخش یا تمام‌سرامیک عاجی (طبق بند ۳-۱-۶) و همچنین ایجاد شفافیت بیشتر در یک‌سوم لبه دندانی[3] ترمیم یا پروتز دندانی با شبیه‌سازی مینای دندان طبیعی به‌کار می‌رود.

۸-۱-۳

سرامیک دندانی شعله‌پاشی شده **flame-sprayed dental ceramic**

هسته سرامیکی یا لایه زیرساختاری دندانی که از طریق روش شعله‌پاشی ایجاد شده است.

1 - Dental porcelain
2 - Glass ceramic
3 - Incisal

۹-۱-۳

سرامیک فلوئوروسانس **fluorescent ceramic**

مادهٔ سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) که انرژی تابشی را جذب کرده، و آن را به شکل انرژی تابشی با پهنای باند با طول‌موج متفاوت منتشر می‌کند، که همه یا قسمت بیشتر طول‌موج ساطع شده از طول‌موج جذب شده بیشتر است.

مثال: جذب نور ماورای بنفش و نشر نور آبی.

۱۰-۱-۳

سرامیک شیشه‌ای (دندانی) **glass ceramic (dental)**

ماده سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) که به‌وسیله عملیات حرارتی روی شیشه به منظور آغاز و رشد یک زیرسازی کریستالی به صورت گسترده یا کلی شکل می‌گیرد.

۱۱-۱-۳

سرامیک دندانی اشباع شده با شیشه **glass-infiltrated dental ceramic**

هستهٔ سرامیک دندانی یا لایهٔ زیرسازی متخلخلی که چگالی آن از طریق پر کردن تخلخل‌ها با نوعی شیشهٔ خاص در دمای بالا افزایش داده می‌شود.

۱۲-۱-۳

سرامیک لعابی **glaze ceramic**

ماده سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) که پوشش داده شده و در مقایسه با سرامیک‌های عاجی (طبق بند ۳-۱-۶) یا سرامیک مینایی (طبق بند ۳-۱-۷) برای ایجاد سطح درزبندی شده منسجم نازکی، در دمای کمتری پخت می‌شود و درجه جلای آن با شرایط پخت تعیین می‌شود.

۱۳-۱-۳

آستر **liner**

ماده سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) که بر روی تمام زیرسازی‌های سرامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و زمینه رنگی ایجاد می‌کند که به کمک آن می‌توان با افزودن عاج یا عاج مات به یک زیبایی کلی دست یافت.

۱۴-۱-۳

مایع مدل‌سازی **modelling fluid**

مایعی است که به‌منظور شکل‌دادن یا مدل‌سازی حالت مورد نیاز قبل از پخته شدن، با پودر سرامیکی دندانی مخلوط می‌شود.

۱۵-۱-۳

سرامیک مینایی اصلاح‌کننده **modifying enamel ceramic**

سرامیک مینایی (طبق بند ۷-۱-۳) که برای اصلاح یا در واقع محو کردن خط مرزی ترمیم، برای مثال، خط تماسی که پس از ترمیم باقی می‌ماند، به‌کار می‌رود و غالباً در دمای پایین‌تر از دمای سرامیک مینایی یا سرامیک عاجی پخته می‌شود.

۳-۱-۱۶

سرامیک تک‌سنگی **monolithic ceramic**

سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) که بخش عمدهٔ آن از ماده‌ای همگن ساخته شده است.

یادآوری۱- اِعمال لایهٔ نازکی از لعاب (بند ۳-۳-۴) (با روش رنگ‌آمیزی) مجاز است.

۳-۱-۱۷

سرامیک عاجی شبه‌مات **opaceous dentine ceramic**

ماده سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) با کدری بیشتر از ماده سرامیک عاجی (طبق بند ۳-۱-۶) که هنوز می‌تواند برای کمک به شکل‌دهی کلی و رنگ پایه یک ترمیم یا پروتز دندانی شبیه‌سازی شده به عاج دندان طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۱-۱۸

سرامیک مینایی صدفی **opalescent enamel ceramic**

ماده سرامیک مینایی (طبق بند ۳-۱-۷) که طول‌موج‌های کوتاه نور (مانند آبی) را پراکنده و طول‌موج‌های بلند نور (به عنوان مثال قرمز) را عبور می‌دهد.

۳-۱-۱۹

سرامیک دندانی مات **opaque dental ceramic**

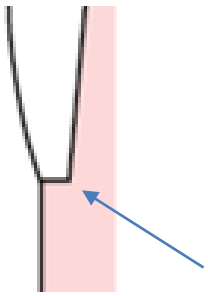
ماده سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) که هنگامی که مطابق دستورالعمل سازنده بر روی زیرسازی فلزی، اعمال می شود، برای چسباندن به سطح فلزی عمل می‌کند. این سرامیک، لایه پس‌زمینه و سطح مشترکی را تشکیل می‌دهد که سرامیک‌های دندانی دیگر به منظور رسیدن به زیبایی کلی، می‌تواند روی آن افزوده شود.

۳-۱-۲۰

سرامیک پلهٔ دندان **shoulder ceramic**

سرامیک لبهٔ دندان **margin ceramic**

ماده سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) که برای رنگ و شکل‌دهی لبه‌های ترمیم دندانی یا پروتز برای شبیه‌سازی عاج دندان طبیعی در این نواحی به‌کار می‌رود.



شکل ۱ – لبه یا پلهٔ ایجاد شده روی دندان برای نصب روکش (پروتز یا لامینت)

۳-۱-۲۱

سرامیک رنگینه‌ای **stain ceramic**

پودر یا خمیر سرامیک دندانی که معمولا دارای شدت رنگی بالایی است و برای استفاده داخلی یا خارجی در حین ساخت ترمیم یا پروتز دندان برای شبیه‌سازی جزئیات درون، یا روی سطحی که در دندان طبیعی یافت می‌شود، فرموله شده است.

۳-۱-۲۲

سرامیک دندانی زیرسازی (مغزی) **substructure (core) dental ceramic**

عمدتا، مواد سرامیک دندانی چندبلوری که زیرسازی نگهدارنده را روی یک یا چند لایه سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) یا مواد پلیمر دندانی شکل داده، برای شکل‌دادن موضعی یا کلی ترمیم یا پروتز دندانی به کار می‌رود.

۳-۲ عمل‌آوری **Processing**

۳-۲-۱

پخت سرامیک دندانی در هوا **air firing dental ceramic**

پخت سرامیک‌های دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) در فشار اتمسفری محیط است.

۳-۲-۲

CAD/CAM دندانی **dental CAD/CAM**

روش‌های طراحی به کمک کامپیوتر/ ساخت به کمک کامپیوتر (CAD / CAM)[1] برای ساخت پروتز یا ترمیم دندانی که معمولا شامل مراحل زیر است:

الف- روبش دیجیتالی مدل، موم‌تشخیصی یا داخل‌دهانی برای ایجاد داده‌های سه‌بعدی از مختصات سطوح داخلی دهان؛

ب- استفاده از داده‌های سه‌بعدی برای طراحی پروتز؛

پ- استفاده از ماشین‌افزار با فرمان کامپیوتری برای انجام فرآیند ساخت.

۳-۲-۳

متراکم‌سازی سرامیک دندانی **condensation of dental ceramic**

عمل‌آوری پودر که به وسیله آن دوغاب پودر سرامیک دندانی برای خارج کردن حباب‌های هوا و فشرده‌سازی پودر قبل از زینتر شدن ارتعاش داده می‌شود.

۳-۲-۴

سرامیک دندانی قابل تزریق، قابل ریخته‌گری یا قابل پرس‌کاری

injectable, castable, or pressable dental ceramic

1 -Computer-aided design/computer-aided manufacture

مادهٔ سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) معمولاً به شکل یک قرص یا شمش کوچک (اغلب از قبل زینتر شده)، که برای استفاده در کورهٔ مخصوص طراحی شده است و امکان تزریق/ ریخته‌گری/ یا پرس کردن شمش را به درون قالب دقیقی که به روش موم ذوب شونده تهیه شده است، فراهم می‌کند.

۵-۲-۳

زینتر کردن سرامیک دندانی **sintering of a dental ceramic**

فرآیندی که در آن سرامیک به شکل پودر فله یا با اندکی فشردگی اولیه تحت فشار مکانیکی یا فشار گاز، و اِعمال گرما به‌شدت فشرده شده و به شکل مورد نیاز درمی‌آید.

یادآوری- در این استاندارد «پختن» و «زینتر کردن» به جای هم به کار می‌رود («پختن» به معنی اِعمال حرارت برای زینتر کردن است).

۶-۲-۳

پخت سرامیک دندانی در خلأ **vacuum firing dental ceramic**

پخت سرامیک‌های دندانی (طبق بند ۳-۱-۴) در فشار کم (یعنی در خلأ) برای دستیابی به چگالی مورد نیاز و ویژگی‌های ظاهری لازم، به‌ویژه درجهٔ ماتی است.

یادآوری- برای جلوگیری از احتباس حباب، سرامیک‌های دندانی، برای پخت در خلأ، دارای توزیع دانه‌بندی خاصی هستند.

۳-۳ خواص

۱-۳-۳

ردهٔ سرامیک دندانی **class of dental ceramic**

رده‌بندی مادهٔ سرامیک دندانی (طبق بند ۳-۱-۴)، بر حسب کارکرد مورد نظر آن است.

۲-۳-۳

چقرمگی شکست **fracture toughness**

پارامتر مکانیکی متداول شکست که بیانگر مقاومت یک ماده در برابر گسترش ترک (انتشار ترک) است.

۳-۳-۳

دمای انتقال شیشه **glass transition temperature**

نقطهٔ میانی تقریبی که در دمای بیشتر از آن، رفتار شیشه‌ها مابین رفتار الاستیک و ویسکوالاستیک تغییر کرده و این نقطه با تغییر ناگهانی ضریب انبساط حرارتی قابل تشخیص است.

۴-۳-۳

براق بودن **glaze**

ظاهر سطحی به دست آمده هنگامی که جلا از نظر بالینی و زیبایی قابل قبول است.

۴ انواع، رده‌ها و شناسه‌های آن‌ها

برای اهداف این استاندارد، سرامیک‌های دندانی به دو نوع کدگذاری می‌شوند.

الف- نوع ۱: محصولات سرامیکی که به صورت پودر، خمیر یا گَرد تهیه می‌شوند.

ب- نوع ۲: تمامی اشکال دیگر محصولات سرامیکی.

سرامیک‌ها بر اساس مصرف بالینی مورد نظر، طبق توضیحات ارائه شده در جدول ۱ به پنج رده تقسیم می‌شوند. در صورتی که برای مشخص کردن نوع سرامیک، به آن رنگ افزودنی اضافه شود، کدگذاری رنگی ارائه شده در جدول ۲ توصیه می‌شود.

جدول۱- رده‌بندی سرامیک‌ها برای پروتزهای ثابت بر اساس استفاده بالینی مورد نظر با خواص مکانیکی و شیمیایی مورد نیاز

رده	موارد کاربرد بالینی توصیه شده	خواص مکانیکی و شیمیایی	
		مقدار حداقل استحکام خمشی میانگین (MPa) (به بند ۷-۳-۱-۴ مراجعه کنید).	حلالیت شیمیایی ($\mu g/cm^2$)
۱	الف- سرامیک تک‌سنگی برای پروتزهای قدامی تکی، روکش‌ها، روکاشت‌ها [1]، یا توکاشت‌های [2] چسبانده شده با سیمان	۵۰	□ ۱۰۰
	ب- سرامیک برای پوشاندن قاب فلزی یا زیرسازی سرامیکی	۵۰	□ ۱۰۰
۲	الف- سرامیک تک‌سنگی برای پروتزهای قدامی یا خلفی تکیِ چسبانده شده با سیمان	۱۰۰	□ ۱۰۰
	ب- سرامیک زیرسازی پوشش‌داده شدهٔ کلی یا جزئی برای پروتزهای قدامی یا خلفی تکیِ چسبانده شده با سیمان	۱۰۰	□ ۲۰۰۰
۳	الف- سرامیک تک‌سنگی برای پروتزهای جلویی یا عقبی تکی و برای پروتزهای سه‌تایی بدون ترمیم مولر (آسیا) سیمانی چسبی یا بدون چسب	۳۰۰	□ ۱۰۰
	ب- سرامیک زیرسازی به طور کامل یا جزئی پوشش‌داده شده برای پروتزهای جلویی یا عقبی تک‌واحدی و برای پروتزهای سه‌تایی بدون ترمیم مولر (آسیا) سیمانی چسبی یا بدون چسب	۳۰۰	□ ۲۰۰۰
۴	الف- سرامیک تک‌سنگی برای پروتزهای سه‌تایی شامل ترمیم مولر (آسیا)	۵۰۰	□ ۱۰۰
	ب- سرامیک زیرسازی پوشش‌داده شده برای پروتزهای سه‌واحدی شامل ترمیم مولر (آسیا)	۵۰۰	□ ۲۰۰۰
۵	سرامیک تک‌سنگی برای پروتزهای شامل زیرسازی به طور کامل یا جزئی پوشش شدهٔ کلی یا جزئی برای ۴ واحد یا بیشتر یا زیرسازی پوشش داده شده به طور کامل برای پروتزهای شامل چهار واحد یا بیشتر	۸۰۰	□ ۱۰۰

[1] Onlay

(آن‌لِی) ترمیم پیش‌ساخته در لابراتوار که روی سطح جونده چسبانده می‌شود

[2] Inlay

(این‌لِی) ترمیم پیش‌ساخته از فلز یا پرسلن که در داخل حفرهٔ دندان قرار می‌گیرد و با سیمان چسبانده می‌شود.

