ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 57714— 2017

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Определение ползучести при растяжении, ползучести при сжатии и разрушения при ползучести

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2017

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Инновации будущего» совместно с Автономной некоммерческой организацией «Центр нормирования, стандартизации и классификации композитов» при участии Объединения юридических лиц «Союз производителей композитов» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 497 «Композиты, конструкции и изделия из них»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2017 г. № 1241-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту АСТМ Д2990-09 «Стандартные методы испытаний на ползучесть при растяжении, сжатии и изгибе, а также разрушение при ползучести для пластмасс» (ASTM D2990-09 «Standard test methods for tensile, compressive, and flexural creep and creep-rupture of plastics», MOD) путем изменения его структуры для приведения в соответствие с правилами, установленными в ГОСТ 1.5—2001 (подразделы 4.2 и 4.3); путем изменения содержания отдельных структурных элементов, которые выделены вертикальной линией, расположенной на полях напротив соответствующего текста.

Оригинальный текст этих структурных элементов примененного стандарта АСТМ и объяснения причин внесения технических отклонений приведены в дополнительном приложении ДА.

В настоящий стандарт не включены разделы 5, 7, 10, 14, подразделы 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 и приложения примененного стандарта АСТМ, которые нецелесообразно применять в российской национальной стандартизации в связи с тем, что данные разделы, подразделы, приложения носят справочный характер. Указанные разделы (подразделы, приложения), не включенные в основную часть настоящего стандарта, приведены в дополнительном приложении ДБ.

Дополнительная ссылка, включенная в текст стандарта для учета потребностей национальной экономики Российской Федерации и/или особенностей российской национальной стандартизации, выделена курсивом.

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой указанного стандарта АСТМ приведено в дополнительном приложении ДВ.

В настоящем стандарте ссылки на стандарты АСТМ заменены соответствующими национальными или межгосударственными стандартами. Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов стандартам АСТМ, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте АСТМ, приведены в дополнительном приложении ДГ

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2017

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Сущность метода 2
5 Оборудование 2
6 Подготовка к проведению испытаний 2
7 Проведение испытаний 3
8 Обработка результатов 4
9 Протокол испытаний 6
Приложение А (справочное) Пример испытательного стенда 7
Приложение ДА (справочное) Оригинальный текст модифицированных структурных элементов 8
Приложение ДБ (справочное) Оригинальный текст невключенных структурных элементов 15
Приложение ДВ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ 34
Приложение ДГ (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов стандартам АСТМ, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте АСТМ 36

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Определение ползучести при растяжении, ползучести при сжатии и разрушения при ползучести

Polymer composites. Determination of tensile creep, compressive creep and creep-rapture

Дата введения — 2018—02—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на полимерные композиты, а также пластмассы и устанавливает методы определения ползучести при растяжении, сжатии, изгибе и длительную прочность при ползучести.

Примечание — См. ДА.1 (приложение ДА).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 4651 (ISO 604:2002) Пластмассы. Метод испытания на сжатие

ГОСТ 6507 Микрометры. Технические условия

ГОСТ 11262 Пластмассы. Метод испытания на растяжение

ГОСТ 32656 (ISO 527-4:1997, ISO 527-5:2009) Композиты полимерные. Методы испытаний. Испытания на растяжение

ГОСТ 32794 Композиты полимерные. Термины и определения

ГОСТ 33519 Композиты полимерные. Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах

ГОСТ Р 56785 Композиты полимерные. Метод испытания на растяжение плоских образцов

ГОСТ Р 56810 Композиты полимерные. Метод испытания на изгиб плоских образцов

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ 32794*.

Примечание — См. ДА.2 (приложение ДА).

Издание официальное

4 Сущность метода

Сущность метода состоит в измерении удлинения, деформации при сжатии или прогиба образца в зависимости от времени, а также долговечности или длительной прочности при ползучести под воздействием постоянной нагрузки в заданных условиях температуры и влажности.

5 Оборудование

5.1 Машина испытательная, обеспечивающая испытание на ползучесть при растяжении или сжатии образцов и поддержание нагрузки с погрешностью ± 1 %.

5.2 При испытании на растяжение испытательная машина должна быть оснащена захватами, обеспечивающими надежное крепление образцов без проскальзывания при приложении нагрузки и совпадение продольной оси образца с направлением растяжения, а также не вызывать разрушение образца.

5.3 При испытании на сжатие испытательная машина должна быть оснащена двумя плоскопараллельными площадками (плитами) толщиной не менее 20 мм. Одна из площадок испытательной машины должна иметь шаровую самоустанавливающуюся опору.

5.4 Приспособление, обеспечивающее приложение нагрузки по торцевым и боковым поверхностям образца по ГОСТ 33519 при испытании на сжатие полимерных композитов или по ГОСТ 4651 при испытании на сжатие пластмасс.

5.5 Стенд испытательный, обеспечивающий испытание на ползучесть при трехточечном изгибе, должен быть оснащен опорами, радиус закругления краев которых должен составлять (3,2 ± 1,0) мм.

Расстояние между опорами должно составлять ($16 \cdot h \pm 2$) мм, где h — толщина образца.

Пример испытательного стенда приведен в приложении А.

5.6 Для измерения удлинения используют экстензометры по ГОСТ 32656 или по ГОСТ Р 56785, для измерения деформации при сжатии — датчики деформации по ГОСТ 33519, для измерения прогиба — датчики перемещения по ГОСТ Р 56810.

5.7 Средство измерения времени с погрешностью ± 1 % предельного значения измеряемой величины.

5.8 Микрометры по ГОСТ 6507, обеспечивающие измерение внутреннего и внешнего диаметра образца, а также длины образца с точностью (0,025 ± 0,010) мм.

5.9 Термокамера для проведения кондиционирования и испытаний при заданных условиях среды (отличных от лабораторных), обеспечивающая поддержание температуры с точностью ± 2 °С и относительной влажности с точностью ± 1 %.

5.10 Для предотвращения передачи вибраций на образцы все применяемое оборудование должно быть виброизолировано, а также необходимо принять меры по предотвращению передачи ударных нагрузок, возникающих в момент разрушения образца, другим частям испытательной машины.

Примечание — См. ДА.3 (приложение ДА).

6 Подготовка к проведению испытаний

6.1 При определении ползучести на разных уровнях напряжения используют не менее двух образцов, если уровней напряжения не менее четырех, и не менее трех образцов, если уровней напряжения не более четырех.

При определении длительной прочности при ползучести используют не менее двух образцов на разных уровнях напряжения.

6.2 При испытании полимерных композитов на ползучесть при растяжении используют образцы тип 1В по ГОСТ 32656, при испытании полимерных композитов, армированных высокомодульными волокнами (модуль упругости при растяжении которых более 20 ГПа), используют образцы по ГОСТ Р 56785. При испытании пластмасс на ползучесть при растяжении используют образцы типа 2 по ГОСТ 11262.

При испытании полимерных композитов на ползучесть при сжатии используют образцы по ГОСТ 33519. При испытании пластмасс на ползучесть при сжатии используют образцы типа А по ГОСТ 4651.

При испытании на ползучесть при изгибе используют образцы по ГОСТ Р 56810. Рекомендуемые размеры образцов: толщина — (3,2 ± 0,5) мм; ширина — (12 ± 1) мм; длина — (63,2 ± 1,0) мм.

6.3 Требования к изготовлению образцов и внешний вид образцов должны соответствовать:

- ГОСТ 32656, ГОСТ Р 56785 или ГОСТ 11262 — при испытании на ползучесть при растяжении;
- ГОСТ 33519 или ГОСТ 4651 — при испытании на ползучесть при сжатии;
- ГОСТ Р 56810 — при испытании на ползучести при изгибе.

6.4 Перед испытанием определяют толщину и ширину образцов.

Измеряют толщину и ширину образцов не менее чем в пяти местах его рабочей части.

За толщину и ширину образца принимают среднеарифметическое значение, вычисленное по результатам не менее пяти измерений.

6.5 Кондиционирование образцов проводят при температуре (23 ± 2) °С и относительной влажности (50 ± 10) %.

6.6 Выбор условий при испытании на длительную прочность при ползучести:

6.6.1 Если иное не установлено в нормативном документе или технической документации, поддерживая заданное значение температуры и влажности, на семи разных уровнях напряжения прикладывают к образцам нагрузку таким образом, чтобы они разрушились за 1; 10; 30; 100; 300; 1000; 3000 ч.

6.6.2 Вплоть до 1000 ч уровни напряжения выбирают с равным шагом:

- при уровнях напряжения более 7 МПа, задают шаг 3,5 МПа;
- при уровнях напряжения менее 7 МПа, задают шаг 0,7 МПа.

6.6.3 По результатам испытаний строят кривую «напряжение—время», которая указывает на несущую способность материала в зависимости от температуры.

6.6.4 При хрупком разрушении записывают и заносят в протокол время, за которое разрушился образец; при пластическом разрыве записывают и заносят в протокол момент возникновения шейки как время, за которое разрушился образец.

6.7 Ползучесть

6.7.1 Для определения ползучести выбирают уровни напряжения следующим образом:

6.7.1.1 Для материалов с линейными вязкоупругими свойствами выбирают не менее трех уровней напряжения при испытании при заданной температуре и относительной влажности.

6.7.1.2 При значительном влиянии напряжения на материал выбирают не менее пяти уровней напряжения при испытании при заданной температуре и относительной влажности.

6.7.1.3 При испытании на ползучесть выбирают уровни напряжения таким образом, чтобы образцы не разрушались ранее 1000 ч.

