

۴ تجهیزات

- 4.1 وسیله گیرش، قادر به اطمینان از این موضوع که جهت نیروی اعمال شده به نمونه آزمون تا حد امکان با محور طولی نمونه آزمون منطبق باشد. این امر تضمین می‌کند که نمونه آزمون تحت تنش ساده قرار گیرد و تنش‌های موجود در بخش بارگذاری شده نمونه آزمون را بتوان به‌طور یکنواخت در سطح مقاطع عمود بر جهت نیروی اعمال شده توزیع شده فرض کرد. توصیه می‌شود از گیره‌هایی استفاده شود که امکان ثابت کردن نمونه آزمون و هم‌راستا کردن صحیح آن را پیش از اعمال نیرو فراهم کنند. گیره‌های خودقفل‌شونده که با افزایش نیرو اجازه حرکت نمونه آزمون را می‌دهند، برای این آزمون مناسب نیستند.
- 4.2 سامانه بارگذاری، قادر به اطمینان از اعمال یکنواخت نیرو، بدون ایجاد بارگذاری بیش‌ازحد گذرا، و حفظ نیرو در محدوده $\pm 1\%$ نیروی موردنظر باشد. در آزمون‌های خزش تا شکست، باید تمهیداتی برای جلوگیری از انتقال هرگونه ضربه ایجادشده در لحظه شکست به سامانه‌های بارگذاری مجاور در نظر گرفته شود. سازوکار بارگذاری باید امکان بارگذاری سریع، یکنواخت و تکرارپذیر را فراهم کند.
- 4.3 وسیله اندازه‌گیری افزایش طول، شامل هر نوع وسیله تماسی یا غیرتماسی که قادر به اندازه‌گیری افزایش طول گِیج نمونه آزمون یا افزایش فاصله بین گیره‌های نگهدارنده تحت نیرو باشد، بدون آنکه از طریق اثرات مکانیکی (برای مثال تغییر شکل‌های نامطلوب یا شیارها)، سایر اثرات فیزیکی (برای مثال گرم شدن نمونه آزمون) یا اثرات شیمیایی، بر رفتار نمونه آزمون تأثیر بگذارد. در مورد اندازه‌گیری غیرتماسی (نوری) کرنش، محور طولی نمونه آزمون باید بر محور نوری وسیله اندازه‌گیری عمود باشد. برای تعیین افزایش طول نمونه آزمون، باید از اکستنسومتر استفاده شود که افزایش فاصله بین گیره‌های نگهدارنده را ثبت کند. دقت وسیله اندازه‌گیری افزایش طول باید بهتر از ± 0.01 mm باشد.
- برای آزمون‌های خزش تا شکست، توصیه می‌شود افزایش طول با استفاده از یک سامانه نوری غیرتماسی مبتنی بر اصل کاتتومتر اندازه‌گیری شود. نمایش خودکار زمان تا شکست بسیار مطلوب است. طول گِیج باید روی نمونه آزمون علامت‌گذاری شود؛ این کار یا با اتصال گیره‌های (فلزی) دارای علائم گِیج خراش‌خورده، یا با رسم علائم گِیج با رنگی خنثی و پایدار در برابر حرارت انجام می‌شود. کرنش‌سنج‌های مقاوم‌تی الکتریکی تنها در صورتی مناسب هستند

که ماهیت ماده آزمون اجازه دهد این کرنش‌سنج‌ها با استفاده از چسب به نمونه آزمون متصل شوند و کیفیت چسبندگی در طول مدت آزمون ثابت بماند. مدول کرنش‌سنج، هنگامی که به نمونه آزمون چسبانده می‌شود، باید به گونه‌ای باشد که نمونه آزمون تقویت نشود.

4.4 وسیله اندازه‌گیری زمان، با دقت 0, 1 % .

4.5 میکرومتر، با قابلیت قرائت تا 0,01 mm یا دقیق‌تر، برای اندازه‌گیری ضخامت و عرض اولیه نمونه آزمون.

۵ نمونه‌های آزمون

از نمونه‌های آزمون با شکل و ابعاد یکسان با نمونه‌های مشخص‌شده برای تعیین خواص کششی مطابق استاندارد مربوط به ماده استفاده کنید؛ یا در صورت نبود مشخصات، مطابق ISO 527-2 عمل کنید.