جدول۲- کدگذاری رنگی توصیه شده برای شناسایی پودرهای سرامیکی دندانی نوع ۱

ماده	کدگذاری رنگی
سرامیک عاجی	صورتی
سرامیک مینایی	آبی
سرامیک فلوئورسنت	زرد
سرامیک عاجی پررنگ	نارنجی
سرامیک عاجی مات	آبی-سبز
سرامیک عاجی اصلاح کننده (مانند مات، شفاف)	بنفش

۵ الزامات

۵-۱ یکنواختی

رنگدانه(های) غیرآلی مورد استفاده برای ایجاد رنگ سرامیک‌های دندانی پخت شده و هر رنگ‌زای آلی دیگر (برای کدگذاری رنگ) باید به طور یکنواخت در سراسر ماده سرامیکی دندانی پخش شده باشد و در محصولات سرامیکی پودری، هنگامی که پودر بر اساس روش توصیف شده در بند ۷-۱-۳ مخلوط شده و به صورت چشمی بازرسی می‌شود، هیچ‌گونه جداشدگی نباید در رنگدانه(ها) روی دهد.

۵-۲ عاری بودن از مواد خارجی

۵-۲-۱ مواد سرامیکی دندانی هنگامی که به صورت چشمی ارزیابی می‌شوند، باید از هرگونه مواد خارجی عاری باشند.

۵-۲-۲ مواد سرامیکی دندانی نباید شدت اکتیویته‌ای بیش از ۱٫۰ $Bq.g^{-1}$ اورانیوم (^{238}U) داشته باشند. آزمون را مطابق بند ۷-۲-۲ انجام دهید.

۵-۲-۳ توصیه می‌شود مواد رنگزای مورد استفاده برای کدگذاری رنگ پودر سرامیکی، مطابق جدول ۲، از مواد آلی با کیفیت خوراکی باشد.

۵-۳ خواص مخلوط شدن و تغلیظ سرامیک‌های نوع ۱

هنگامی که پودر سرامیکی دندانی بر اساس بند ۷-۱-۳ با آب یا سیال مدلسازی مطابق توصیه سازنده، مخلوط می‌شود، به هنگام بازرسی چشمی نباید هیچ‌گونه کلوخه یا دانه تشکیل شود.

خمیر آماده شده برای ساخت ترمیم‌ها و پروتزهای تعیین شده، باید برای سفت شدن لایه‌های متوالی مناسب باشد. هنگام سفت شدن خمیر بر اساس بند ۷-۱-۴ ، و بازرسی چشمی در حین خشک شدن، نباید دچار هیچ گونه ترک یا ریزش باشد.

۵-۴ خواص فیزیکی و شیمیایی

خواص فیزیکی و شیمیایی آزمونه‌های سرامیکی مورد آزمون بر اساس روش‌های مربوط که در بند ۷ برای سرامیک‌های نوع ۱ و ۲ با جزئیات توصیف شده، باید با الزامات مشخص شده در جدول ۱ مطابقت داشته باشد. ضریب انبساط حرارتی سرامیک‌ها نباید از مقدار اعلام شده توسط سازنده بیش از ۰٫۵ × 10^{-6} K^{-1} انحراف داشته

باشد. دمای انتقال شیشه‌ای سرامیک‌ها نباید از مقدار اعلام شده توسط سازنده بیش از ۲۰°C انحراف داشته باشد (به بند ۸-۲-۲ مراجعه کنید).

۵-۵ زیست‌سازگاری

برای راهنمایی در مورد زیست‌سازگاری به مقدمه مراجعه کنید.

۵-۶ ضریب انقباض (جمع‌شدگی)[1]

قدر مطلقِ درستیِ ضریب انقباض که ابعاد ماده تا حدی زینتر شده، طبق بند ۹-۲-۲-پ، به آن تقسیم می‌شود باید برابر ۰٫۰۰۲ ± باشد.

۶ نمونه‌برداری

۶-۱ سرامیک‌های نوع۱

از بسته‌های موجود در یک بچ حاوی ماده کافی برای انجام آزمون‌های مشخص شده و در صورت لزوم، مقداری بیشتر برای آزمون‌های تکرار استفاده کنید. در مواقعی که بیش از یک رنگ در یک رده سرامیک دندانی وجود دارد، آزمون را با معمول‌ترین طیف فرعی رنگی[2] مورد استفاده انجام دهید.

اگر سازندگان، استفاده از مایعات مدل‌سازی معینی را توصیه کرده باشند، مقادیر مناسبی از این مایعات اصلی باید تهیه شود. نسبت اختلاط مواد باید بر اساس مقادیر توصیه شده توسط سازندگان باشد.

۶-۲ سرامیک‌های نوع ۲

تمام مواد تهیه شده برای آزمون بر اساس این استاندارد باید از بهر یکسانی انتخاب شوند.

۷ روش‌های آزمون

۷-۱ آماده‌سازی آزمونه‌ها

برای جزئیات دستورالعمل‌ها به هریک از روش‌های آزمون مربوط مراجعه کنید.

برای آزمونه‌های نوع ۱، در تمام شرایط مخلوط‌سازی، سفت شدن و پخت، (بندهای ۷-۱-۳، ۷-۱-۴ و ۷-۱-۵) تجهیزات توصیف شده در بند ۷-۱-۲ برای تمام روش‌های آزمون به کار می‌رود، مگر این که طور دیگری بیان شده باشد، یا با متن متناقض باشد.

۷-۱-۱ اجزای آزمونه‌ها (سرامیک‌های نوع ۱)

مایع مورد استفاده در آماده‌سازی آزمونه‌ها باید آب درجه ۳ مطابق استاندارد ملی ۱۷۲۸، یا در صورت کاربرد، سیال مدل‌سازی توصیه شده توسط سازنده پودر سرامیک دندانی باشد. مقدار مورد نیاز پودر باید از مخزن مناسب پودر که بر اساس بند ۶-۱ فراهم شده است، برداشته شود.

---

1 -Shrinkage factor

2 - Colour/shade

در اینجا shade، به معنی تغییرات جزئیِ رنگ به کار می‌رود

۷-۱-۲ تجهیزات مخلوط‌سازی

تمام تجهیزات مخلوطسازی باید تمیز و خشک باشد.

۷-۱-۲-۱ قطعهٔ شیشه‌ای یا صفحه مخلوط‌سازی

۷-۱-۲-۲ قاشقک، ساخته شده از ماده‌ای که به‌راحتی توسط پودر سرامیک دندانی ساییده نمی‌شود (با جنس شیشه پیشنهاد می‌شود). ابزار مورد استفاده برای روش مخلوط‌سازی باید از موادی باشد که ماده سرامیکی را آلوده نکند.

۷-۱-۲-۳ قالب چندقطعه‌ای باز، که آزمونه تغلیظ شده می‌تواند بدون تغییر شکل از آن بیرون بیاید.

۷-۱-۲-۴ سیستم ارتعاش (میز ارتعاش یا برس مکانیکی)، با قابلیت ارتعاش در فرکانس ۵۰ Hz تا ۶۰ Hz یا مطابق دستورالعمل سازنده.

۷-۱-۳ روش مخلوط‌سازی

آب یا مایع مدل‌سازی و پودر سرامیک را با نسبت توصیه شده توسط سازنده ترکیب کنید. از مخلوط کردن شدید که باعث آمیختگی حباب‌های هوا با خمیر می‌شود، خودداری کرده و مطابقت با بندهای ۵-۱ و ۵-۲-۱ در حین و پس از مخلوط کردن، بررسی کنید.

۷-۱-۴ روش‌کار ساخت آزمونه

قالب را با خمیر سرامیک دندانی پر و مرتعش کنید. هنگامی که مایع اضافی بر سطح آزاد آزمونه ظاهر شد، ورق کاغذی (یا ماده جاذب مشابه) را بر سطح آزمونه قرار دهید و مایع اضافی را به محض اشباع شدن کاغذ از مایع، با جایگزین کردن مداوم کاغذ خارج کنید. کاغذهای خیس شده را با کاغذهای جدید جایگزین کنید تا مایع اضافی به طور مداوم زدوده شود. ارتعاش و آب‌زدایی را تا زمانی ادامه دهید که دیگر مایعی خارج نشود و سپس سطح آزاد آزمونه سفت شده را با استفاده از ابزار مناسب تراز کنید (برای این کار یک شیشه میکروسکوپ مورب مناسب است). پس از برداشتن نمونه از قالب، آن را درون یک سینی پخت قرار داده و خشک کنید. مطابقت با الزامات بند ۵-۳ را بررسی کنید.

یادآوری- روش‌های شکل‌دهی دیگر مانند پرسکاری خشک برای ساخت آزمونه، قابل قبول است.

۷-۱-۵ پخت

آزمونه‌ها را به گونه‌ای در کوره قرار دهید که به طور یکنواختی روی یک زیرلایه در معرض حرارت قرار گیرند و هنگام برداشتن آزمونه‌ها به آنها نچسبند. راهنمایی‌های مربوط به پخت آزمونه‌ها را از سازنده تهیه کنید. از آنجایی که ممکن است چگالی نهایی و شرایط حرارتی پروتزها یا ترمیم‌های خاص برای آزمونه داده شده متفاوت از دستورالعمل‌های مورد استفاده باشد، بهتر است آزمونه‌ها مطابق دستورالعمل سازنده پخت شوند.

۷-۲ رادیواکتیویته سرامیک دندانی

۷-۲-۱ آماده‌سازی نمونه‌ها

۷-۲-۱-۱ سرامیک‌های نوع ۱

یک نمونه ۵۰ g، همان‌گونه که ساخته شده، و در شرایطی که مطابق بند ۶-۱ جمع‌آوری شده است، مناسب است.

۷-۲-۱-۲ سرامیک‌های نوع ۲

پودر را با استفاده از مواد سایشی کاربید تنگستن یا هر واسط مناسب دیگر (به منظور جلوگیری از آلودگی توسط ذرات رادیواکتیو) آسیاب کنید. برای تهیه g ۵۰ پودر با ذراتی به ابعاد کمتر از µm ۷۵، محصول آسیاب را الک کنید.

۷-۲-۲ روش‌کار شمارش

نمونه‌ای به جرم g۵۰ از پودر توده را استفاده کنید و شدت رادیواکتیویتهٔ[1] اورانیوم ۲۳۸ را با فعال‌سازی نوترون یا اسپکتروسکوپی گاما تعیین کنید.

یادآوری- نمونه‌هایی که برای سنجش شدت رادیواکتیویتهٔ آنها از روش‌های طیف‌سنجی گاما استفاده شده است، بهتر است برای غربال‌گری نظر استحاله[2] استفاده شوند.

۷-۲-۳ ارزیابی نتایج

هر نمونه آزمون شده باید با الزامات بند ۵-۲-۲ مطابقت داشته باشد.

۷-۳ استحکام خمشی

سه روش آزمون خمشی مورد قبول عبارتند از:

الف- خمش سه نقطه‌ای؛

ب- خمش چهار نقطه‌ای؛

پ- خمش دومحوره (پیستون و سه گوی).