Примечание — См. ДА.4 (приложение ДА).

7 Проведение испытаний

7.1 Испытания проводят при температуре и относительной влажности, установленных в нормативном документе или технической документации.

7.2 Устанавливают образец в испытательную машину (см. 5.1) или испытательный стенд (см. 5.5). При необходимости устанавливают рядом контрольный образец.

При испытании на сжатие предварительно образец устанавливают в приспособление, обеспечивающее приложение нагрузки по торцевым и боковым поверхностям образца (см. 5.4).

7.3 Устанавливают экстензометр (датчик деформации или датчик перемещения) (см. 5.6).

7.4 Приложение нагрузки к образцу осуществляют плавно, без толчков. Скорость нагружения, определяемая в момент приложения полной нагрузки к образцу, в серии испытаний одного материала должна быть одинаковой. Время приложения полной нагрузки к образцу не должно превышать 5 с.

7.5 Измеряют удлинение (деформацию при сжатии или прогиб) через 1; 6; 12; 30 мин, 1; 2; 5; 20; 50; 100; 200; 500; 700; 1000 ч.

Если испытания длятся дольше 1000 ч, дальнейшие измерения проводят ежемесячно.

При нарушении последовательности на кривой «напряжение—время» измеряют удлинение (деформацию при сжатии или прогиб) с меньшими интервалами.

7.6 Измеряют температуру, относительную влажность и другие параметры окружающей среды с той же частотой, с которой измеряют удлинение (деформацию при сжатии или прогиб).

7.7 После окончания испытания без разрушения быстро и плавно снимают нагрузку.

При необходимости, образец разгружают и измеряют восстановление его длины аналогично измерению удлинения (деформации при сжатии или прогиб).

Примечание — См. ДА.5 (приложение ДА).

8 Обработка результатов

8.1 Напряжение при растяжении (сжатии) σ, МПа, вычисляют по формуле

$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \quad (1)$$

где F — нагрузка, Н;

A_0 — начальная площадь поперечного сечения образца, мм^2.

8.2 Напряжение при изгибе S, МПа, вычисляют по формуле

$$S = \frac{3FL}{2bd^2}, \quad (2)$$

где L — расстояние между центрами опор, мм;

b — ширина образца, мм;

d — толщина образца.

8.3 Относительное удлинение при растяжении (относительную деформацию при сжатии) во времени t (см. 7.5) $\varepsilon' t$, %, вычисляют по формуле

$$\varepsilon' t = \frac{l(t) - l_0}{l_0} 100, \quad (3)$$

где $l(t)$ — длина образца в заданный момент испытания, мм;

l_0 — начальная длина ненагруженного образца, мм.

Относительную деформацию крайних волокон при изгибе во времени t (см. 7.5) r, %, вычисляют по формуле

$$r = \frac{6Dd}{L^2} 100, \quad (4)$$

где D — прогиб образца в заданный момент испытания, мм.

8.4 В том случае, когда образец демонстрирует значительное изменение размеров в случае влияния окружающей среды испытания, может быть введена поправка в каждое измеренное значение деформации путем алгебраического сложения ее значения со средним значением деформации, измеренным на трех ненагруженных контрольных образцах в тот же момент времени и при той же температуре.

Деформацию контрольного образца вследствие влияния окружающей среды записывают со знаком «+» при сжатии контрольных образцов, используемых для измерения растяжения, и со знаком «—» при расширении.

Деформацию контрольного образца вследствие влияния окружающей среды записывают со знаком «—» при сжатии контрольных образцов, используемых для сжатия, и со знаком «+» при расширении.

Деформацию контрольного образца вследствие влияния окружающей среды записывают со знаком «+» при прогибе вверх контрольных образцов, используемых для испытания на изгиб, и со знаком «—» при прогибе вниз.

Рассчитывают относительную деформацию по формулам (3), (4), используя значение деформации с введенной поправкой.

8.5 Модуль ползучести при растяжении (сжатии или изгибе) E во времени t (см. 7.5) вычисляют по формуле

$$E(t) = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad (5)$$

где $\varepsilon = \begin{cases} \varepsilon' t, \text{ при растяжении или сжатии;} \\ r, \text{ при изгибе.} \end{cases}$

Строят кривую зависимости модуля ползучести от времени, пример которой приведен на рисунке 1.

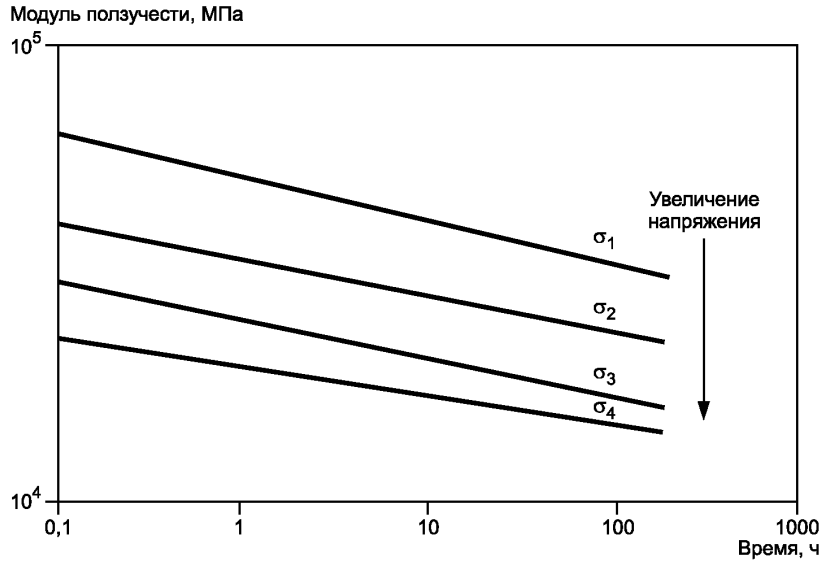


Рисунок 1

8.6 Строят изохронные кривые «напряжение—деформация»: из серии кривых ползучести, полученных при приложении нескольких уровней напряжений при постоянной температуре и влажности.

Методом интерполяции определяют напряжение в зависимости от относительного удлинения (относительную деформацию при сжатии/относительную деформацию крайних волокон при изгибе), равного 1 % при 1000 ч.

Пример кривых «напряжение—деформация» приведен на рисунке 2.



t — время, ч

Рисунок 2

8.7 Строят в логарифмических координатах кривые «деформация—время», как показано на рисунке 3.

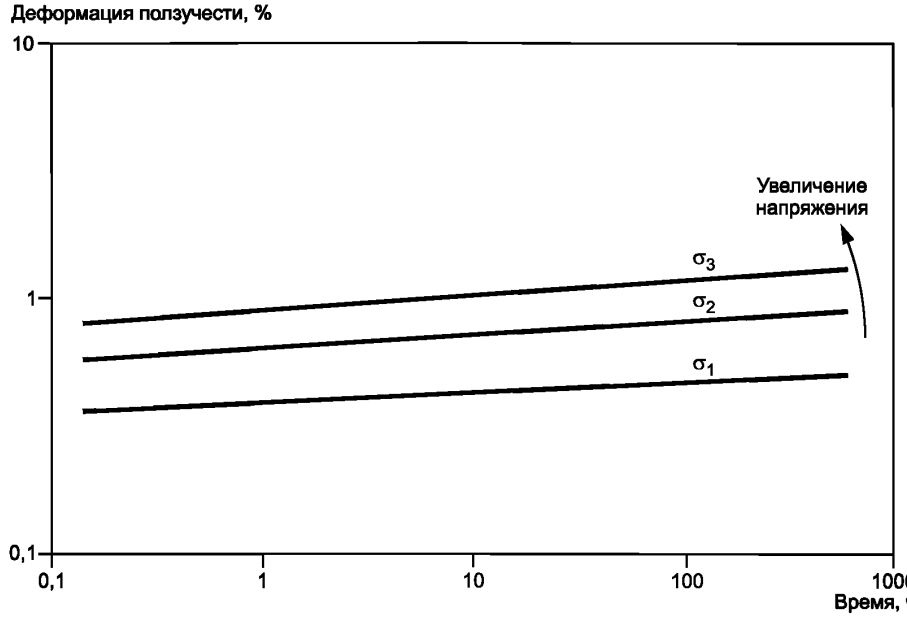


Рисунок 3

Если в каждое измеренное значение деформации вносилась поправка дополнительно к кривым «деформация—время», строят кривые с учетом поправок.

Примечание — См. ДА.6 (приложение ДА).

9 Протокол испытаний

Результаты испытаний заносят в протокол испытаний, который должен содержать:

- ссылку на настоящий стандарт;
- информацию об испытуемом материале, включающую в себя: способ изготовления, наименование производителя, дату изготовления;
- размеры образцов;
- условия кондиционирования и проведения испытаний;
- обработку результатов и кривые «модуль ползучести—время», «напряжение—деформация», «деформация—время».
- дату проведения испытаний.

Примечание — См. ДА.7 (приложение ДА).