۶ روش اجرا

6.1 آماده‌سازی و محیط آزمون

نمونه‌های آزمون را مطابق استاندارد بین‌المللی مربوط به ماده مورد آزمون آماده‌سازی کنید. در صورت نبود اطلاعات درباره آماده‌سازی، از مناسب‌ترین مجموعه شرایط مشخص‌شده در ISO 291 استفاده کنید، مگر آنکه طرف‌های ذی‌نفع به گونه‌ای دیگر توافق کرده باشند. رفتار خزشی نه تنها تحت تأثیر سابقه حرارتی نمونه آزمون قرار می‌گیرد، بلکه دما و (در صورت کاربرد) رطوبت مورد استفاده در آماده‌سازی نیز بر آن تأثیرگذار است (به 1- ISO 10350 مراجعه شود). اگر نمونه آزمون در تعادل رطوبتی نباشد، خزش به شکل زیر تحت تأثیر قرار می‌گیرد: نمونه آزمونی که بیش‌ازحد خشک باشد، به دلیل جذب آب در طول آزمون، کرنش اضافی ایجاد می‌کند و نمونه آزمونی که بیش‌ازحد مرطوب باشد، به دلیل واجذب آب منقبض می‌شود. توصیه می‌شود زمان آماده‌سازی ≤ 90 دقیقه مطابق (ISO 62) در نظر گرفته شود.

آزمون را در همان محیطی انجام دهید که برای آماده‌سازی استفاده شده است، مگر آنکه طرف‌های ذی‌نفع به گونه‌ای دیگر توافق کرده باشند؛ برای مثال، در آزمون‌های انجام‌شده در دماهای بالا یا پایین، اطمینان حاصل کنید که تغییرات دما در طول مدت آزمون در محدوده $\pm 2^\circ\text{C}$ باقی بماند.

6.2 اندازه‌گیری ابعاد نمونه آزمون

ابعاد نمونه‌های آزمون آماده‌سازی‌شده را مطابق 2.9 ، ISO 527-1:2012 اندازه‌گیری کنید.

6.3 نصب نمونه‌های آزمون

یک نمونه آزمون آماده‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده را در گیره‌ها نصب و وسیله اندازه‌گیری افزایش طول را مطابق نیاز تنظیم کنید.

6.4 انتخاب مقدار تنش

مقدار تنشی متناسب با کاربرد موردنظر ماده تحت آزمون انتخاب کنید و با استفاده از فرمول ارائه‌شده در 2.3، نیروی اعمالی به نمونه آزمون را محاسبه کنید.

اگر به‌جای تنش، کرنش اولیه مشخص شده باشد، مقدار تنش را می‌توان با استفاده از مدول کششی ماده محاسبه کرد (به ISO 527-1 مراجعه شود).

6.5 روش بارگذاری

6.5.1 پیش‌بارگذاری

هرگاه لازم باشد پیش از افزایش نیرو تا نیروی آزمون، نمونه آزمون را پیش‌بارگذاری کنید؛ برای مثال، به‌منظور حذف لقی ناشی از تجهیزات آزمون، دقت کنید که پیش‌بار بر نتایج آزمون تأثیر نگذارد. پیش‌بار را تا زمانی اعمال نکنید که دما و رطوبت نمونه آزمون (در حالت گیرشده در دستگاه آزمون) با شرایط آزمون مطابقت داشته باشد. طول گیج را پس از اعمال پیش‌بار اندازه‌گیری کنید. پیش‌بار را در تمام مدت آزمون حفظ کنید.

6.5.2 بارگذاری

نمونه آزمون را به‌صورت یکنواخت بارگذاری کنید، به‌گونه‌ای که بارگذاری کامل نمونه آزمون بین 1 s و 5 s پس از شروع اعمال نیرو حاصل شود. برای هر مجموعه آزمون روی یک ماده، از نرخ بارگذاری یکسان استفاده کنید. مجموع نیرو (شامل پیش‌بار) را به‌عنوان نیروی آزمون در نظر بگیرید.