۷-۳-۱ آزمون‌های خمش سه نقطه‌ای و چهار نقطه‌ای

۷-۳-۱-۱ تجهیزات

۷-۳-۱-۱-۱ دستگاه آزمون مکانیکی یونیورسال، با قابلیت اعمال سرعت mm/min (۰٫۵ ±۱) و قابلیت اندازه‌گیری بار اعمالی مابین N ۱۰ و (N ۱۰۰۰ یا N ۲۵۰۰)، به استاندارد ملی ایران شماره ۱-۸۷۶۸ مراجعه کنید.

۷-۳-۱-۱-۲ قیدوبست‌های[3] آزمون خمشی

۷-۳-۱-۱-۲-۱ قیدوبست برای خمش سه‌نقطه‌ای، متشکل از غلتک‌های تکیه‌گاهی (به قطر mm ۱٫۵ تا mm ۵ ±۰٫۲ mm) که مراکز آن‌ها به فاصله mm ۱۲٫۰ تا (mm ۵ ±۰٫۵) mm ۴۰٫۰ از یکدیگر واقع شده‌اند. بار باید به وسیلهٔ غلتک سوم (به قطر mm ۱٫۵ تا mm ۵ ±۰٫۲ mm) در نقطه میانی حدفاصل تکیه‌گاه‌ها اعمال شود. غلتک‌ها باید از جنس فولاد سخت شده یا ماده سخت دیگری با سختی بیش از HRC ۴۰ (مقیاس راکول) ساخته شود و دارای سطحی صاف با زبری کمتر از R_a µm ۰٫۵ باشد. توصیه شده است که فاصله واقعی بین مراکز غلتک‌های تکیه‌گاه (L) با دقت mm ۰٫۱ اندازه‌گیری شود.

---

1 - Activity concentration

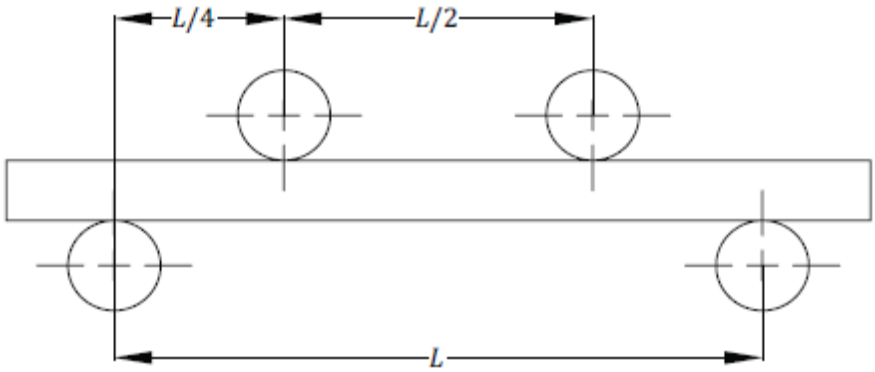
فعالیت مواد رادیوایزوتوپ بر واحد جرم

2 - Aduiteration

3 - Fixtures

۷-۳-۱-۱-۲-۲ قیدوبست برای خمش چهارنقطه‌ای، شامل پیکربندی آزمون نقطهٔ یک‌چهارم که آزمونه با دو غلتک داخلی که در فاصله یک‌چهارم طول کلی (L) از غلتک‌های تکیه‌گاه بیرونی قرار گرفته‌اند بارگذاری می‌شود (به شکل ۱ مراجعه کنید).

تکیه‌گاه‌های غلتکی (به قطر ۱٫۵ mm تا ۵ mm ±۰٫۲ mm) باید طوری قرار گیرند که فاصلهٔ مراکز آن‌ها، L، ۱۶٫۰ mm تا ۴۰٫۰ mm باشند. غلتک‌ها باید از جنس فولاد سخت شده یا ماده سخت دیگری با سختی بیش از ۴۰ HRC (مقیاس راکول) ساخته شود و دارای سطحی صاف با زبری کمتر از ۰٫۵ µm R_a باشد[1]. دو غلتک بارگذاری با جنس و اندازه مشابه غلتک‌های تکیه‌گاه باید در فاصلهٔ یک‌چهارم نقاط فاصله داخلی ۸٫۰ mm تا ۲۰٫۰ mm (در شکل ۱ برابر $L/2$) واقع شوند. چیدمان بارگذاری باید به گونه‌ای باشد که از برابر بودن نیروهای اعمال شده به غلتک‌های بارگذاری اطمینان حاصل شود و بارگذاری پیچشی به کمترین مقدار برسد. توصیه می‌شود که فاصله واقعی بین مراکز غلتک (L برای غلتک تکیه‌گاه و $L/2$ برای غلتک‌های داخلی) در محدوده ۰٫۱ mm اندازه‌گیری شود. همچنین توصیه می‌شود که فاصله داخلی در مرکز تکیه‌گاه در محدوده ۰٫۱ mm باشد.



شکل۲- نمای پیکربندی قیدوبست چهار نقطه‌ای یک‌چهارم (یادآوری- بازوی ممان برابر L/4 است)

۷-۳-۱-۲ آماده‌سازی آزمونه‌ها

۷-۳-۱-۲-۱ ابعاد آزمونه و پارامترهای آزمون

ابعاد:

آزمونه‌ها برای آزمون خمشی سه‌نقطه‌ای و چهارنقطه‌ای دارای سطح مقطع مستطیلی و ترجیحا با لبه‌های پخ مطابق شکل ۳ و با ابعاد زیر هستند. گردی یا پخِ لبه باید در امتداد محور طولی آزمونه سنگ‌زنی شود تا امکان آسیب سنگ‌زنی و پلیسه دادن به حداقل برسد. اگر بتوان مقدار پخ را پس از زینتر کردن در حداقل مقادیر بیان شده حفظ کرد، سنگ‌زنی پخ قبل از زینتر کردن مجاز است.

---

۱ - در صنعت معمولاً از پله‌های عددیِ ... ۳٫۲، ۱٫۶، ۰٫۸، ۰٫۴، ۰٫۲ و ... استفاده می‌شود. بنابراین در شرایط عملیاتی برای سفارش ساخت یا خرید می‌توان از مقدار ۰٫۴R_a استفاده کرد.

ابعاد آزمونه:

عرض $w = (4 \pm 0{,}2)$ mm، (اندازه وجه دارای زاویه‌های قائم با راستای نیروی اعمال شده)،

ضخامت $b = (2{,}1 \pm 1{,}1)$ mm، (۳٫۰ mm توصیه می‌شود، اندازه وجه موازی با راستای نیروی اعمال شده)

پخ $c = (0{,}12 \pm 0{,}03)$ mm (بیشینه ۰٫۱۰ mm توصیه شده برای آزمونه‌های با ضخامت کم $(b \leq 2{,}0$ mm$)$

پارامترهای آزمون:

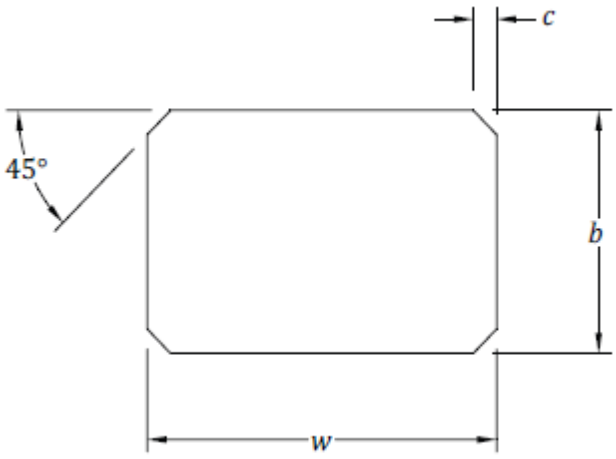
فاصله تکیه‌گاه‌ها:

برای خمش چهارنقطه‌ای، L بر حسب میلی‌متر (فاصله مرکز تا مرکز بین غلتک‌های تکیه‌گاه بیرونی، به شکل ۱ مراجعه کنید. در پیکربندی چهارنقطه‌ای یک‌چهارم مشخص شده، بازوی ممان برابر $L/4$ است).

برای خمش سه‌نقطه‌ای، l بر حسب میلی‌متر (فاصله مرکز تا مرکز بین غلتک‌های تکیه‌گاه).

بار گسیختگی: P بر حسب نیوتن.

طول‌های آزمونه باید حداقل ۲ mm بیشتر از فاصله تکیه‌گاه‌ها (l یا L) و نسبت ضخامت به طول (b/l یا b/L) باید کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۱ باشد.



راهنما:

c پخ

b ضخامت آزمونه

w عرض آزمونه

شکل۳- ویژگی‌های ابعاد اشاره شده

۷-۳-۱-۲-۲ سرامیک‌های نوع ۱

حداقل ۱۰ و ترجیحا ۳۰ آزمونه با ابعاد مشخص شده در بند ۷-۳-۱-۲-۱ آماده کنید. از قالبی با ابعاد مناسب استفاده کنید که امکان تغییرات ابعادی ناشی از زینتر کردن و عملیات نهایی (پرداخت) آزمونه را فراهم کند. آزمونه‌ها را بر اساس دستورالعمل سازنده که بر اساس ابعاد آزمونه بهینه شده است، پخت کنید. هر آزمونه را به منظور ایجاد نمونه مستطیل مطابق بند ۷-۳-۱-۲-۱ سنگ‌زنی کنید. سنگ‌زنی نهایی با سنگ الماسه با دانه‌بندی اسمی ۳۰ µm تا ۴۰ µm و پرداخت نهایی با سنگ صیقل (پولیش) با دانه‌بندی ذرات ساینده ۱۵ µm تا ۲۰ µm انجام می‌شود. در صورت ممکن برای به حداقل رساندن آسیب سنگ‌زنی که می‌تواند استحکام را

تغییر دهد، بهتر است سنگ‌زنی هر چهار وجه طولی به موازات محور طولی آزمونه، انجام شود. پرداخت ممکن است لزوما قبل از آسیب سنگ‌زنی حذف نشود، مگر اینکه با عمل پرداخت، ۲۰ µm تا ۳۰ µm ماده برداشته شود. اطمینان حاصل کنید که سطوح مقابل آزمونه، مسطح و در بازه ۰٫۰۵ mm موازی باشد. در صورت نیاز، آزمایش آزمونه «در حالت پخت‌شده» (بدون سنگ‌زنی بیشتر در لبه یا در سطح) ممکن است تا زمانی انجام شود که شکل و ابعاد در محدوده مشخص شده باشد. آزمونه‌ها را به طور کامل پاک کرده و اطمینان حاصل کنید که تمامی اثرات باقی‌مانده سنگ‌زنی برطرف شود.

۷-۳-۱-۲-۳ سرامیک‌های نوع ۲

بر اساس دستورالعمل سازنده، حداقل ۱۰ و ترجیحا ۳۰ آزمونه با ابعاد مشخص شده در بند ۷-۳-۱-۲-۱ آماده کنید. در مورد مواد سرامیکی ساخته شده برای ماشین‌کاری، آزمونه‌ها را از بلوک‌های سرامیکی ساخته شده توسط تولید کننده آماده کنید. هر یک از آزمونه‌ها را برای تولید قطعات آزمون با استفاده از روش مشخص شده در بند ۷-۳-۱-۲-۲ سنگ‌زنی کنید. در صورت نیاز، آزمایش آزمونه «در حالت پخت شده» (بدون سنگ‌زنی بیشتر در لبه یا در سطح) می‌تواند تا زمانی انجام شود که شکل و ابعاد در محدوده مشخص شده باشد.

۷-۳-۱-۳ روش‌کار

ابعاد سطح مقطع هر قطعه آزمون را با دقت ±۰٫۰۱ mm اندازه‌گیری کنید. سپس، یک قطعه آزمون را در نقطه میانی حدفاصل تکیه‌گاه‌های ماشین آزمون طوری قرار دهید که نیرو به وجه دارای عرض ۴ mm در امتداد خط عمود بر محور طولی آزمونه اعمال شود. نیروی مورد نیاز برای شکست آزمونه را با دقت ±۰٫۱ N اندازه‌گیری کنید. نیرو را با سرعت (۰٫۵ ± ۱) mm/min به آزمونه اعمال کنید. این روش را برای باقی آزمونه‌ها تکرار کنید.