Приложение А
(справочное)

Пример испытательного стенда

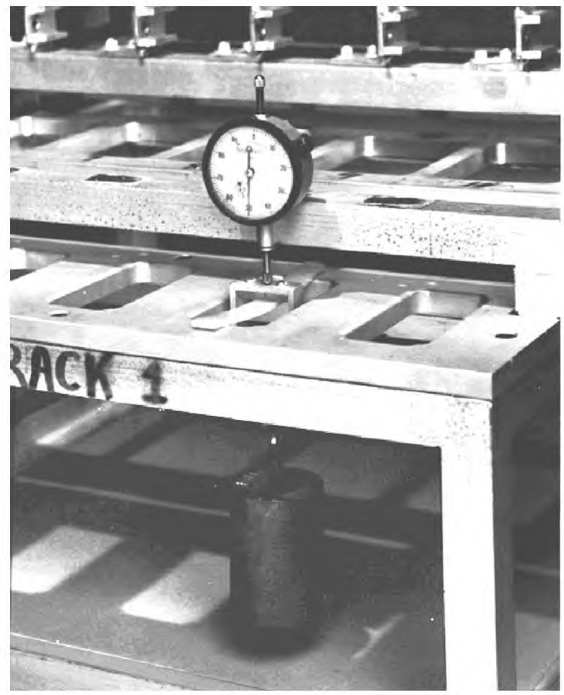


Рисунок А.1 — Испытательный стенд

Приложение ДА
(справочное)

Оригинальный текст модифицированных структурных элементов

ДА.1

1.1 Настоящий метод испытания описывает определение ползучести при растяжении, сжатии, а также разрушение при ползучести для пластмасс в определенных внешних условиях (см. п. 3.1.3).

Примечание — Редакция раздела изменена для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.1) и ГОСТ 1.5—2001 (подраздел 3.7).

ДА.2

3.1 Определения терминов, относящихся к данному стандарту:

3.1.1 Модуль ползучести — соотношение исходного приложенного напряжения к деформации ползучести.

3.1.2 Деформация ползучести — общая деформация в любой момент времени, созданная приложенным напряжением в ходе испытания на ползучесть.

3.1.2.1 Ползучесть — в значении, используемом в тексте настоящего стандарта, отражает актуальное применение пластмасс в области инженерного проектирования. В научной практике ползучесть часто определяется как неупругая часть напряжения. Однако это определение не относится к существующим техническим формулам. Пластмассы имеют широкий диапазон времени задержки, а упругие части напряжения на практике невозможно отделить от неупругих. Поэтому при употреблении термина «деформация» в тексте настоящих методов испытания подразумевается сумма упругой деформации и дополнительной деформации с течением времени.

3.1.3 Деформация — изменения формы, размера и положения испытательного образца в результате сжатия, прогиба или удлинения.

3.1.4 Сжатие — при испытании на ползучесть при сжатии уменьшение длины в измерительной базе испытательного образца.

3.1.5 Прогиб — при испытании на ползучесть при изгибе изменение положения средней части испытательного образца.

3.1.6 Удлинение — при испытании на ползучесть при растяжении увеличение длины в измерительной базе испытательного образца.

3.1.7 Коэффициент гибкости — соотношение длины колонки постоянного сечения к ее наименьшему радиусу инерции; для образцов постоянного прямоугольного сечения радиус инерции равен произведению коэффициента 0,289 на наименьший размер поперечного сечения; для образцов постоянного круглого сечения радиус инерции равен произведению коэффициента 0,250 на диаметр.

3.1.8 Напряжение — для ползучести при растяжении или сжатии соотношение прилагаемой нагрузки к первоначальной площади поперечного сечения; для ползучести при изгибе, максимальное напряжение в волокне, рассчитанное в соответствии с АСТМ Д790.

Примечание — Редакция раздела изменена для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.7) и ГОСТ 1.5—2001 (подраздел 3.9).

ДА.3

6 Аппаратура

6.1 Ползучесть при растяжении:

6.1.1 Захваты.

Захваты и способ захвата должен предполагать минимальное эксцентрическое нагружение образца. Для каждого конца образца используют поворотные или универсальные шарниры.

6.1.2 Рекомендуется, чтобы захваты допускали окончательное центрирование образца до приложения нагрузки. Захваты, допускающие смещение образца в пределах захватов при нагружении, не подходят для использования.

6.2 Ползучесть при сжатии:

6.2.1 Упорный стержень.

Для нагружения свободно лежащего образца используются параллельные упорные стержни (см. 8.2). Один из упорных стержней испытательной установки предпочтительно должен быть самовыравнивающимся и, в целях равномерного нагружения по поверхности образца, его размещают таким образом, чтобы образец можно было установить точно по центру, а результирующая нагрузка проходила через его центр.

6.2.2 Направляющая трубка.

При испытании тонких образцов (см. 8.3) во избежание деформации необходимо использовать направляющую трубку и сопутствующие приспособления. Подходящая конфигурация показана на рисунке 1. Направляющая

трубка — трубный патрубок из нержавеющей стали 3,2 мм (0,125 дюйм), типоразмер 40, длиной 150 мм (6 дюйм), с расширением внутреннего диаметра до (6,860 ± 0,025) мм (0,270 ± 0,001 дюйм).

6.3 Ползучесть при изгибе:

6.3.2 Испытательный стенд.

Используют прочный испытательный стенд, поддерживающий образец за оба конца, пролет которого в 16 (плюс 4, минус 2) раз превышает толщину образца. Во избежание чрезмерного вдавливания образца радиус опоры должен составлять 3,2 мм (0,125 дюйм). Под образцом предусматривается достаточное пространство для нагружения балластом центральной части.

6.3.3 Скоба.

Необходимо использовать скобу, устанавливаемую над образцом, за которую подвешивается необходимый груз, обеспечивающий ползучесть изгиба в центральной части. Во избежание чрезмерного вдавливания или разрушения из-за концентрации нагрузки под скобой радиус скобы должен составлять 3,2 мм (0,125 дюйм). Способ соединения скобы с грузом должен исключать неравномерное нагружение, которое может возникать при несогласованности осей или установки стенда не по уровню.

6.3.4 Подходящая конфигурация показана на рисунке 2.

6.4 Система нагружения.

Система нагружения должна обеспечивать нагружение образца в пределах ± 1 % от заданной нагрузки. Механизм нагружения должен предусматривать быстрое и плавное нагружение согласно 11.3. При выполнении испытаний на разрушение при ползучести необходимо предусматривать, чтобы ударная нагрузка, вызванная разрушением образца, не передавалась на другие образцы, проходящие испытания.

6.4.1 Системы нагружения, обладающие преимуществом механической конструкции, для поддержания постоянного нагружения на протяжении всего испытания требуют тщательного расчета. Например, рычажная система должна быть рассчитана таким образом, чтобы нагрузка не изменялась при перемещении рычага в ходе испытания.

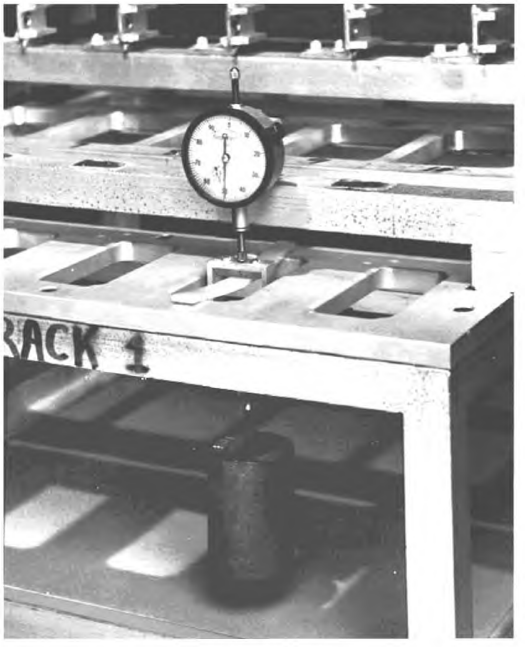


Рисунок 2 — Устройство для испытания на ползучесть при изгибе

6.5 Измерение удлинения, сжатия и прогиба.

6.5.1 Удлинение или сжатие измерительной базы образца под нагрузкой измеряется с помощью любого устройства, которое не будет оказывать механического (нежелательная деформация, зарубки и т. д.), физического (нагрев образца и т. д.) или химического воздействия. Желательно измерять удлинение непосредственно на образце, а не после снятия захватов. Для измерения сжатия используют смещение упорного стержня. Если удлинение измеряется после снятия захватов, необходимо определить поправочные коэффициенты, позволяющие рассчитать напряжение в измерительной базе. Эти поправочные коэффициенты зависят от геометрических параметров образца и его поведения под нагрузкой и измеряются относительно этих переменных.

6.5.2 Прогиб образца в центральной части измеряется с помощью циферблатного индикатора (без пружин нагрузки, измерительная нога на скобе) или катетометра.

6.5.3 Точность устройства измерения деформации должна быть в пределах ± 1 % измеряемой деформации.

6.5.4 Устройства измерения деформации должны быть откалиброваны по прецизионному микрометрическому винту или другому соответствующему стандарту при условиях, максимально идентичных условиям, существующим при испытании. Следует проявлять осторожность при использовании устройств измерения деформации, характеристики при калибровке которых с течением времени смещаются и зависят от температуры и влажности.

6.5.5 Устройства измерения деформации прочно фиксируют или садятся на образец, исключая проскальзывание. Измерители электрического сопротивления подходят только в том случае, если испытуемый материал позволяет обеспечить склеивание с образцом и если они соответствуют п. 6.5.1.

6.6 Измерение времени.

Точность устройств измерения времени должна составлять ± 1 % времени разрыва или разрушения, или времени, затраченного на каждое измерение ползучести, или и того, и другого.

6.7 Регулировка и измерение температуры.

6.7.1 Температура испытания, особенно вблизи от измерительной базы образца, должна поддерживаться в пределах ± 2 °С подходящим автоматическим устройством и указываться при записи результатов.

Примечание — Термическое сжатие и расширение, связанное с небольшими изменениями температуры при испытании, может привести к изменению заметной интенсивности ползучести, особенно вблизи температур перехода.