6.6 برنامه اندازه‌گیری افزایش طول

زمانی را که نمونه آزمون به طور کامل بارگذاری می شود، به صورت $t = 0$ ثبت کنید. مگر آنکه افزایش طول به صورت خودکار و/یا پیوسته ثبت شود، زمان های انجام اندازه گیری های مجزا را بر اساس منحنی خزش به دست آمده از ماده مورد آزمون انتخاب کنید. ترجیحاً از برنامه اندازه گیری زیر استفاده شود:

1 min, 3 min, 6 min, 12 min و 30 min;
1 h, 2 h, 5 h, 10 h, 20 h, 50 h, 100 h, 200 h, 500 h, 1 000 h و غیره.

اگر در نمودار کرنش خزشی بر حسب زمان، ناپیوستگی هایی مشاهده یا محتمل دانسته شود، قرائت ها را با دفعات بیشتری انجام دهید.

6.7 اندازه گیری زمان
کل زمان سپری شده تا هر اندازه گیری خزش را با دقت $\pm 0.1\%$ یا ± 2 s هر کدام که تکرار کمتر سخت گیرانه ای دارد) اندازه گیری کنید.

8.6 کنترل دما و رطوبت
مگر آنکه دما و رطوبت نسبی (در صورت کاربرد) به صورت خودکار ثبت شوند، آن ها را در شروع آزمون و سپس در ابتدا، حداقل سه بار در روز، ثبت کنید. هنگامی که مشخص شد شرایط در محدوده های تعیین شده پایدار هستند، می توان آن ها را با دفعات کمتری بررسی کرد؛ اما حداقل یک بار در روز باید بررسی شوند.

9.6 اندازه گیری نرخ بازیابی (اختیاری)
پس از اتمام آزمون های بدون شکست، نیرو را به سرعت و به صورت یکنواخت حذف کنید و نرخ بازیابی را، برای مثال، با استفاده از همان برنامه ای که برای اندازه گیری خزش به کار رفته است، اندازه گیری کنید.

۷ بیان نتایج

7.1 روش محاسبه

7.1.1 مدول خزش کششی، E_t

مدول خزش کششی، E_t ، را با تقسیم تنش اولیه، σ ، بر کرنش خزش کششی، ϵ_t ، در هر یک از زمان های اندازه گیری انتخاب شده محاسبه کنید.

مقدار آن، بر حسب مگاپاسکال، با فرمول (1) به دست می آید:

$$E_t = \frac{\sigma}{\varepsilon_t} = \frac{F \cdot L_0}{A \cdot (\Delta L)_t} \quad (1)$$

where

F is the applied force, in newtons;

L_0 is the initial gauge length, in millimetres;

A is the initial cross-sectional area, in square millimetres, of the specimen;

$(\Delta L)_t$ is the extension, in millimetres, at time t .

7.1.2 مدول اسمی خزش کششی، E_t

بر کرنش اسمی خزش کششی، σ ، بر کرنش اسمی خزش کششی، ε^*t ، در هر یک از زمان های اندازه گیری انتخاب شده محاسبه کنید.

مقدار آن، بر حسب مگاپاسکال، با فرمول (2) به دست می آید:

$$E_t^* = \frac{\sigma}{\varepsilon_t^*} = \frac{F \cdot L_0^*}{A \cdot (\Delta L^*)_t} \quad (2)$$

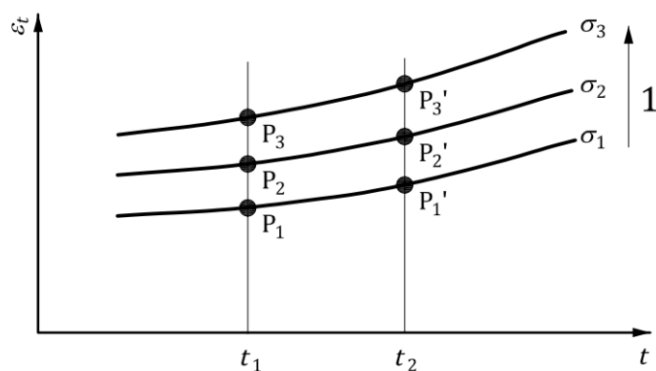
where

- F is the applied force, in newtons;
- L_0^* is the initial distance between the grips, in millimetres;
- A is the initial cross-sectional area of the specimen, in square millimetres;
- $(\Delta L^*)_t$ is the increase in the distance between the grips, in millimetres, at time t .