۷-۳-۱-۴ محاسبه استحکام

۷-۳-۱-۴-۱ خمش سه‌نقطه‌ای

استحکام خمشی، σ، را بر حسب مگاپاسکال از فرمول (۱) محاسبه کنید و میانگین و انحراف استاندارد داده‌های استحکام را گزارش کنید. میانگین باید مساوی یا بیش از الزامات بیان شده در جدول ۱ باشد. علاوه بر این، اگر حداقل ۱۵ آزمونه آزمون شود، استحکام مشخصه ویبول و مدول ویبول ممکن است مانند پیوست ب گزارش شود.

$$\sigma = \frac{3Pl}{2wb^2} \qquad (۱)$$

که در آن:

P بار گسیختگی، بر حسب نیوتن؛

l فاصله تکیه‌گاه‌ها (فاصله مرکز تا مرکز غلتک‌های تکیه‌گاه‌ها)، بر حسب میلی‌متر؛

w عرض آزمونه، یعنی اندازه وجهی از آزمونه با زاویه قائم نسبت به راستای بار اعمال شده، بر حسب میلی‌متر؛

b ضخامت آزمونه، یعنی اندازه وجهی از آزمونه موازی با راستای بار اعمال شده، بر حسب میلی‌متر.

۷-۳-۱-۴-۲ خمش چهارنقطه‌ای

استحکام خمشی، σ، را بر حسب مگاپاسکال از فرمول (۲) محاسبه کنید و میانگین و انحراف استاندارد داده‌های استحکام را گزارش کنید. میانگین باید مساوی یا بیش از الزامات بیان شده در جدول ۱ باشد. علاوه بر این، اگر حداقل ۱۵ آزمونه آزمون شود، استحکام مشخصه ویبول و مدول ویبول می‌تواند مانند پیوست ب گزارش شود.

$$\sigma = \frac{3PL}{4wb^2} \qquad (۲)$$

که در آن:

P بار وامانی[1]، بر حسب نیوتن؛

L فاصله تکیه‌گاه‌ها (فاصله مرکز تا مرکز غلتک‌های تکیه‌گاه‌ها)، بر حسب میلی‌متر؛

w عرض آزمونه، یعنی اندازه وجهی از آزمونه با زاویه قائم نسبت به راستای بار اعمال شده، بر حسب میلی‌متر؛

b ضخامت آزمونه، یعنی اندازه وجهی از آزمونه موازی با راستای بار اعمال شده، بر حسب میلی‌متر.

یادآوری- اگر فاصله تکیه‌گاه‌ها به گونه‌ای باشد که نقاط بارگذاری دقیقا در $L/4$ نباشد، می‌توان از فرمول (۳) استفاده کرد.

$$\sigma = \frac{3P(L_o - L_i)}{2wb^2} \qquad (۳)$$

که در آن:

L_o فاصله غلتک‌های بیرونی تکیه‌گاه؛

L_i فاصله غلتک‌های درونی تکیه‌گاه.

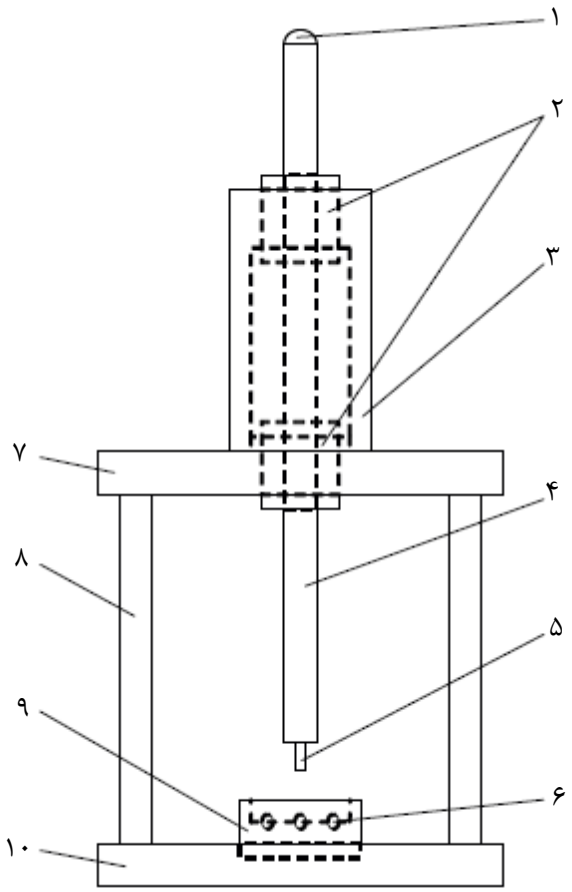
۷-۳-۲ آزمون خمش دومحوری (آزمون پیستون و سه گوی)

۷-۳-۲-۱ تجهیزات

۷-۳-۲-۱-۱ دستگاه آزمون مکانیکی یونیورسال، با قابلیت اعمال سرعت mm/min (۰٫۵ ± ۱) و قابلیت اندازه‌گیری بار اعمالی مابین N ۱۰ و (٪ ۱±) N ۲۵۰۰.

۷-۳-۲-۱-۲ قیدوبست آزمون استحکام خمشی دومحوری، برای تکیه‌گاه آزمونه، سه گوی فولاد سخت‌کاری شده به قطر mm ۰٫۲± mm ۴٫۵ که با زاویه °۱۲۰ نسبت به هم بر روی دایره‌ای به قطر mm ۱ ± mm ۱۱ واقع شده‌اند، باید فراهم شود. نمونه باید به صورت هم‌مرکز بر روی تکیه‌گاه‌ها قرار گرفته و بار باید از طریق یک سنبهٔ سرتخت به قطر mm ۰٫۲± mm ۱٫۴ در مرکز آزمونه اعمال شود (به شکل ۴ مراجعه کنید).

1 -Failure



راهنما:

۱ گوی فولادی ۱۲٫۵ mm

۲ بوش ساچمه‌ای دقیق

۳ نگهدارنده بوش بالایی

۴ میلهٔ سخت‌کاری شده سنگ‌زنی شده دقیق، سنبه

۵ پین سخت‌کاری‌شده به قطر mm (۰٫۲ ± ۱٫۴)

۶ سه گوی فولادی به قطر mm (۰٫۲ ± ۴٫۵) با زاویه 120° نسبت به هم که بر روی دایره با قطر mm (۱ ± ۱۱) واقع شده‌اند.

۷ صفحه بالایی

۸ سه میله فاصله‌دهنده

۹ نگهدارنده نمونه

۱ صفحه زیر

شکل۴- نمایی از قیدوبست آزمون خمش برای روش پیستون و سه گوی

۷-۳-۲-۲ آماده‌سازی آزمونه‌ها

۷-۳-۲-۲-۱ سرامیک‌های نوع ۱

حداقل ۱۰ و ترجیحا ۳۰ دیسک به ضخامت mm (۰٫۲ ±۱٫۲) و قطر mm (۲ ± ۱۴) آماده کنید. از قالبی با ابعاد مناسب استفاده کنید که امکان تغییرات ابعادی ناشی از زینتر کردن و عملیات نهایی (پرداخت) آزمونه را فراهم آورد. سنگ‌زنی نهایی هر یک از آزمونه‌ها با سنگ الماسی با دانه‌بندی اسمی µm ۳۰ تا µm ۴۰ و پرداخت نهایی با سنگ صیقل به دانه‌بندی µm ۱۵ تا µm ۲۰ انجام می‌شود. اطمینان حاصل کنید که سطوح مقابل آزمونه، مسطح و در بازه mm ۰٫۰۵ موازی باشد. آزمونه را به طور کامل پاک کرده و اطمینان حاصل کنید که تمام اثرات

باقی‌مانده سنگ‌زنی برطرف شود. در صورت نیاز، آزمون آزمونه «در حالت پخت‌شده» (بدون سنگ‌زنی بیشتر در لبه یا در سطح) ممکن است تا زمانی انجام شود که شکل و ابعاد در محدوده مشخص شده باشد.

۷-۳-۲-۲-۲ سرامیک‌های نوع ۲

بر اساس دستورالعمل سازنده حداقل ۱۰ و ترجیحا ۳۰ دیسک به ضخامت تقریبی mm (۰٫۵ ±۱٫۵) و قطر mm (۲ ±۱۴) آماده کنید. در مورد مواد سرامیکی تولید شده برای ماشین‌کاری، آزمونه‌ها را از بلوک‌های سرامیکی ساخته شده توسط سازنده آماده کنید. هر یک از آزمونه‌ها را برای تولید قطعات آزمون به ضخامت mm (۰٫۲ ±۱٫۲) و قطر mm (۲ ±۱۴) سنگ‌زنی کنید. آزمونه‌ها را با استفاده از روش توصیف شده در بند ۷-۳-۲-۲-۱ سنگ‌زنی و پرداخت کنید. در صورت نیاز، آزمون آزمونه «در حالت پخت‌شده» (بدون سنگ‌زنی بیشتر در لبه یا در سطح) ممکن است تا زمانی انجام شود که شکل و ابعاد در محدوده مشخص شده باشد.

۷-۳-۲-۳ روش‌کار

برای آزمون استحکام خمشی دو محوری، ممکن است از یک قیدوبست مانند شکل ۴ استفاده شود. ابعاد هر قطعه آزمون و تمام متغیرهای مربوط دیگر را در بازه mm ۰٫۰۱ ± اندازه بگیرید. سپس، یک قطعه آزمون در مرکز گوی‌های تکیه‌گاه ماشین آزمون طوری قرار دهید که بار به مرکز آزمونه اعمال شود. لایه نازکی از ماده غیرصلب بین گوی‌های تکیه‌گاه آزمونه و فیلم دیگری بین پیستون بارگذاری و آزمونه قرار دهید تا فشار تماسی به طور مساوی توزیع شود.

مثال: ورق پلی‌اتیلن به ضخامت mm ۰٫۰۵.

بار مورد نیاز برای شکستن آزمونه را با دقت N ۰٫۱ ± تعیین کنید. نیرو را با سرعت mm/min (۰٫۵ ± ۱) به آزمونه اعمال کنید. این روش را برای باقی آزمونه‌ها تکرار کنید.

۷-۳-۲-۴ محاسبه استحکام

استحکام خمشی، σ، را بر حسب مگاپاسکال از فرمول (۴) محاسبه کنید و میانگین و انحراف استاندارد داده‌های استحکام را گزارش کنید. میانگین باید مساوی یا بیش از الزامات بیان شده در جدول ۱ باشد. علاوه بر این، اگر حداقل ۱۵ آزمونه آزمون شود، استحکام مشخصه ویبول و مدول ویبول ممکن است مانند پیوست ب گزارش شود.

$$\sigma = -0.2387P(X - Y)/b^2 \qquad (۴)$$

که در آن:

σ بیشینه تنش کششی مرکزی، بر حسب مگاپاسکال؛

P بار کل که باعث گسیختگی می‌شود، بر حسب نیوتن؛

$$X = (1 + \nu)\ln(r_2/r_3)^2 + [(1 - \nu)/2](r_2/r_3)^2 \qquad (۵)$$

$$Y = (1 + \nu)[1 + \ln(r_1/r_3)^2] + (1 - \nu)/2](r_1/r_3)^2$$

که در آن:

ν نسبت پواسون (اگر این مقدار برای سرامیک مورد نظر معلوم نباشد، نسبت پوواسون را برابر ۰٫۲۵ در نظر بگیرید)؛

r_1 شعاع دایره تکیه‌گاه، بر حسب میلی‌متر؛

r_2 شعاع ناحیه بارگذاری، بر حسب میلی‌متر؛

r_3 شعاع آزمونه، بر حسب میلی‌متر؛

b ضخامت آزمونه در ناحیه گسیختگی، بر حسب میلی‌متر.

۷-۴ ضریب انبساط حرارتی خطی

۷-۴-۱ تجهیزات

۷-۴-۱-۱ وسیله‌ای، برای نشانه‌گذاری آزمونه‌های میله‌ای سرامیک‌های نوع ۱ و ۲.

۷-۴-۱-۲ آون سرامیک دندانی برای پخت سرامیک‌های نوع ۱ و کنترل شرایط حرارتی سرامیک‌های نوع ۱ و ۲.

۷-۴-۱-۳ دیلاتومتر[1] کالیبره شده.