6.7.2 Принимают меры по обеспечению точности измерений температуры по измерительной базе образца в ходе испытания. Устройства измерения температуры должны регулярно проходить проверку по температурным стандартам и фиксировать температуру зоны измерения образца.

6.7.3 Измерения температуры производят через определенные интервалы времени или регистрируют непрерывно, обеспечивая точное определение средней температуры и соответствие положениям 6.7.1.

6.8 Регулировка и измерение параметров среды.

6.8.1 Если средой испытания является воздух, относительная влажность регулируется в пределах ± 6 % во время испытания, если не указано иное, или если было доказано, что влажность не влияет на характеристики ползучести испытуемого материала. Контрольные и измерительные приборы должны быть устойчивы к длительным интервалам использования и обеспечивать точность в пределах ± 1 %. [Регулировать относительную влажность воздуха, как известно, сложно при температурах, значительно выходящих за пределы диапазона от 10 °С до 40 °С (от 50 °F до 100 °F).].

6.8.2 Состав среды испытания поддерживают в неизменном состоянии на протяжении всего испытания. (Необходимо принимать меры предосторожности по недопущению физического контакта, ликвидации токсичных паров и защите от опасности взрыва в соответствии с потенциальным характером опасности той или иной используемой среды.)

6.9 Регулировка вибрации.

Испытания на ползучесть весьма чувствительны к ударам и вибрации. Расположение аппаратуры, испытательного оборудования и креплений должны обеспечивать изоляцию образца от вибрации. Многопозиционное испытательное оборудование должно иметь достаточную жесткость во избежание значительных прогибов испытательного оборудования в ходе испытания на ползучесть или разрешение при ползучести. В течение времени разрыва или разрушения необходимо предусматривать средства предотвращения тряски других образцов под вертикальной нагрузкой от разрушенного испытательного образца, используя подходящую сеть или подушку.

Примечание — Редакция раздела изменена для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.6).

ДА.4

8 Испытательные образцы

8.1 Испытательные образцы для измерения ползучести при растяжении должны соответствовать типу I или II, как указано в АСТМ Д638. Образцы, описанные в АСТМ Д1822, используют для испытания на разрушение при ползучести. Выступы обрезают, при необходимости, по размеру захватов, при условии соблюдения требований к захвату, приведенных, в п. 1.1.

8.2 Образцы для испытания на ползучесть при сжатии должны быть надлежащим образом подготовлены в соответствии с процедурой, описанной в АСТМ Д695, за исключением того, что длину необходимо увеличить, чтобы коэффициент гибкости находился между 11 и 15. Стандартный испытательный образец должен иметь форму правильного цилиндра или призмы. Предпочтительное поперечное сечение образца составляет 12,7 × 12,7 мм (0,50 × 0,50 дюйм) и 12,7 мм (0,50 дюйм) в диаметре. Поверхности испытательных образцов должны быть плоскими и параллельными.

8.3 Испытательные образцы для измерения ползучести при сжатии с помощью направляющей трубки, описанной в п. 6.2.2, должны быть в форме тонких брусков квадратного поперечного сечения, стороны которого составляют (4,850 ± 0,025) мм (0,191 ± 0,001 дюйм), а длина диагоналей равна (6,860 ± 0,025) мм (0,270 ± 0,001 дюйм). Образец должен быть длиной 51 мм (2,0 дюйм), торцы обрабатывают перпендикулярно боковым сторонам.

8.4 Испытательные образцы для измерения ползучести при изгибе должны иметь форму прямоугольных брусков, отвечающих требованиям раздела 5 АСТМ Д790. Предпочтительными размерами образцов являются

63,5 × 12,7 × 3,18 мм (2,5 × 0,5 × 0,125 дюйм) или 127 × 12,7 × 6,4 мм (5,0 × 0,5 × 0,25 дюйм). Малые допуски образца и размеры пролета не имеют решающего значения при условии использования фактических размеров в расчетах нагрузок.

8.5 Испытательные образцы могут изготовлять методом литьевого формования или прямого формования, а также путем механической обработки листов или других заготовок. Когда целью испытания является получение расчетных параметров, метод изготовления образцов должен соответствовать методу, используемому для конкретного практического применения.

8.6 Образцы, изготовленные из листового материала, вырезают в том же направлении. Если материал может быть анизотропным, для испытания следует вырезать ряд образцов из каждого из двух основных направлений листа.

8.7 Ширину и толщину образца измеряют при комнатной температуре с помощью подходящего микрометра с точностью до 0,025 мм (0,001 дюйм) и 0,005 мм (0,0002 дюйм), соответственно, по пяти или более точкам вдоль измерительной базы или пролета до начала испытаний.

8.8 В случае с материалами, размеры которых могут существенно изменяться только из-за установленной среды (например, усадка некоторых термореактивных пластмасс из-за вторичного отверждения при повышенных температурах), необходимо предусматривать испытание ненагруженных контрольных образцов вместе с испытательным образцом, чтобы можно было компенсировать изменения, которые не относятся к ползучести. При каждой температуре испытания следует испытать не менее трех образцов.

8.9 При испытании на ползучесть при одной температуре минимальным количеством испытательных образцов для каждого напряжения является два образца, если используются четыре или более уровней напряжения или если используется меньшее число уровней.

8.10 В случае испытания на разрушение при ползучести необходимо испытать не менее двух образцов для каждого уровня напряжения, указанного в 10.2.1 при каждой температуре.

Примечание — Результаты разрушения при ползучести имеют значительный разброс, при котором типично отклонение половины к полному ряду значений времени разрушения. Поэтому в целях получения удовлетворительных результатов, возможно, потребуется проводить испытание более чем двух образцов при каждом уровне напряжения.

9 Кондиционирование

9.1 В случае с испытаниями, для которых кондиционирование является обязательным, выполняют кондиционирование испытательных образцов при температуре (23 ± 2) °С (73,4 ± 3,6) °F и относительной влажности (50 ± 10) % в течение не менее 40 ч до начала испытания в соответствии с процедурой А АСТМ Д618.

9.2 Образец необходимо предварительно выдержать в среде испытания в течение не менее 48 ч до начала испытаний. Материалы, свойства ползучести которых, предположительно, зависят от содержания влаги, следует приводить в состояние равновесной влажности, соответствующей условиям испытания, до начала испытаний.

Примечание — Редакция раздела изменена для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.7).

ДА.5

11 Методика

11.1 Устанавливают правильно подготовленный и измеренный образец в захваты, приспособление для испытания на ползучесть при сжатии или испытательный стенд для испытания на ползучесть при изгибе. При необходимости устанавливают правильно подготовленный и измеренный контрольный образец рядом с испытательным образцом тем же образом.

11.2 Крепят устройства измерения деформации к образцу (и контрольному образцу) или, в случае с оптическими устройствами, устанавливают их в рабочее состояние. Выполняют первоначальное контрольное измерение для удлинения или прогиба.

11.2.1 Если среда испытания будет нарушена при присоединении устройства измерения деформации, устанавливают устройства до установки образца.

11.3 Быстро и плавно прикладывают полную нагрузку на образец, предпочтительно через 1—5 с. Ни в коем случае время нагружения не может превышать 5 с. Запускают таймер в момент начала нагружения.

11.4 При использовании каких-либо средств для создания условий испытания наносят их по всей измерительной базе образца сразу после нагружения.

11.4.1 Если средство для создания условий испытания легко испаряется, накрывают образец, чтобы замедлить испарения, не влияя на прилагаемую нагрузку. Периодически пополняют объем летучего вещества.

Примечание — В случае с жидкими средствами можно обернуть пленкой измерительную базу или пролет, а жидким веществом пропитать ватный тампон под пленкой.

11.5 Измеряют удлинение сжатия образца в соответствии со следующим примерным графиком: 1, 6, 12, и 30 мин; 1, 2, 5, 20, 50, 100, 200, 500, 700 и 1000 ч. Для испытаний на ползучесть, длительность которых превышает 1000 ч, деформацию следует измерять ежемесячно или чаще.

11.5.1 Если в графике отношения деформации при ползучести ко времени предполагаются или присутствуют разрывы, показания следует снимать чаще, чем указано выше.

11.6 Измеряют температуру, относительную влажность и другие переменные среды и деформации контрольного образца по такому же графику, как и деформацию испытательного образца.

11.7 После завершения интервала испытания без разрушения необходимо быстро и плавно снять нагрузку.

Примечание — При необходимости, в ходе нагружения можно начать измерение восстановления по графику, приведенному в п. 11.5. Рассчитывают деформацию восстановления согласно п. 12.2.

Примечание — Редакция раздела изменена для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.8).

ДА.6

12 Расчет

12.1 Для измерения растяжения или сжатия рассчитывают напряжение для каждого образца в МПа (или фунт-сила/дюйм^2) путем деления нагрузки на среднее значение исходной площади поперечного сечения уменьшенного сечения.

12.2 Для измерения изгиба рассчитывают максимальное напряжение в волокне для каждого образца в МПа (или фунт-сила/дюйм^2) следующим образом

$$S = 3PL/2bd^2, \quad (1)$$

где S — напряжение, МПа (фунт-сила/дюйм^2);

P — нагрузка, Н (фунт-сила);

L — длина, мм (дюйм);

b — ширина, мм (дюйм);

d — глубина, мм (дюйм).

12.3 Для измерения растяжения или сжатия рассчитывают деформацию путем деления удлинения или сжатия в моменты, указанные в п. 11.5, на исходную базу измерения подготовленного образца, умножают деформацию на 100, чтобы получить деформацию в процентах.