7.2 ارائه نتایج

7.2.1 منحنی‌های خزش

اگر آزمون در دماهای مختلف انجام شود، داده‌های خام ترجیحاً باید برای هر دما به صورت مجموعه‌ای از منحنی‌های خزش ارائه شوند که کرنش کششی را برحسب لگاریتم زمان نشان می‌دهند؛ برای هر تنش اولیه استفاده‌شده، یک منحنی رسم شود (به شکل 1 مراجعه شود).

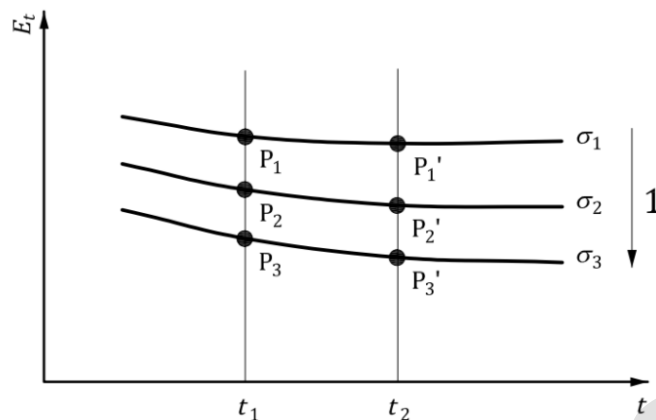


Key

- t $\log_{10}$ time
- ε_t creep strain
- 1 increasing stress

Figure 1 — Creep curves

7.2.2 منحنی‌های مدول خزش/زمان
برای هر تنش اولیه استفاده شده، مدول خزش کششی محاسبه شده مطابق 7.1.1 را می‌توان
برحسب لگاریتم زمان تحت نیرو رسم کرد (به شکل 2 مراجعه شود).



Key
 t $\log_{10}$ time
 E_t creep modulus
 1 increasing stress

Figure 2 — Creep-modulus/time curves

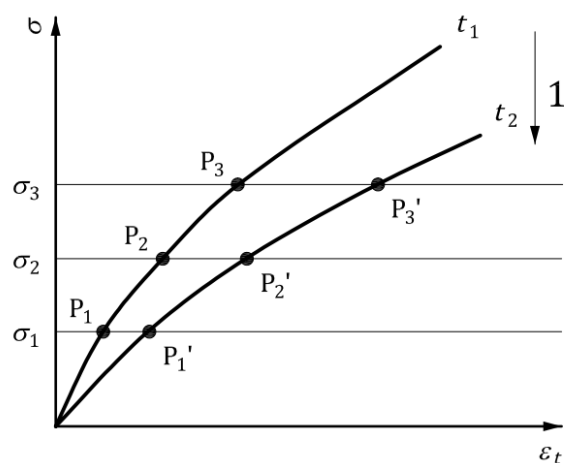
اگر آزمون در دماهای مختلف انجام شود، برای هر دما مجموعه‌ای از منحنی‌ها را رسم کنید.

7.2.3 منحنی‌های تنش-کرنش هم‌زمان

منحنی تنش-کرنش هم‌زمان، نموداری دکارتی است که نشان می‌دهد کرنش در یک زمان مشخص پس از اعمال نیرو، چگونه به نیروی اعمال‌شده وابسته است. معمولاً چندین منحنی متناظر با زمان‌های 1 h، 10 h، 100 h، 1 000 h و 10 000 h تحت نیرو رسم می‌شود. از آنجا که هر آزمون خزش تنها یک نقطه روی هر منحنی ایجاد می‌کند، برای به‌دست‌آوردن یک منحنی هم‌زمان لازم است آزمون حداقل در سه تنش متفاوت و ترجیحاً در تعداد بیشتری تنش

انجام شود (به 1- ISO 11403 مراجعه شود).