۷-۴-۲ آماده‌سازی آزمونه‌ها (سرامیک‌های نوع ۱و۲)

چهار آزمونه به شکل میله‌ای یا مفتولی به طول ۵ mm تا ۵۰ mm با حداکثر سطح مقطع ۳۰ mm^2 آماده کنید. دو آزمونه را یک بار در خلأ و یک بار در فشار جو در هوا، و دو آزمونه دیگر را سه بار در خلأ و یک بار در فشار جو در هوا پخت کنید. پخت‌های متعدد برای موادی که ضریب انبساط حرارتی خطی تحت تاثیر پخت قرار نمی‌گیرد، الزامی نیست. انتهای آزمونه‌ها را به گونه‌ای سنگ‌زنی کنید که تخت، موازی و عمود بر محور آزمونه‌ها باشد.

۷-۴-۳ اندازه‌گیری دیلاتومتری

هر یک از آزمونه‌ها را در آون دیلاتومتر در دمای اتاق قرار دهید و ۱۵ دقیقه صبر کنید تا آزمونه با دمای آون همدما شود.

پیش‌بارهای نمونه را بر روی مقادیر مشخص شده توسط سازنده وسیله، برای سرامیک‌های در حال اندازه‌گیری تنظیم کنید.

اندازه‌گیری انبساط آزمونه را در ۵°C/min تا ۱۰°C/min مابین دمای ۲۵°C یا ۵۰°C و تقریبا ۵۰۰°C (یا تقریبا ۳۰°C بیشتر از T_g، در صورت لزوم کمتر یا بیشتر از ۵۰۰°C) که برای اندازه‌گیری گرافیکی T_g مناسب باشد انجام دهید (به شکل ۵ مراجعه کنید). برای هر آزمونه، ضریب انبساط حرارتی خطی را مابین دمای ۲۵°C یا ۵۰°C و ۵۰۰°C (یا T_g) با ارجاع به نمودارهای رسم شده یا مقادیر ثبت شده که بیانگر انبساط نسبت به دماست، تعیین کنید.

1- Dilatometer

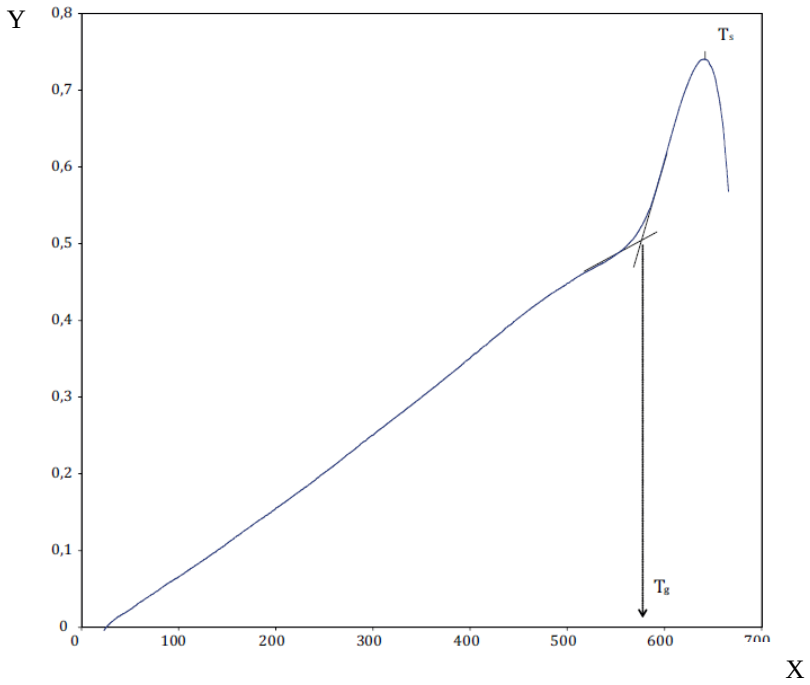
۷-۴-۴ ارزیابی نتایج

مقدار میانگین و انحراف استاندارد ضریب انبساط حرارتی خطی را برای چهار آزمونه (دوبار و چهار بار پخت شده) مابین دمای ۲۵°C یا ۵۰°C و ۵۰۰°C (یا T_g) گزارش کنید. میانگین ضریب انبساط حرارتی گرد شده را با تقریب $۰/۱ \times ۱۰^{-۶}\ K^{-1}$، گزارش کنید.

۷-۵ دمای انتقال شیشه

۷-۵-۱ روش‌کار عملیاتی

با مراجعه به نمودارهای میزان انبساط به‌دست آمده مطابق بند ۷-۴-۳ (که در شکل ۵ نشان داده شده است)، به طور گرافیکی دمای انتقال شیشه، T_g را برای هر آزمونه (در مواردی که کاربرد دارد) تعیین کنید.



راهنما:

X دما بر حسب °C

Y تغییرات در طول بر حسب µm

یادآوری- Ts دمای نرم شدن دینامیکی سرامیک تحت بار دیلاتومتر و آهنگ گرمایشِ مورد استفاده است.

شکل۵- مثالی از نمودار دیلاتومتری که نمایش‌دهندهٔ روش گرافیکی تعیین دمای انتقال شیشه (T_g) است

۷-۵-۲ ارزیابی نتایج

مقادیر میانگین و انحراف از استاندارد دمای انتقال شیشهٔ اندازه‌گیری شده در بند ۷-۵-۱ را بر حسب درجهٔ سلسیوس گزارش کنید.

۷-۶ حلالیت شیمیایی

۷-۶-۱ واکنشگر

استیک اسید (درجهٔ تجزیه‌ای)، محلول ٪ ۴ (V/V) در آب درجه ۳ مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۸.

۷-۶-۲ تجهیزات

۷-۶-۲-۱ ترازو، با درستی ۰٫۱ mg.

۷-۶-۲-۲ آون برای خشک کردن، با قابلیت کنترل در دمای °C (۵ ± ۱۵۰).

۷-۶-۳ آماده‌سازی آزمونه‌ها

۷-۶-۳-۱ سرامیک‌های نوع ۱

آزمونه‌ها را با استفاده از پودر جمع‌آوری شده مطابق روش توصیف شده در بند ۶-۱ آماده کنید و سپس بر اساس دستورالعمل سازنده که بر اساس ابعاد نمونه بهینه شده است، پخت کنید. آزمونه‌های تهیه شده باید طوری آماده‌سازی شوند که حداقل cm^2 ۳۰ از سطح آن‌ها آزادانه در معرض محلول آزمون قرار گیرد.

۷-۶-۳-۲ سرامیک‌های نوع ۲

آزمونه‌ها را مطابق دستورالعمل سازنده طوری آماده‌سازی کنید که که حداقل cm^2 ۳۰ از سطح آن‌ها آزادانه در معرض محلول آزمون قرار گیرد. در صورت کاربرد، آزمونه‌ها را برای دستیابی به براقیت یا برای ایجاد سطح پرداخت شده مناسب، با استفاده از روش‌های پرداخت طبق دستورالعمل سازنده پخت کنید تا شبیه سطح پرداخت شده مورد استفاده در کاربردهای بالینی شود.

۷-۶-۴ روش‌کار

آزمونه‌ها را با آب درجه ۳ مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۸ شسته و با قرار دادن در دمای °C (۵ ± ۱۵۰) به مدت ۴ ساعت خشک و سپس با دقت ۰٫۱ mg وزن کنید. سطح کل را با دقت cm^2 ۰٫۵ اندازه‌گیری کنید. باید از ml ۲۵۰ آب شست‌وشو حاوی ml ۱۰۰ محلول استیک اسید (درجه تجزیه‌ای) رقیق شده با نسبت ٪ ۴ (V/V) در آب درجه ۳ مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۸ استفاده شود. برای این کار می‌توانید از بطری‌های شیشه‌ای پیرکس یا پلاستیکی ml ۲۵۰ یا چندین بار پر و خالی کردن بطری‌های کوچک‌تر مثلاً ml ۱۰۰ استفاده کنید. آزمونه‌ها را تا دمای °C (۳ ± ۸۰) گرم کرده و در بطری قرار دهید. درب بطری را بسته و آن را به مدت ۱۶ ساعت در آون با دمای °C (۳ ± ۸۰) قرار دهید. آزمونه‌ها را با آب درجه ۳ مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۸ شسته و با قرار دادن در دمای °C (۵ ± ۱۵۰) تا رسیدن به جرم ثابت، خشک و مجددا وزن کنید.

۷-۶-۵ محاسبه و ارزیابی نتایج

کاهش جرم آزمونه‌ها را بر حسب میکروگرم بر سانتی‌متر مربع محاسبه کنید. بررسی کنید که با الزامات بیان شده در جدول ۱ مطابقت داشته باشد.

۸ اطلاعات و دستورالعمل‌ها

۸-۱ اطلاعات

۸-۱-۱ کلیات

حداقل اطلاعات زیر که توسط سازنده تامین شده است، باید روی بسته‌ها یا در نوشته‌های همراه در نظر گرفته شوند.

۸-۱-۲ سرامیک‌های نوع ۱

الف- چرخه زمان- دما برای برنامهٔ پخت (شامل دمای نهایی، زمانی که باید در آن دما نگهداشته شود و آهنگ گرمایش و سرمایش) و در مورد سرامیک‌های پخت شده در خلأ، مقدار خلأ و زمان اعمال؛

ب- دمای صیقل‌کاری

۸-۱-۳ سرامیک‌های نوع ۲

جزئیات بیشتر در مورد کار با مواد سرامیکی و عملیات روی مواد. در مورد مواد سرامیکی تولید شده برای ماشین‌کاری، اطلاعاتی در مورد نوع تجهیزات سنگ‌زنی و پرداخت توصیه شده.

برای سرامیک‌های تا حدی زینتر شده و سرامیک‌های شیشه‌ای که نیاز به عملیات حرارتی بیشتر دارند، باید آهنگ گرمایش و زمان‌های نگهداری با گستره دماها و زمان‌های اختصاص داده شده مجاز مناسب برای کوره‌های کالیبره شده بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۱۵۱ یا معادل آن، مشخص شود.

۸-۲ دستورالعمل‌هایی برای استفاده

۸-۲-۱ دستورالعمل‌های عمل‌آوری باید توسط توزیع کننده برای خریدار فراهم شود.

۸-۲-۲ اطلاعات زیر باید همراه دستورالعمل مواد باشد:

الف- نام تجاری یا علامت تجاری سرامیک؛

ب- نام و نشانی سازنده و /یا نمایندگی وی؛

پ- نوع و رده سرامیک دندانی؛

ت- ضریب انبساط حرارتی مابین دمای ^{o}C ۲۵ یا ^{o}C ۵۰ و ^{o}C ۵۰۰ (یا T_g) و T_g (در مواردی که کاربرد دارد)؛

ث- طیف فرعی رنگ مشخص شده در راهنمای سازنده (در مواردی که کاربرد دارد)؛

ج- هرگونه شرایط نگهداری (انبارش)؛

ح- هشدار کلی در مورد خطرات بالقوه تهدید کننده سلامت (در صورت وجود) مانند موارد مربوط به استنشاق ذرات سرامیک.

۹ بسته‌بندی، نشانه‌گذاری و برچسب‌زنی

۹-۱ بسته‌بندی

محصولات سرامیک دندانی پودری یا غیرپودری باید در بسته‌های درزبندی شده ارائه شوند که آلوده نشده و اجازه ورود آلودگی به محتویات را ندهد.

۹-۲ نشانه‌گذاری و برچسب‌زنی

۹-۲-۱ اطلاعات زیر باید به صورت واضح بر روی هر بسته نشانه‌گذاری شود یا با استفاده از یک برچسب به صورت مطمئنی چسبانده شود:

الف- شماره بهر یا ترکیب حروف و شماره‌هایی که مربوط به سوابق سازنده برای بهر یا بچ خاصی از سرامیک باشد؛

ب- نام سازنده و/یا نماینده (یا نام توزیع کننده در صورتی که به صورت جداگانه برچسب زده شده باشد)؛

پ- طیف فرعی رنگ مشخص شده در راهنمای سازنده (در مواردی که کاربرد دارد)؛

ت- نام تجاری محصول؛

ث- حداقل جرم خالص پودر سرامیکی درون بسته بر حسب گرم، حجم خالص بر حسب میلی‌لیتر یا تعداد واحدهای دوز مانند بلوک‌های سرامیکی یا قرص‌های سرامیکی عمل‌آوری شده؛

ج- هشدار کلی در مورد خطرات بالقوه تهدید کننده سلامت (در صورت وجود) مانند موارد مربوط به استنشاق ذرات سرامیک.