12.4 Для измерения изгиба рассчитывают максимальную деформацию наружного волокна центрального пролета следующим образом

$$r = 6D\,d/L^2, \quad (2)$$

где r — максимальная деформация, мм/мм (дюйм/дюйм);

D — максимальный прогиб центрального пролета, мм (дюйм);

d — глубина, мм (дюйм);

L — длина, мм (дюйм).

Умножают деформацию на 100, чтобы получить деформацию в процентах.

12.5 В том случае, когда материал демонстрирует значительное изменение размеров только из-за среды испытания, необходимо использовать один из следующих подходов в зависимости от предполагаемого использования результатов.

12.5.1 Поправляют каждое измерение деформации под нагрузкой путем алгебраического сложения ее значения со средним значением деформации, измеренным на трех ненагруженных контрольных образцах в один момент и при одной температуре. Усадка контрольного образца, использованного для измерения растяжения, считается положительной (+); расширение считается отрицательным (–). Усадка контрольного образца, использованного для измерения сжатия, считается отрицательным (–), а расширение — положительным (+). Прогиб вверх контрольного образца, использованного для измерения изгиба, считается положительной (+); прогиб вниз считается отрицательным (–). Рассчитывают приведенную деформацию, используя значение деформации, поправленное на изменение размеров, вызванное средой испытания. Умножают приведенную деформацию на 100, чтобы получить деформацию в процентах.

12.5.2 Если из-за предполагаемого использования результатов испытания не желательно корректировать деформацию под нагрузкой на значительное изменение размеров, вызванное средой испытания, то деформация, рассчитанная в соответствии с 12.2 или 12.2.1, будет называться неоткорректированной деформацией. Рассчитывают изменение деформации, вызванное средой, в соответствии с 12.2 или 12.2.1, используя среднее значение деформации контрольного образца. Умножают на 100, чтобы получить изменение деформации, вызванное средой, в процентах. Усадка контрольного образца, использованного для измерения растяжения, считается положительной (+), а расширение считается отрицательным (–). Усадка контрольного образца, использованного для измерения сжатия, считается отрицательным (–), а расширение положительным (+). Прогиб вверх контрольного образца, использованного для измерения изгиба, считается положительной (+); прогиб вниз считается отрицательным (–).

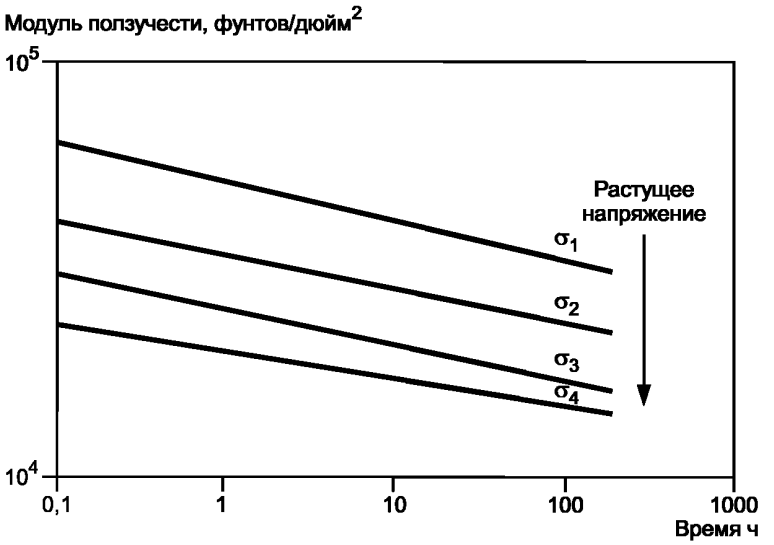


Рисунок 4 — Кривые логарифмической зависимости модуля ползучести от времени при различных уровнях напряжения

12.6 Рассчитывают модуль ползучести в МПа (или фунт-сила/дюйм^2) путем деления исходного напряжения на деформацию в момент, определенный в 11.5.

Примечание — В целях сопоставления материалов график зависимости модуля ползучести от времени не только реалистично классифицирует материалы, но также дает значения модуля для использования во многих расчетных формулах (см. рисунок 4).

12.7 При каждой температуре испытания рассчитывают статистическое уравнение регрессии методом наименьших квадратов для зависимости логарифма напряжения от логарифма времени разрыва или разрушения. Из уравнения регрессии вычисляют напряжение разрыва или разрушения в МПа (или фунт-сила/дюйм^2) при 1000 ч (см. рисунок 5).

12.8 Для вычисления напряжения для создания 1 % деформации при 1000 ч строят для каждой температуры испытания изохрону 1000 ч зависимости «напряжение—деформация» (см. рисунок 3) и интерполируют на напряжение при 1 % деформации. Изохрону 1000 ч зависимости «напряжение—деформация» можно построить по нескольким кривым ползучести (не менее трех, а предпочтительно больше) при различных напряжениях, строят кривую отношения напряжения к деформации, рассчитанным по измерениям деформации при 1000 ч.

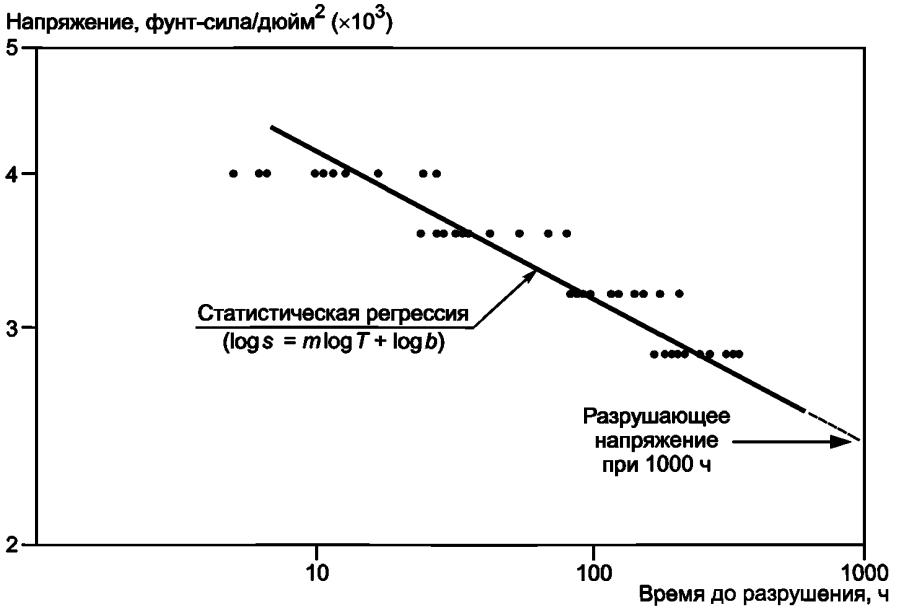


Рисунок 5 — Кривая логарифмической зависимости времени разрушения (механического разрушения)

12.8.1 Изохроны зависимости «напряжение—деформация» строят для моментов времени, отличных от 1000 ч, для проведения анализа или специальных случаев технического расчета с относительно кратковременными нагрузками и материалами, демонстрирующими явную ползучесть в такие моменты времени. В случаях с длительным нагружением и в целом кривые модуля ползучести более полезны.

Примечание — Редакция раздела изменена для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.9).

ДА.7

13 Протокол

13.1 Результаты испытаний заносят в протокол испытаний, который должен содержать:

13.1.1 Описание испытуемого материала, включая всю соответствующую информацию о составе, подготовке, изготовлении, торговом наименовании, кодовом обозначении, дате изготовления, способе формования, отжиге и т. д.

13.1.2 Сроки проведения испытаний на ползучесть.

13.1.3 Размеры испытательного образца.

13.1.4 Номер метода испытания и дату проверки.

13.1.5 Метод предварительного кондиционирования и описание условий испытаний, включая относительную влажность, температуру, а также концентрации и состава сред, за исключением воздуха, типов прилагаемых нагрузок и т.д.

13.2 Для каждой температуры испытания строят кривую отношения логарифма деформации, %, и логарифма времени, ч, под нагружением, где напряжение является параметром (см. рисунок 6).

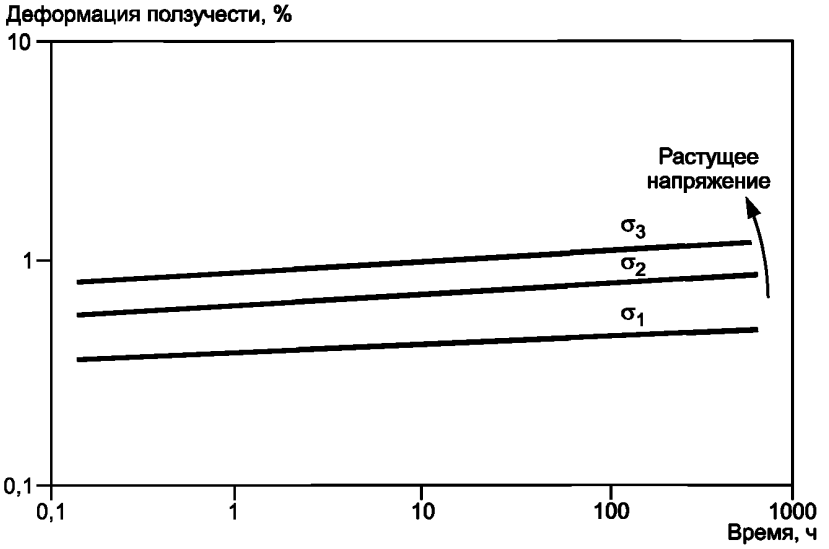


Рисунок 6 — Кривые логарифмической зависимости деформации ползучести от времени при различных уровнях деформации

13.2.1 В случае исправления измерений деформации нагруженных образцов от ненагруженных контрольных образцов строят кривую зависимости логарифма приведенной деформации, %, от логарифма времени, ч, под нагрузкой, и на этом же графике строят кривую зависимости логарифма среднего изменения размеров, %, вызванного средой, от логарифма времени.