برای به دست آوردن منحنی تنش- کرنش همزمان در یک زمان مشخص تحت نیرو (مثلاً 10 h) از مجموعه‌ای از منحنی‌های خزش مطابق شکل 1، کرنش متناظر با 10 h را از هر منحنی خزش استخراج و این مقادیر کرنش را روی محور X در برابر مقادیر تنش متناظر روی محور Y رسم کنید. این فرایند را برای زمان‌های دیگر تکرار کنید تا مجموعه‌ای از منحنی‌های همزمان به دست آید (به شکل 3 مراجعه شود).



Key

- ε_t creep strain
- σ stress
- 1 increasing time

Figure 3 — Isochronous stress-strain curves

اگر آزمون در دماهای مختلف انجام شود، برای هر دما مجموعه‌ای از منحنی‌ها را رسم کنید.

هدف از آزمون‌های خزش روی پلاستیک‌ها

- در طول آزمون خزش، نمونه‌های آزمون تحت یک نیروی استاتیکی قرار می‌گیرند. این وضعیت با نیروی اعمال‌شده بر بسیاری از قطعات ساخته‌شده از پلاستیک مطابقت دارد. کرنش نمونه آزمون در یک دوره زمانی طولانی، که اغلب 1,000 ساعت طول می‌کشد، ثبت می‌شود. با استفاده از این داده‌ها می‌توان منحنی‌های خزش را ایجاد کرد که رفتار بلندمدت پلاستیک‌ها را نشان می‌دهند.
- آزمون‌های خزش روی پلاستیک‌ها در استانداردهای زیر شرح داده شده‌اند: **ISO 899-1** و **ISO 899-2**، همچنین **ASTM D2990**. آزمون خزش با شیار کامل (FNCT) مطابق **ISO 16770** برای آزمون لوله‌ها استفاده می‌شود.
- از آنجا که این نوع آزمون در یک دوره زمانی طولانی انجام می‌شود، معمولاً چندین نمونه آزمون به‌صورت هم‌زمان مورد آزمون قرار می‌گیرند.
- آماده‌سازی بخش مهمی از آزمون است. برای جلوگیری از انبساط حرارتی ناشی از نوسانات دما، که با کرنش خزشی هم‌پوشانی پیدا می‌کند، باید شرایط محیطی در تمام طول آزمون ثابت باقی بماند. برای آزمون‌هایی خارج از دمای محیط، از محفظه‌های دمایی با کنترل دقیق استفاده می‌شود. برای این منظور، با توجه به درخواست مشتری، گزینه‌های مختلفی برای آزمون در دمای اتاق آزمایشگاه و سایر محدوده‌های دمایی ارائه می‌کنیم.
- کرنش نمونه آزمون در سامانه‌های مدرن آزمون خزش، با استفاده از یک سامانه اندازه‌گیری ویدئویی با دقت بالا یا مبدل‌های خطی، به‌صورت نوری تعیین می‌شود.
- اعمال نیروی ثابت یا با استفاده از سازوکار اهرمی، یا به‌وسیله سامانه سیلندر پنوماتیکی انجام می‌شود.
- کنترل محیط آزمون از نظر دما و رطوبت، به‌عنوان یک گزینه و مطابق درخواست مشتری ارائه می‌شود.



دستگاه آزمون خزش کششی مطابق ISO 899-1

- محدوده نیرو: مطابق درخواست مشتری
- مدل کامپیوتری
- محاسبه خودکار نتایج آزمون با استفاده از نرم افزار مبتنی بر Windows
- پایش داده های نیرو و جابه جایی در تمام مدت آزمون
- پایگاه داده برای ذخیره سازی داده های آزمون های بلندمدت
- اعمال نیرو یا با استفاده از سیلندر پنوماتیکی، یا به وسیله سازوکار اهرمی و وزنه مرده انجام می شود
- گیره های مختلف برای نمونه های آزمون و ضخامت های متفاوت در دسترس هستند
- تعداد ایستگاه ها مطابق درخواست مشتری خواهد بود
- مدل اقتصادی، شامل یک لودسل برای اندازه گیری یک باره نیرو در تمام ایستگاه های آزمون هنگام راه اندازی، در دسترس است (در این مدل، تنها داده های جابه جایی در تمام ایستگاه ها در کل دوره آزمون ثبت خواهند شد)

آوا هونام پلیمر