۹-۲-۲ اطلاعات زیر باید به صورت واضح بر روی بلوک‌های سرامیکی CAD/CAM نشانه‌گذاری شود:

الف- شماره بهر یا ترکیب حروف و شماره‌هایی که مربوط به سوابق سازنده برای بهر یا بچ خاصی از سرامیک باشد؛

ب- نام تجاری محصول؛

پ- برای مواد سرامیکی تا حدی زینتر شده، ضریب انقباض که از تقسیم ابعاد ماده تا حدی زینتر شده حاصل می‌شود، باید به صورت ضریب تا سه رقم اعشار بیان شود.

۹-۲-۳ اطلاعات زیر باید به صورت واضح بر روی شمش‌های متراکم پذیر نشانه‌گذاری شود:

الف- طیف فرعی رنگ مشخص شده در راهنمای سازنده (در مواردی که کاربرد دارد).

پیوست الف
(اطلاعاتی)
چقرمگی شکست

الف-۱ چقرمگی شکست

الف-۱-۱ کلیات

چقرمگی شکست، خاصیت مهمی از سرامیک‌های دندانی است که غالباً «ذاتیِ» جنس ماده بوده و می‌توان از آن برای پیش‌بینی سایر خواص مانند استحکام (که به اندازه عیب و تعداد آن حساس است) استفاده کرد. ازاین‌رو، مقادیر چقرمگی شکست، امکان مقایسه‌های معنی‌دار را بین سرامیک‌های مورد استفاده برای مقاصد ساختاری فراهم می‌کند. روش‌های گوناگونی برای فراهم کردن تخمین‌های مناسب از چقرمگی شکست وجود دارد که از نظر دشواری اجرا با هم متفاوتند.

این استاندارد، استفاده از روش تیرک با فاق Vشکل (SEVNB) مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۲۵۱ یا نسخهٔ ساده‌شده‌ای را که در بند الف-۱-۲ بیان شده است، توصیه می‌کند. ارزیابی‌های بین‌المللی برای استاندارد کردن روش SEVNB صورت گرفته و کاربرپسندی، آسانی، قابلیت اعتماد، و درستی استفاده از آن مشخص شده است (به مراجع [۸] و [۱۲] مراجعه کنید). مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۲۵۱ روش SEVNB بیان می‌کند که نباید از آن برای اندازه‌گیری چقرمگی شکست مواد دانه‌ریز با اندازهٔ دانه‌هایی کمتر از 1 µm استفاده کرد، زیرا آزمون‌های بین آزمایشگاهی [۱۲] اثبات کرده است که اغلب شرکت کننده‌ها قادر به دست‌یابی به تیزی شعاع نوک فاق با استفاده از روش تیزکاری تیغ نشده‌اند. اکثر داده‌های مربوط به این پارامتر، چقرمگی شکست ناشی از آسیب لبهٔ فاق را دست‌بالا گرفته‌اند [۱۲]. همچنین استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۲۵۱ در بند ۱ می‌گوید که این روش به دلیل دشواری شکل‌دهی تیزی قوس نوک فاق نباید برای زیرکونیای چندبلوری ایتریم تتراگونال به کار برده شود.

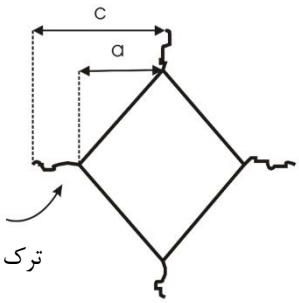
در روش دیگر، چقرمگی شکست را می‌توان با استفاده از روش‌های زیر مطابق با توصیهٔ ISO TC 206 ارزیابی کرد: تیرک تک‌لبهٔ پیش‌ترک‌دارشده (SEPB) (استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۴۵۴)، ترک سطحی حین خمش (CNB) (استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۶۵۷)، یا تیرک فاق‌دار معکوس (SCF) (استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۶۵۵). می‌توان از روش‌های SEPB، CNB و SCF برای زیرکونیای چندبلوری ایتریمی تتراگونال استفاده کرد و امکان دستیابی به نتایج مطلوب با اندکی تجربه امکان‌پذیر است.

چقرمگی شکست نباید با روش‌های متکی بر ترک ناشی از تورفتگی[1] ارزیابی شود (مثلاً هنگامی که چقرمگی بر مبنای طول ترک سطحی متصل به گوشه‌های تورفتگی ویکرز[2] طبق شکل الف-۱ تخمین زده می‌شود).

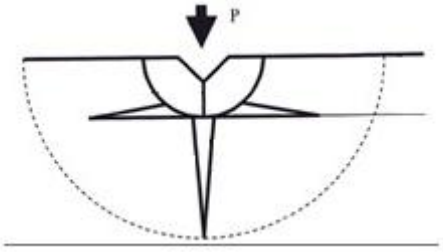
---

1 - Indentation crack

۲- ترک‌هایی که بر اثر فرورفتن نوک ابزار سختی‌سنجی به صورت مرئی و در جهت سطح آزمونه پدید می‌آید.



الف- موقعیت و اندازه ترک



ب- جهت اعمال نیرو برای ایجاد فرورفتگی

راهنما:

□ فاصله قائم نقطهٔ شروع ترک از نقطه مرجع

c فاصله قائم انتهای ترک از نقطه‌ی مرجع

طول ترک برابر است با فاصلهٔ c منهای فاصلهٔ □

شکل الف۱ – نمایش گرافیکی محل ترک و موقعیت آن نسبت به تورفتگی ابزار سختی‌سنجی ویکرز

الف-۱-۲ تجهیزات روش تیرک با فاق Vشکل تک لبه

الف-۱-۲-۱ دستگاه، برای ایجاد تیرهای با وجوه موازی، از طریق پخت یا ماشین‌کاری و سپس سنگ‌زنی و پرداخت.

الف-۱-۲-۲ اره الماسه، برای ایجاد فاق در یک سطح تیرک‌ها.

الف-۱-۲-۳ شابَر یا تیغ یک‌لبه[1] طبق شکل الف-۲، و خمیر پرداخت الماسه، برای صیقلی کردن سطح فاق.

شکل الف۲- تیغ تک‌لبه برای صیقلی کردن لبه و سطح فاق

الف-۱-۲-۴ قیدوبست آزمون سه و چهار نقطه‌ای، مطابق بند ۷-۳-۱-۱-۲

الف-۱-۳ آماده‌سازی آزمونه‌ها

الف-۱-۳-۱ آزمونه‌های پنج تیرکی، برای اندازه‌گیری چقرمگی شکست بر اساس این روش به‌کار می‌رود. آزمونه‌ها سطح مقطع مستطیلی داشته و ابعاد آن به شرح زیر و نیز شکل الف-۲ است. پخ‌خوردگی لبه که برای آزمونه‌های استحکام مشخص شده بود، بهتر است مورد استفاده قرار نگیرد.

ابعاد آزمونه‌ها:

ضخامت: $w = (۴/۰ \pm ۰/۲)$ mm

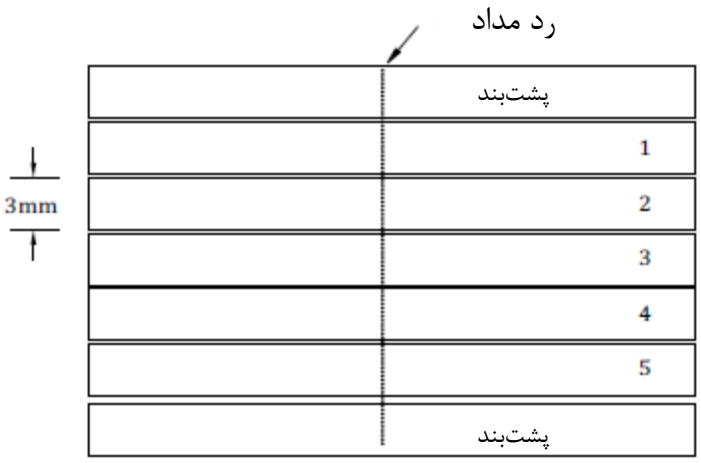
1 - Single-edged razor blade

عرض: $b = (۳٫۰ \pm ۰٫۲)$ mm

طول آزمونه‌ها بهتر است حداقل ۲ mm بلندتر از فاصله بین تکیه‌گاه‌های مورد استفاده برای آزمون باشد. توجه داشته باشید که در این آزمون، آزمونه با زاویه ۹۰° نسبت به آزمونه‌های استحکام مورد آزمون قرار می‌گیرد.

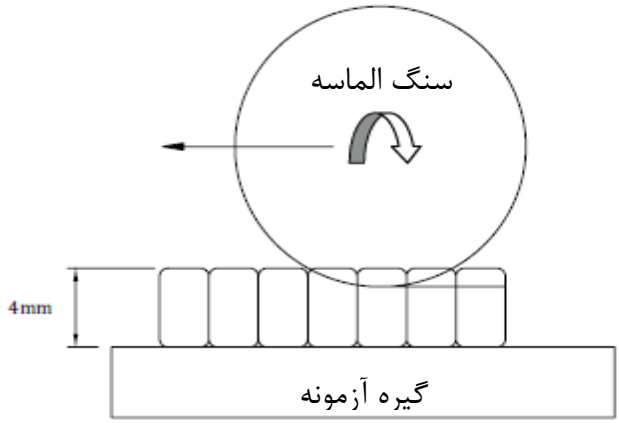
الف-۱-۳-۲ شکل‌دهی فاق آغازگر و صیقل دادن آن

پنج آزمونهٔ اصلی و دو آزمونهٔ پشت‌بند (که برای محافظت آزمونه‌ها در حین برش اره و پرداخت فاق آغازگر به کار می‌رود) را بر روی یک گیرهٔ تخت تا حد امکان نزدیک به هم ببندید تا امکان برشی یکنواخت توسط اره الماسه فراهم شود. سطح اول با عرض ۳ mm، سطحی است که رو به بالا قرار می‌گیرد تا روی آن فاق ایجاد شود (و در حین آزمون تحت تنش خواهد بود). برای مشخص کردن مسیر برش اره، با استفاده از مداد، خطی رسم کنید که از وسط تیرک‌ها بگذرد.



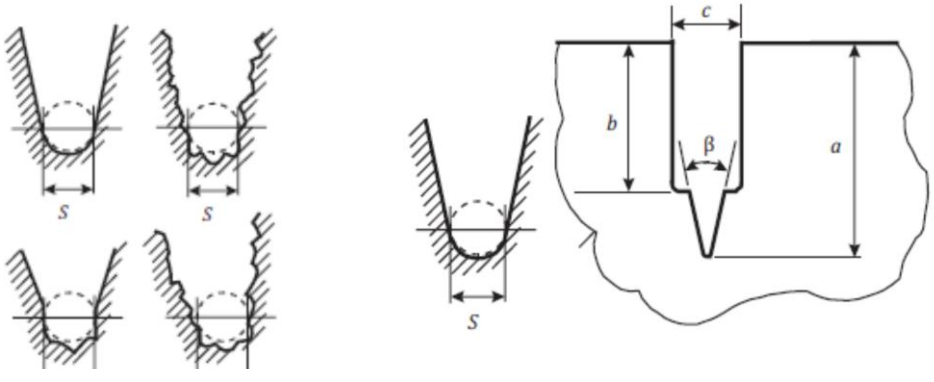
شکل الف۳- شکل‌دهی فاق آغازگر

گیره را همراه با قطعات در کارگیر اره الماسه نصب کنید. از تیغه‌ای به ضخامت برابر یا کمی بیشتر از ضخامت تیغِ تراش برای هدایت مناسب تیغه در حین پرداخت فاق (که در زیر توضیح داده شده است) استفاده کنید. فاقی در امتداد طول خط مداد با عمق یکنواخت در حدود ۰٫۵ mm در سرتاسر آزمونه‌ها ایجاد کنید. پس از برش برای زدودن پلیسه‌های برش، آزمونه‌ها و به‌ویژه فاق را قبل از پرداخت قطعه پاک کنید.