13.2.2 В случае существенного изменения деформации, вызванного только средой, но из-за предполагаемого использования результатов нежелательно корректировать деформацию под нагрузкой, строят кривую зависимости логарифма неоткорректированной деформации, %, от логарифма времени под нагрузкой, и на этом же графике строят кривую зависимости логарифма среднего изменения деформации, %, контрольного образца от логарифма времени.

13.2.3 В том случае, когда материал демонстрирует значительное изменение размеров, вызванное только средой испытания, свойства, рассчитанные на данных о ползучести (например, модуль ползучести или изохроны зависимости «напряжение—деформация»), должны быть обозначены как приведенные или неоткорректированные, в зависимости от использованного подхода.

Примечание — Редакция раздела изменена для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.10).

Приложение ДБ
(справочное)

Оригинальный текст невключенных структурных элементов

ДБ.1

1.2 Настоящий метод испытания описывает использование трехточечного нагружения для измерения ползучести при изгибе, четырехточечное нагружение (реже используемое) также используют с оборудованием и по принципам, изложенным в АСТМ Д790.

1.3 Для измерений разрушения при ползучести растяжение является предпочтительным методом напряжения, поскольку в случае с определенными пластичными пластмассами при изгибе или сжатии разрыва не происходит.

1.4 Результаты испытаний, полученных по данным методам испытания, соответствуют и подходят для использования в области инженерного проектирования.

1.5 Величины, указанные в единицах СИ, считаются стандартными. Величины, указанные в скобках, приводятся только для информации.

1.6 В настоящем стандарте не предусмотрено рассмотрение всех вопросов обеспечения безопасности, связанных с его применением. Пользователь настоящего стандарта несет ответственность за установление соответствующих правил по технике безопасности и охране здоровья, а также определяет целесообразность применения законодательных ограничений перед его использованием. Специальное предупреждение предусмотрено в п. 6.8.2.

Примечание — В настоящем методе испытания и ИСО 899, части 1 и 2, рассматривается один и тот же вопрос, однако с различным техническим содержанием (и невозможно напрямую сравнивать результаты, полученные двумя методами испытания). В части 1 ИСО 899 рассматривают ползучесть при растяжении и разрушающую ползучесть, а в части 2 ИСО 899 описывают ползучесть при изгибе. Ползучесть при сжатии не рассматривают в тексте ИСО 899.

ДБ.2

5 Значение и применение

5.1 Результаты испытаний на ползучесть и разрушения при ползучести необходимы для прогнозирования модуля ползучести и прочности материалов под длительными нагрузками, а также для прогнозирования потенциального изменения размеров в результате таких нагрузок.

5.2 Данные, полученные в ходе испытания, могут использовать:

- для сравнения материалов;
- в расчете изготовленных деталей;
- для определения характеристики долговечности пластмасс под постоянной нагрузкой;
- при определенных условиях, в специальных целях.

5.3 Перед тем как приступать к выполнению данного метода испытания, необходимо справиться со спецификацией материалов, подлежащих испытанию. Параметры подготовки, кондиционирования, размеры и/или параметры испытания, указанные в спецификации материалов, имеют преимущественную силу над параметрами, о которых говорится в настоящем методе испытания, за исключением тех случаев, когда это будет противоречить целям проведения таких испытаний. Если спецификации материалов отсутствуют, применяют условия по умолчанию.

ДБ.3

7 Реактивы

7.1 Чистота реактивов. Во всех испытаниях используют химически чистые реактивы. Если не указано иное, предполагается, что реактивы соответствуют спецификациям Комитета по аналитическим реактивам Химического общества США, когда такие спецификации имеются. Разрешается использовать другие сорта, если проводят проверку, что реактив имеет достаточно высокую степень чистоты, чтобы можно было его использовать без ущерба точности определения.

7.2 Чистота воды. Если иное не установлено, используют дистиллированную воду или воду равной степени чистоты.

7.3 Установленные реактивы. В случае упоминания настоящего метода испытания в спецификации материалов установленным реактивом должен быть реагент, указанный в такой спецификации.

7.4 Стандартные реактивы. Перечень стандартных реактивов приведен в АСТМ Д543.

ДБ.4

10 Выбор условий испытаний

10.1 Температура испытания. Выбор температуры для испытаний на ползучесть и разрушение при ползучести зависит от предполагаемого использования результатов испытания и выполняется следующим образом:

10.1.1 Для описания характеристики материала выбирают две или более температуры испытания, охватывающие диапазон температур, обычно при повышенных температурах, с подходящим шагом, отражающим изменение ползучести материала в зависимости от температуры и переходов материала.

Примечание — Полезным методом измерения реакции на повышение температуры и переходом материала в целях выбора температуры является АСТМ Д4065.

10.1.2 Для получения расчетных параметров температура и среда испытаний должны соответствовать этим параметрам, используемым в конкретной практической области.

Для получения напряжения 1 % деформации при 1000 ч (см. п. 10.3.2) или для других простых сравнений материалов, например паспортов материалов, выбирают температуру испытания из следующих значений: 23, 50, 70, 90, 120 и 155 °С. Эти значения температуры выбраны из списка стандартных температур в АСТМ Д618.

10.2 Разрушение при ползучести:

10.2.1 При каждой температуре испытания выполняют испытание на разрушение при ползучести не менее чем при семи уровнях напряжения, выбранных таким образом, чтобы обусловить разрушение приблизительно в следующее время: 1, 10, 30, 100, 300, 1000 и 3000 ч.

10.2.1.1 Целью этих испытаний является получение при каждой температуре испытания кривой отношения напряжения разрушения ко времени разрушения, часто называемой «огибающей разрушения при ползучести», которая указывает на предел несущей способности материала при температуре испытания. Для прогнозирования долговечной работы, например при расчете деталей, которые будут нести постоянные нагрузки в течение шести или более месяцев, как правило, требуется проведение испытания в течение не менее 3000 ч, особенно при повышенных температурах, при которых возможно тепловое старение материала, а также в агрессивных средах, способных в значительной степени повлиять на разрушение при ползучести.

10.2.2 Для материалов, разрушающихся чрезвычайно быстро (то есть с незначительной деформацией, протягиванием или текучестью), измеряют и заносят в протокол время разрушения. Для материалов, деформирующихся, протягиваемых или текучих намного раньше момента разрушения, измеряют и заносят в протокол время наступления третьей стадии ползучести (наступление деформации, протягивания или текучести). Для материалов, деформирующихся, протягиваемых или текучих, деформацию ползучести необходимо измерять с помощью регистратора.

10.3 Ползучесть:

10.3.1 Для получения расчетных параметров или описания характеристик материала выбирают уровень напряжения следующим образом:

10.3.1.1 Для материалов, демонстрирующих линейные вязкоупругие свойства, т. е. последовательный модуль ползучести в зависимости от времени на различные уровни напряжения, которые перекрывают друг друга (принцип суперпозиции Больцмана), выбирают не менее трех уровней напряжения для каждой искомой температуры.

10.3.1.2 Для материалов, которые в значительной степени зависят от напряжения, выбирают не менее пяти уровней напряжения (и желательно больше пяти) для каждой искомой температуры.

10.3.1.3 Выбирают уровни напряжения с приблизительно равным шагом до 1000 ч напряжения разрушения при ползучести:

- уровни напряжения выше 7 МПа (1000 фунтов/дюйм^2) с точностью до 3,5 МПа (500 фунтов на дюйм^2);
- уровни напряжения ниже 7 МПа (1000 фунтов/ дюйм^2) с точностью до 0,7 МПа (100 фунтов на дюйм^2).

10.3.1.4 Не используют уровни напряжения, разрушающие образец менее чем за 1000 ч испытания на ползучесть.

10.3.2 Для простого сравнения материала, например паспорта материалов и т. п., определяют напряжение, создающее 1 % деформации через 1000 ч. Выбирают несколько уровней нагрузки для создания деформации в приблизительном диапазоне 1 % (немного выше и ниже 1 % за 1000 ч) и строят изохрону 1000 ч зависимости «напряжение—деформация», по которой напряжение, создающее 1 % деформации, определяют методом интерполяции.

Примечание — Изохроны зависимости «напряжение—деформация» — это графики в декартовых координатах отношения прилагаемого напряжения, используемой при испытании на ползучесть, к деформации напряжения в определенный момент времени, в данном случае 1000 ч. Поскольку каждое испытание на ползучесть позволяет получить лишь одну точку изохроны, как правило, требуется проводить испытания на ползучесть не менее чем на трех уровнях напряжения (и желательно больше трех) для построения изохроны (рисунок 3).