شکل الف۴- شکل‌دهی با چرخ الماسه

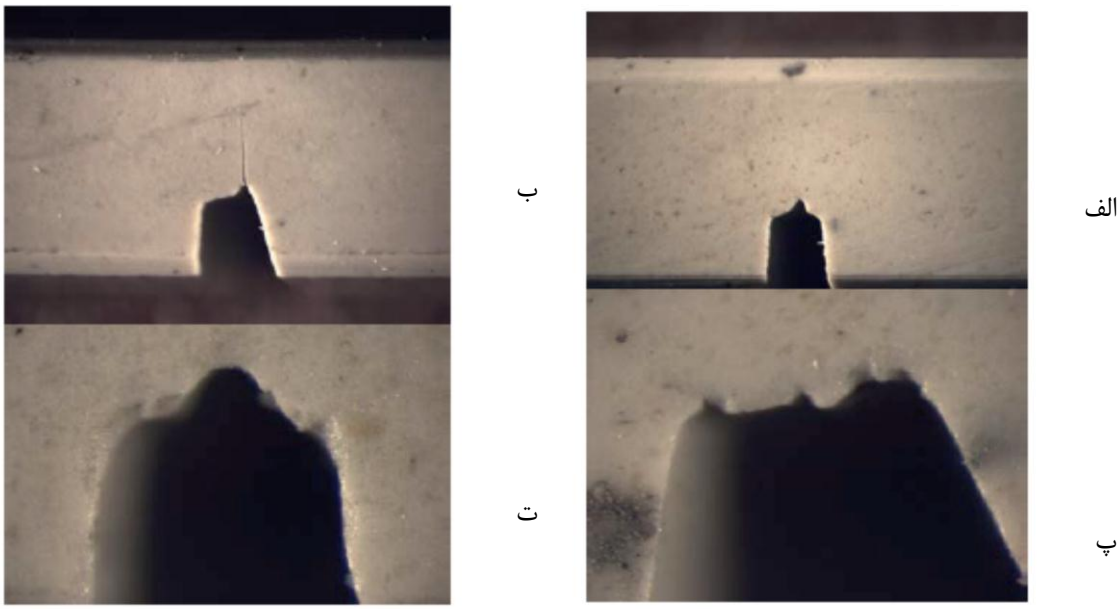
در ادامه پاک‌سازی، فاق را با خمیر صیقل (پولیش) الماسه که بزرگترین ابعاد دانه‌های آن بین ۳ µm تا ۶ µm است، پر کنید. تیغ تراش را درون فاق آغازگر قرار داده و نیروی کمی (۵ N تا ۱۰ N) به آن اعمال کنید و با استفاده از یک حرکت رفت و برگشتیِ آرام و تا حد ممکن مستقیم، فاق را پرداخت کنید. با استفاده از یک میکروسکوپ نوری، هر دو انتهای فاق V شکل را از نظر همواری عمق بررسی کنید. عمق نهایی فاق V شکل باید یکنواخت و در حدود ۰٫۸ mm تا ۱٫۲ mm باشد. طبق شکل، عمق نهایی فاق V شکل باید عمیق‌تر از عمق فاق آغازگر باشد، به‌طوری‌که $a - c \geq b$. آزمونه‌ها را از گیره جدا کرده و در یک حمام فراصوتی با استون پاک کنید. آزمونه‌ها را به‌خوبی خشک کنید (به عنوان مثال با پخت تا ۱۱۰ °C به مدت یک ساعت).



ب الف

a	۰٫۸ mm تا ۱٫۲ mm	β	تقریبا ۳۰ درجه یا تا حد امکان کوچک
b	تقریبا ۰٫۵ mm	S	عرض فاق V
c	عرض تیغه و $a - b \geq c$		

شکل الف۵- نمایی از شکل هندسی فاق Vشکل: الف-اندازه‌گیری عرض و زاویه فاق ب- تفسیر شکل ریشه فاق از استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۱۴۶



شکل الف۶- مثال‌هایی از شکل هندسی قابل قبول و غیرقابل قبول فاق
الف: یک فاق قابل قبول، ب: فاق نامناسب از نظر محور، پ: توسعه ضعیف فاق، ت: فاق به اندازه کافی تیز

روش SEVNB از استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۲۵۱

دو قطعه آزمون از مجموعه پنج تایی برای آزمون انتخاب کنید. از فاق V شکل در یک طرف هر یک از قطعات انتخاب شده با بزرگ‌نمایی ۵۰ برابر و اگر نوک فاق در این بزرگ‌نمایی تعیین نشود، با بزرگ‌نمایی بیشتر، عکس‌برداری کنید. شکل هندسی فاق V شکل را به کمک عکس کنترل کنید. هر گونه انحراف از هندسه نشان داده شده در شکل الف-۵ را گزارش کنید.

نوک فاق Vشکل در همان دو آزمونه را با بزرگ‌نمایی تقریبا ۳۰۰ برابر عکس‌برداری کنید. زاویه فاق Vشکل و عرض را مطابق با شکل الف-۵ اندازه بگیرید. زاویه β فاق V شکل و عرض S را گزارش کنید.

عرض فاق S، بهتر است برابر یا کوچکتر از دو برابر میانگین اندازه دانه ماده آزمون باشد. فاق‌هایی با عرض بیش از ۲۰ µm در هر ماده آزمون، صرف نظر از اندازه دانه، قابل قبول نیست.

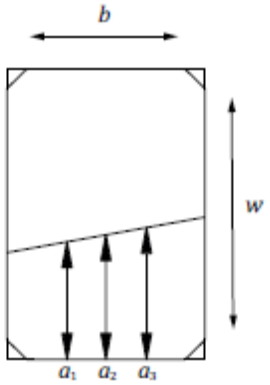
یادآوری۱- اندازه متوسط دانه را می‌توان با یک روش برون‌یابی خطی مانند آنچه در مراجع [۴] و [۱۱] مشخص شده است، تعیین کرد.

یادآوری۲- مفید است قابل قبول بودن عرض فاق را در بیرونی‌ترین آزمونه، قبل از برداشتن آنها از صفحه نصب تعیین کنید. این عمل اجازه می‌دهد تا روند صاف کردن فاق، در صورتی که عرض فاق خیلی بزرگ باشد، ادامه یابد.

الف-۱-۳-۳ آزمون مکانیکی

آزمونه‌ها باید برای چقرمگی شکست در خمش چهار نقطه‌ای (ترجیحا) یا خمش سه‌نقطه‌ای با استفاده از قیدوبست توصیف شده در بند ۷-۳-۱-۱-۲ مورد آزمون قرار گیرند.

سطح عرض ۳ mm را با فاق Vشکل، رو به پایین قرار دهید. آزمونه‌ها را با سرعت ۰٫۵ mm/min در هوا و در دمای اتاق بارگذاری کنید. نیروی شکست را تا سه رقم اصلی ثبت کنید. ضخامت (w) و عرض (b) هر یک را با استفاده از میکرومتر که قادر به اندازه‌گیری تا سه رقم اعشار است، اندازه‌گیری کنید. عمق فاق‌های Vشکل را با استفاده از میکروسکوپ کالیبره شده با بزرگ‌نمایی ۵۰ یا بیشتر اندازه‌گیری کنید. عمق‌های a_1، a_2 و a_3 را تا سه رقم اصلی اندازه‌گیری کنید. برای اطمینان از شروع شکست از انتهای فاق V شکل و ادامه آن در طول، آزمونه را بررسی کنید (اگر این حالت وجود ندارد، آزمون مورد تایید نیست). بر روی سطوح شکستگی، ریشه فاق را از نظر وجود هر گونه شواهدی دال بر گسترش ترک پایدار قبل از شکست بررسی کنید. اگر گسترش ترک پایدار روی دهد و قابل اندازه‌گیری باشد، گسترش پایدار را در محاسبه زیر دخالت دهید. از روی آزمون شکست، سابقه بار-جابجایی یا بار-زمان را برای کنترل این‌که آیا غیرخطی شدن درست قبل از شکست روی داده است یا خیر، بازرسی کنید. اگر غیر خطی شدنی شناسایی شده است، ممکن است نشانه‌ای از گسترش رشد ترک آهسته از پیش‌ترک فاق باشد.



شکل الف۷- اندازه‌گیری عمق فاق Vشکل

الف- ۱-۳-۴ محاسبات

الف-۱-۳-۴-۱ میانگین (a) و عمق‌های نسبی فاق V شکل (α)، را برای هر یک از آزمونه‌ها از فرمول زیر محاسبه کنید. عمق نسبی فاق V شکل (α)، بهتر است بین ۰٫۲ و ۰٫۳ باشد و روابط شامل تغییر در عمق فاق باید رضایت‌بخش باشد.

$$a=(a_1+a_2+a_3)/3 \qquad \text{(الف-۱)}$$

$$(a_{max}-a_{min})/a \leq 0.1 \qquad \text{(تصور می‌شود این فرمول رضایت‌بخش باشد)}$$

$$\alpha = a/w$$

که در آن:

a میانگین عمق شکاف، بر حسب متر؛

a_{max} حداکثر مقدار بین a_1 ، a_2 و a_3، بر حسب متر؛

a_{min} حداقل مقدار بین a_1 ، a_2 و a_3، بر حسب متر؛

a عمق نسبی فاق V شکل است.

الف-۱-۳-۴-۲ چقرمگی شکست، K_{IC}، برای هر یک از آزمونه‌ها به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$K_{Ic} = \frac{F}{b\sqrt{w}} . \frac{S_1 - S_2}{w} . \frac{3\sqrt{a}}{2(1-a)^{1.5}} Y \qquad \text{(الف-۲)}$$

یادآوری- در آزمون سه‌نقطه‌ای، S_2 برابر صفر است.

برای خمش چهار نقطه‌ای، از مراجع [۲]، [۸] و [۱۱] استفاده کنید.

$$Y = 1.9887 - 1.326a - \frac{(3.49 - 0.68a + 1.35a^2)\alpha(1-a)}{(1+a)^2} \qquad \text{(الف-۳)}$$

برای خمش سه نقطه‌ای، فرمول به نسبت فاصله تکیه‌گاه، S_1، بر ضخامت تیرک بستگی دارد.

برای حالتی که S_1/w = ۱۰ ، به مراجع [۲]، [۸] و [۱۱] مراجعه کنید.

$$Y = 1.9472 - 5.0247a + 11.8954a^2 - 18.0635a^3 + 14.5986a^4 - 4.6896a^5 \qquad \text{(الف-۴)}$$

برای حالتی که S_1/w =۷٫۵، (به عنوان مثال S_1=۳۰ mm، و w =۴)، به مراجع [۲] و [۸] مراجعه کنید.

$$Y = 1.964 - 2.837a + 13.7714a^2 - 23.250a^3 + 24.129a^4 \qquad \text{(الف-۵)}$$

یادآوری- در این حالت، جملهٔ a^5 وجود ندارد.

برای حالتی که S_1/w =۸، به مرجع [۱۱] مراجعه کنید.

$$Y = 1.9381 - 5.0947a + 12.3861a^2 - 19.2142a^3 + 15.7747a^4 - 5.1270a^5 \qquad \text{(الف-۶)}$$

برای حالتی که S_1/w =۷، از مرجع [۱۱] استفاده کنید.

$$Y = 1.9322 - 5.1007a + 12.3621a^2 - 19.5510a^3 + 15.9841a^4 - 5.1736a^5 \qquad \text{(الف-۷)}$$

برای حالتی که S_1/w =۶، از مرجع [۱۱] استفاده کنید.

$$Y = 1.9230 - 5.1389a + 12.6194a^2 - 19.5510a^3 + 15.9841a^4 - 5.1736a^5 \qquad \text{(الف-۸)}$$

برای حالتی که S_1/w =۵، از مرجع [۱۱] استفاده کنید.

$$Y = 1.9109 - 5.1552a + 12.6880\ a^2 - 19.5736a^3 + 15.9377a^4 - 5.1454a^5 \qquad \text{(الف-۹)}$$

که در آن:

K_{Ic} چقرمگی شکست، بر حسب (MPa√m)؛

F بار شکست، بر حسب (MN)؛

b عرض آزمونه، بر حسب (m)؛

w ضخامت آزمونه، بر حسب (m)؛

S_1 فاصله تکیه‌گاه، سه نقطه‌ای و چهار نقطه‌ای، بر حسب (m)؛

S_2 فاصله تکیه‌گاه داخلی، چهار نقطه‌ای، بر حسب (m)؛

Y ضریب شکل شدت تنش.