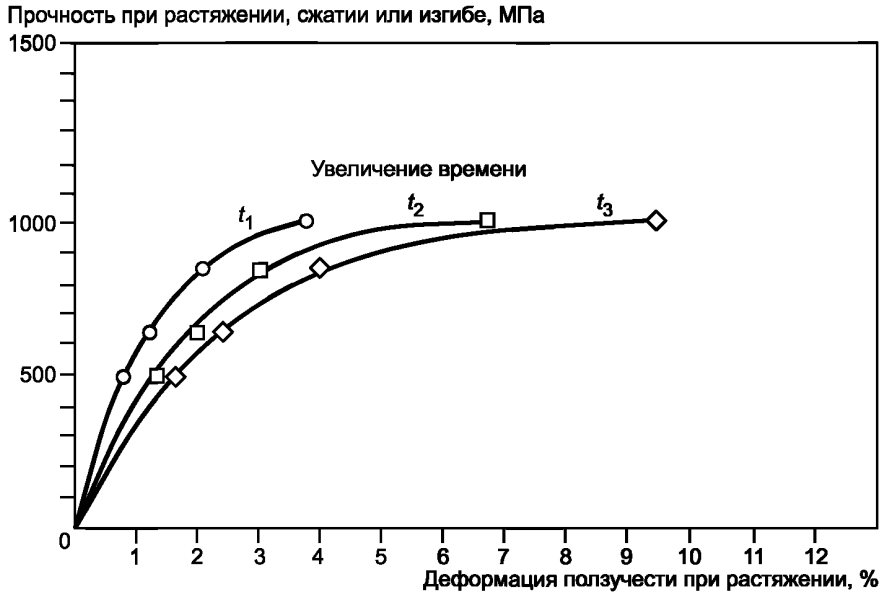


Рисунок 3 — Изохроны зависимости «напряжение—деформация» в декартовых координатах в различных временных точках

ДБ.5

14 Точность и систематическая погрешность

14.1 Попытки разработать данные о точности и систематической погрешности для данных методов не принесли успеха. По этой причине данные о точности и систематической погрешности не предоставляются. Все желающие принять участие в разработке данных о точности и систематической погрешности могут связаться с председателем подкомитета D20.10 (раздел D20.10.24), ASTM, 100 Барр Харбор Драйв, Вест Коншохокен, штат Пенсильвания 19428-2959.

Примечание — Данные о точности в предыдущем издании настоящих методов испытания признаны недействительными, поскольку они были основаны на межлабораторном контроле, предоставившем недостаточные данные. Имеющиеся внутрилабораторные данные предоставили только 2—6 степени свободы, а межлабораторные данные были основаны на данных только 2—4 лабораторий.

14.2 В отношении данных методов испытания для измерения систематической погрешности стандарты не предусмотрены.

ДБ.6

Приложение
(справочное)

X1 Введение

X1.1 Свойства вязкоупругих материалов зависят от времени, температуры и скорости нагружения, мгновенные результаты испытания не могут демонстрировать поведение материала под действием напряжения или деформации в течение продолжительного периода времени. Поэтому значения модуля упругости и прочности необходимо получить в условиях (напряжение, время и т. д.), которые имитируют конечное применение и могут использоваться в области инженерного проектирования.

X2 Кривая ползучести

X2.1 Испытание на ползучесть позволяет измерить изменение размеров, происходящее с течением времени под постоянной статической нагрузкой, в то время как испытание на разрыв при ползучести позволяет измерить время разрушения под постоянной нагрузкой. Ползучесть представляет собой постепенную деформацию материала при постоянной нагрузке (напряжении). Постоянную нагрузку прилагают к образцу в выбранной конфигурации нагружения, (например, натяжение, изгиб или сжатие) при постоянной температуре, а деформацию измеряют как функцию времени.

X2.2 После первоначального быстрого удлинения ε_0 при нагружении (ε_0 может считаться состоящим из упругого ε_e и пластичного ε_P), происходит следующее:

X2.2.1 Скорость ползучести быстро уменьшается с течением времени, (первичная ползучесть, стадия I),

X2.2.2 Скорость ползучести достигает установившегося значения (вторичная ползучесть, стадия II),

X2.2.3 Происходит быстрый рост и разрушение (третичная ползучесть, стадия III).

Примечания

1 На графике представлена упрощенная кривая. Некоторые материалы не имеют вторичной стадии, при этом третичная ползучесть обычно происходит при высоких напряжениях в пластичных материалах.

2 Поскольку образец удлиняется и уменьшается в поперечном сечении, осевое напряжение увеличивается. Таким образом, при выполнении испытания на ползучесть при постоянной нагрузке наступление стадии III происходит раньше, чем при испытании при постоянном напряжении (см. пунктирную линию на рисунке X2.1).

3 В некоторых терминологических стандартах мгновенная деформация ε_0 часто называется первой стадией, в этом случае мы получаем четыре стадии ползучести.

4 В тех случаях, когда мгновенная деформация вычитается из общей деформации, кривая ползучести должна начинаться в точке отсчета координат времени/деформации.

X2.3 Деформация ε_0 происходит мгновенно при нагружении. Несмотря на то что прилагаемое напряжение ниже предела пластичной деформации, определенная часть деформации полностью не восстанавливается. Несмотря на то что эта деформация не является действительной ползучестью, она имеет очень важное значение, поскольку при расчетах она представляет собой значительную часть допустимой общей деформации. По этой причине его необходимо учитывать во всех расчетах, особенно при расчете модуля ползучести.

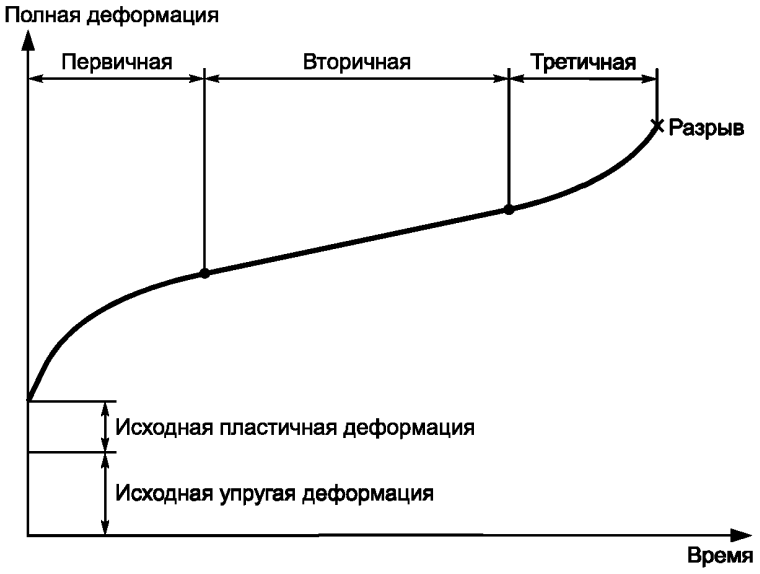


Рисунок X2.1 — Кривая ползучести

Примечания

1 Разделение данных о ползучести на мгновенную, первичную и вторичную стадии зависит от шкалы времени графика.

2 Параметры ε_e, ε_p и ε_0 невозможно получить по данным методам испытания (см. Примечание 5). Такие коэффициенты определяют отдельно для расчета напряжений. Такие расчеты могут быть более или менее произвольными в отношении зависимых от времени характеристик материала.

X2.4 Ввиду продолжительности времени кривые ползучести обычно строят на логарифмической шкале, на которой данные, как правило, имеют линейный характер. Три кривые, показанные на рисунках X2.2—X2.4, приведены для примера.

X2.5 С увеличением уровней напряжения модуль ползучести будет уменьшаться.

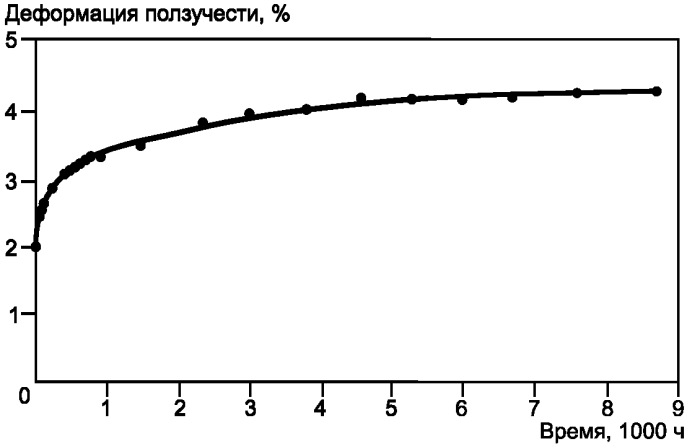
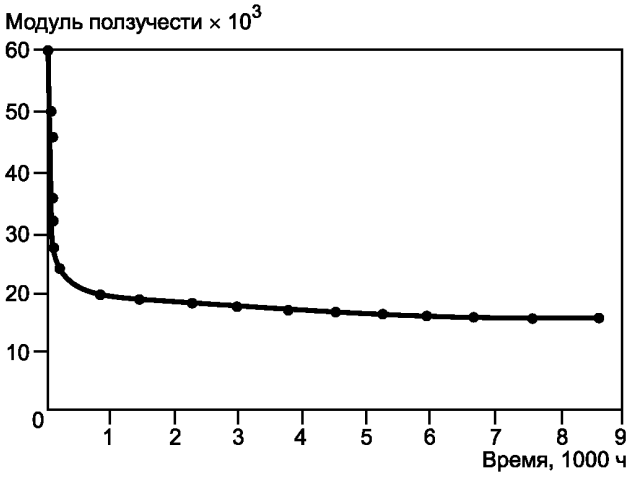


Рисунок X2.2 — Кривая ползучести при растяжении политетрафторэтилена при 650 фунтов/дюйм^2, 23 °C. Зависимость модуля ползучести от времени



Примечание — Модуль — прилагаемое напряжение/полная деформация ползучести.