یادآوری- این معادلات مربوط به سه نقطه، با معادلات قید شده در مراجع [۲]، [۸] و [۱۱] سازگار هستند. در اصل، چندین معادله محدود به بازهٔ ۰٫۶ □ a □ ۰٫۳۵ هستند، اما به ازای اندکی کاهش صحت این بازه را تا ۰٫۶ □ a □ ۰٫۲ می‌توان افزایش داد.

تمام محاسبات را برای سه رقم اصلی انجام دهید. مقدار میانگین و انحراف استاندارد K_{Ic} را محاسبه کرده و نتایج را به صورت رند شده تا دو رقم اصلی گزارش کنید.

الف-۱-۳-۴-۳ کنترل مقادیر محاسبه

برای خمش چهار نقطه‌ای، K_{Ic} = 7.42 MPa√m، وقتی:

F=۱۰۰× ۱۰$^{-۶}$ MN، b=۳×۱۰$^{-۳}$ m، w=۴×۱۰$^{-۳}$ m، a=۲×۱۰$^{-۳}$ m، S_1=۴ ×۱۰$^{-۳}$ m، و S_2 =۲۰ ×۱۰$^{-۳}$ m

برای خمش سه نقطه‌ای، K_{Ic} = 7.07 MPa√m، وقتی:

F=۱۰۰× ۱۰$^{-۶}$ MN، b=۳×۱۰$^{-۳}$ m، w=۴×۱۰$^{-۳}$ m، a=۲×۱۰$^{-۳}$ m، و S_1=۲۰ ×۱۰$^{-۳}$ m

جدول الف-۱- طبقه‌بندی سرامیک‌ها برای پروتزهای ثابت بر اساس استفاده بالینی مورد نظر با چقرمگی شکست توصیه شده

طبقه	موارد کاربرد بالینی توصیه شده	حداقل چقرمگی شکست MPa√m
۱	الف- سرامیک تک‌سنگی برای پروتزهای قدامی تکی، روکش‌ها، روکاشت‌ها، یا توکاشت‌های چسبانده شده با سیمان ب- سرامیک برای پوشاندن قاب فلزی یا زیرسازی سرامیکی	۰٫۷
۲	الف- سرامیک تک‌سنگی برای پروتزهای قدامی یا خلفی تکیِ چسبانده شده با سیمان ب- سرامیک زیرسازی به طور کامل پوشش‌داده شده برای پروتزهای قدامی یا خلفی تکیِ چسبانده شده با سیمان	۱٫۰
۳	الف- سرامیک تک‌سنگی برای پروتزهای جلویی یا عقبی تکی و برای پروتزهای سه‌تایی بدون ترمیم مولر (آسیا) سیمانی چسبی یا بدون چسب ب- سرامیک زیرسازی به طور کامل یا جزئی پوشش‌داده شده برای پروتزهای جلویی یا عقبی تک‌واحدی و برای پروتزهای سه‌تایی بدون ترمیم مولر (آسیا) سیمانی چسبی یا بدون چسب	۲٫۰
۴	الف- سرامیک تک‌سنگی برای پروتزهای سه‌تایی شامل ترمیم مولر (آسیا) ب- سرامیک زیرسازی پوشش‌داده شده برای پروتزهای سه‌واحدی شامل ترمیم مولر (آسیا)	۳٫۵
۵	سرامیک تک‌سنگی برای پروتزهای شامل زیرسازی به طور کامل پوشش‌داده شده برای ۴ واحد یا بیشتر یا زیرسازی به طور کامل پوشش داده شده برای پروتزهای شامل چهار واحد یا بیشتر	۵٫۰

پیوست ب
(اطلاعاتی)
آماره‌های ویبول[1]

ب-۱ آماره‌های ویبول

ب-۱-۱ توزیع ویبول، داده‌های استحکام سرامیک معمولا با توزیع نرمال حول مقدار میانگین پراکنده نیستند، اما اغلب به سمت استحکام بالا چولگی[2] دارند. بیشتر توزیع‌های عمومی، مانند توزیع دوپارامتری ویبول، می‌تواند برای داده‌های توزیع شده به شکل نرمال و نامتقارن مناسب باشد.

تابع توزیع دوپارامتری ویبول بر اساس رابطه زیر، احتمال تجمعی وامانی ،P_f، یک سطح (یا حجم) تحت تنش کششی را به دو پارامتر تخمین مربوط می‌کند: الف- مدول ویبول، m (به بند ب-۱-۲ مراجعه کنید)، و ب- استحکام مشخصه ویبول، σ_0 (به بند ب۱-۳ مراجعه کنید):

$$P_f = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m\right] \qquad (ب-۱)$$

ب-۱-۲ مدول ویبول، مدول ویبول پارامتری برای توصیف شکل (شامل عرض) توزیع استحکام به عنوان تابعی از احتمال وامانی است. اگر (m) شبیه اما به صورت عکس با انحراف استاندارد در یک توزیع معمولی مرتبط باشد، با در نظر گرفتن σ_0 مشابه، مدول ویبول کوچکتر، پراکندگی داده وسیع‌تری دارد.

ب-۱-۳ استحکام مشخصه ویبول، استحکام مشخصه ویبول (σ_0) استحکامی است که در احتمال شکست ٪ ۶۳/۲ برای یک آزمونه و پیکربندی بارگذاری خاص روی می‌دهد.

ب-۲ محاسبه پارامترهای استحکام ویبول

مدول ویبول و استحکام مشخصه از روی داده‌های استحکام خمشی با رده‌بندی آماری تخمین زده می‌شوند.

ب-۲-۱ با رده‌بندی استحکام از یک بچ آزمونه‌ها (حداقل پانزده و ترجیحا سی عدد) با ترتیب صعودی شروع کنید و به هر آزمونه یک احتمال شکست بر اساس رده‌بندی آن نسبت دهید.

$$P_f = \frac{i-0.5}{N} \qquad (ب-۲)$$

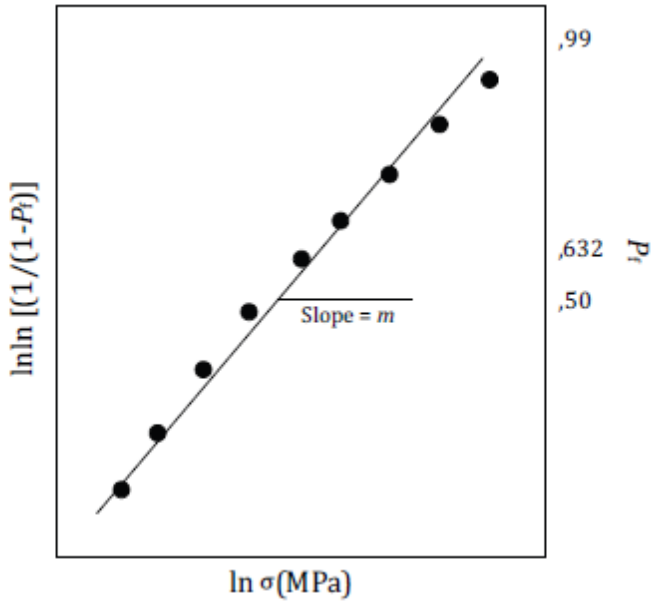
که در آن:

i برابر ۱، ۲، ۳، ۴ ...تا i ام،

N تعداد آزمونه‌ها در بچ.

ب-۲-۲ متغیرهای P_f و σ را به ترتیب به $\ln\ln[(1/1\text{-}P_f)]$ و $\ln \sigma$ تبدیل کنید که برابر دوبار لگاریتم طبیعی $[(1/1\text{-}P_f)]$ و لگاریتم طبیعی σ است. نمودار $\ln\ln[(1/1\text{-}P_f)]$ را بر روی محور عمودی (محور y) نسبت به $\ln \sigma$ بر روی محور افقی (محور x) مانند شکل ب-۱ رسم کنید.

1 - Weibull statistics
2 - Skewness



شکل ب۱- تعیین مدول ویبول

ب-۲-۳ رگرسیون[1] خطی را متناسب با خط مستقیم بند ب-۲-۲ محاسبه کنید، یعنی:

$Y = mx +$ مقدار ثابت

رگرسیون بهتر است به گونه‌ای انجام شود که مربع انحرافات قائم نقاط داده‌های حاصل از خط به حداقل برسد. به عبارت دیگر، رگرسیون تابع لگاریتمِ لگاریتم احتمالات را بر روی لگاریتم تنش اعمال کنید.

ب-۲-۴ مدول ویبول (m) برابر شیب برازش رگرسیون خطی است (یعنی m در بند ب-۲-۳).

ب-۲-۵ استحکام مشخصه ویبول (σ_0) با قرار دادن y=0 در بند ب-۲-۳ محاسبه می‌شود. y را برابر صفر قرار داده و x را محاسبه کنید. چون در $y = 0$، x برابر لگاریتم طبیعی استحکام مشخصه است و با انتخاب توان x محاسبه می‌شود، یعنی $\sigma_0 = e^x$ (در $\sigma = \sigma_0$، ٪ ۶۳٫۲ = P_f است).

ب-۲-۶ پارامترهای ویبول همچنین می‌تواند مطابق با استاندارد ISO 20501 محاسبه شود [۸]، که از روش حداکثر تخمین احتمالی (MLE) استفاده می‌کند. روش MLE که مورد علاقه بسیاری از کارشناسان آمار است، بازهٔ اطمینان تنگ‌تری برای تخمین پارامترهای ویبول ایجاد می‌کند. تخمین MLE برای σ_0 تقریبا با رگرسیون خطی یکسان است، اما مدول ویبول می‌تواند کمی متفاوت باشد. اگر در روش MLE از استاندارد ISO 20501 استفاده شود، باید به‌وضوح در این گزارش بیان شود.

1 -Regression

پیوست پ
(اطلاعاتی)
کتاب‌نامه

[۱] استاندارد ملی ایران شماره ۴۳۰۰، راهنمای گزینش آزمون جهت ارزیابی بیولوژیک یا زیست‌شناسی وسایل پزشکی

[۲] استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۴۵۴، سرامیک‌های ظریف (سرامیک‌های پیشرفته، سرامیک‌های صنعتی پیشرفته)- اندازه‌گیری چقرمگی شکست سرامیک‌های یکپارچه با روش تیغه تک لبه ترک‌دار (SEPB) دردمای اتاق

[۳] استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۸۸، سرامیک‌های ظریف (سرامیک‌های پیشرفته، سرامیک‌های صنعتی پیشرفته) - تحلیل ویبول برای داده‌های استحکام

[۴] استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۶۵۵، سرامیک‌های ظریف (سرامیک‌های پیشرفته، سرامیک‌های صنعتی پیشرفته) - چقرمگی شکست سرامیک‌های یکپارچه در دمای اتاق توسط روش تیغه شیاردار با شکل هفت - روش آزمون

[۵] استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۶۵۷، سرامیک‌های ظریف (سرامیک‌های پیشرفته، سرامیک‌های صنعتی پیشرفته) - چقرمگی شکست سرامیک‌های یکپارچه در دمای اتاق توسط روش ترک سطحی با خمش به روش (scf)- روش آزمون

[۶] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۷۷۷۵، ظروف سرامیکی، ظروف شیشه سرامیک و ظروف شیشه‌ای غذاخوری -آزاد شدن سرب و کادمیوم-قسمت۱: روش آزمون

[۷] استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۱۵۱، دندانپزشکی- کوره دندانپزشکی - روش آزمون برای اندازه‌گیری دما با ترموکوپل مجزا

[۸] استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۲۵۱، سرامیک‌های ظریف (سرامیک‌های پیشرفته، سرامیک‌های صنعتی پیشرفته) – روش آزمون چقرمگی شکست سرامیک‌های یکپارچه – روش تیغه تک‌لبه شکاف‌دار Vشکل

[9] ISO 7405, Dentistry — Evaluation of biocompatibility of medical devices used in dentistry

[10] ISO 10993-14, Biological evaluation of medical devices — Part 14: Identification and quantification of degradation products from ceramics

[11] ASTM C1421-01b, Standard test methods for determination of fracture toughness of advanced ceramics at ambient temperature

[12] Kubler J.J. Round Robin on fracture toughness of ceramics using the SEVNB method," VAMAS Report #37, ESIS #D2-99, EMPA, Dubendorf, CH, 1999