Рисунок Х2.3 — Зависимость модуля ползучести от времени

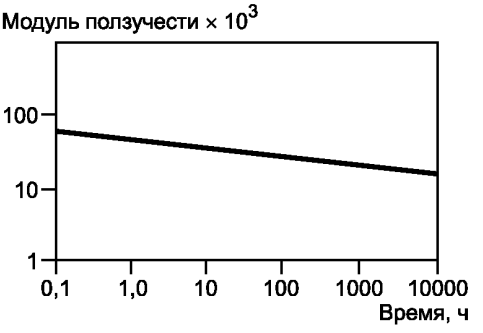


Рисунок Х2.4 — Зависимость модуля ползучести
от времени в логарифмических координатах

Х3 Прочность при ползучести и разрушение при ползучести

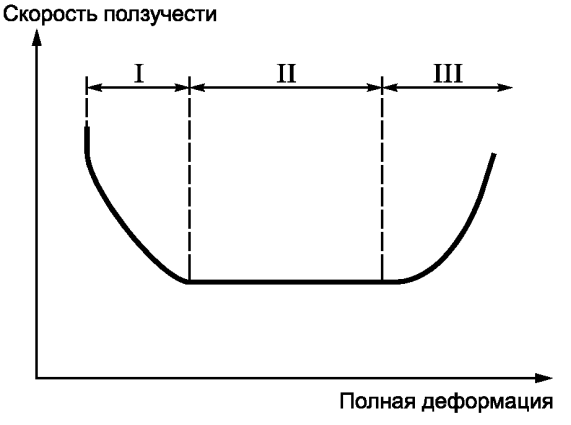


Рисунок Х3.1 — Скорость ползучести

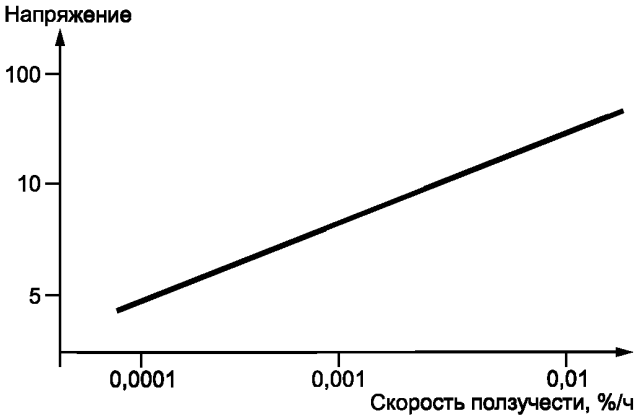


Рисунок Х3.2 — Прочность при ползучести

Х3.1 Под отчетом данных прочности обычно подразумевается прочность при ползучести и прочность при разрыве (прочность при ползучести).

Х3.2 Минимальная скорость ползучести (наклон d_E/d_t) является одним из наиболее важных параметров. Условием (например, для материалов для реактивных двигателей) является напряжение, необходимое для создания скорости ползучести 0,0001 % *E*/ч или 1 % *E*/10000 ч. На рисунке Х3.1 продемонстрирована важность скорости ползучести.

Х3.3 Прочность при ползучести определяют как напряжение при определенной температуре, которое создает устойчивую скорость ползучести фиксированного значения, %/ч (см. рисунок Х3.2).

Х3.4 Прочность при разрыве определяют как напряжение при заданной температуре, которое разрушает образец через заданное количество времени, ч (см. рисунок Х3.3).

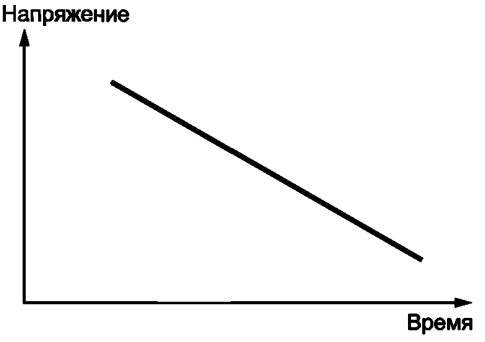


Рисунок Х3.3 — Прочность при разрыве

Х3.5 Испытание на ползучесть до разрыва проводят аналогично испытанию на ползучесть, за исключением того, что оно продолжается до разрушения материала. Поскольку используют более высокие нагрузки, скорости ползучести выше и материал разрушается быстрее (обычно испытание прекращают через 1000 ч). Этот метод испытания полезен при создании безопасного контура, в пределах которого можно проводить испытание на ползучесть. Основная информация, полученная в результате испытания на ползучесть до разрыва, это время разрушения при заданном напряжении. На основе этих данных можно определить безопасное напряжение, ниже которой работа будет безопасной с учетом временных требований для конечного использования. Построение разрушения при ползучести контура показано на рисунке Х3.4. Кривую деформации строят как функцию от времени при различных уровнях напряжения путем соединения точек разрыва (перед установкой точки разрыва пластичные материалы не разрушаются внезапно, и в этом случае наступление третичной ползучести может быть более применимо). Строят разрушение при ползучести контура (см. рисунок Х3.4) (в пределах этого контура кривые ползучести используют для прогнозирования долгосрочных характеристик).

Х3.6 В некоторых случаях построенные графики отношения нагрузок разрушения при ползучести ко времени разрушения используют непосредственно в проектировании (см. рисунок Х3.5).

Х3.7 При выполнении измерений следует принимать во внимание следующие рекомендации:

Х3.7.1 Устройство измерения удлинения (если установлено) должно иметь соответствующее разрешение и не должно каким-либо образом искажать образец.

Х3.7.2 Напряжение прилагается быстро, плавно и воспроизводимым способом.

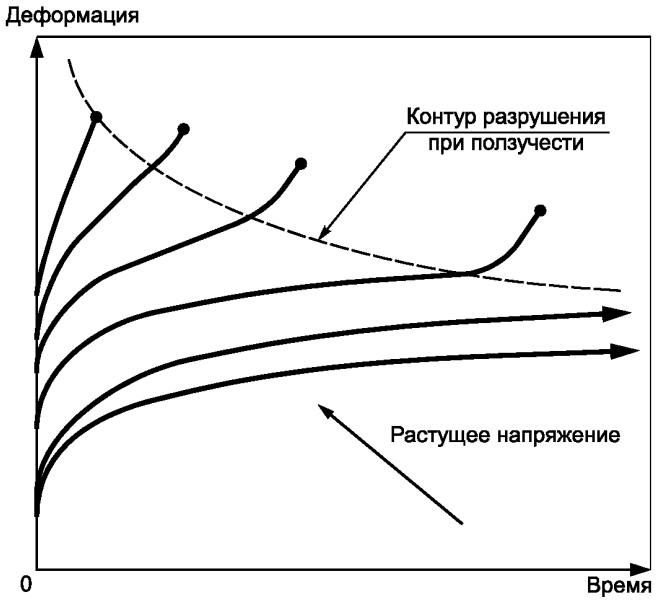
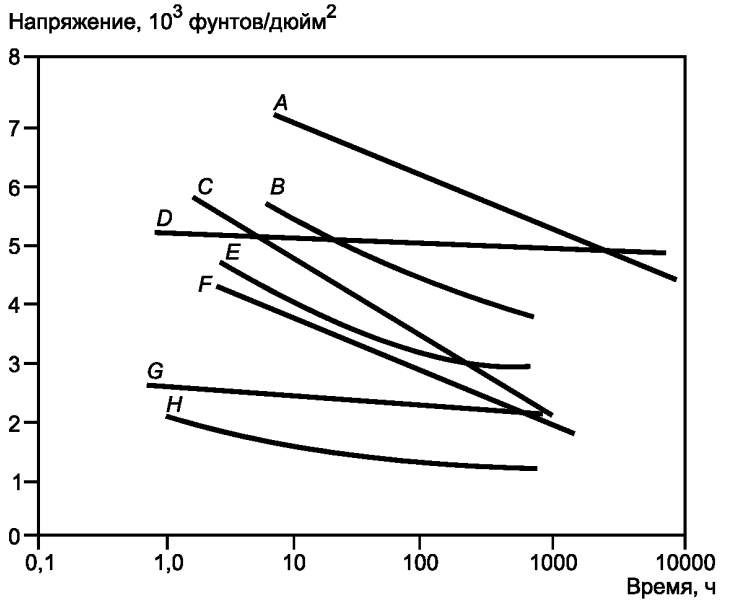


Рисунок Х3.4 — Контур разрушения при ползучести



A — стиролакрилонитрил при 23 °С; *B* — эпоксидный КМ при 120 °С; *C* — 30 %-ный нейлон, армированный стекловолокном (сухой) при 120 °С ; *D* —30 %-ный полибутилентерефталат, армированный стекловолокном, при 150 °С; *E* — фенольный КМ с минимальным наполнителем при 120 °С ; *F* — ацеталь при 80 °С; *G* — ударопрочный полистирол при 23 °С; *H* — алкидный КМ при 120 °С

Рисунок Х3.5 — Зависимость разрушающего напряжения при ползучести от времени для различных пластмасс

Примечание — Как и кривые зависимости, «ползучесть—разрыв», значение модуля ползучести можно получить, разделив напряжение на измеренную деформацию. Значения секущего модуля используют, когда модуль необходим в целях проектирования.

Х3.7.3 Если образец будет подвержен изменению размеров (воздействие влажности, вторичное отверждение, изменение степени кристаллизации и т. д.), испытание на ползучесть должно сопровождаться контрольным экспериментом без напряжения для изучения воздействия и компенсации данных ползучести.

Х4 Представление данных

Х4.1 Кривые ползучести могут быть представлены понятным образом, в постоянных координатах «напряжения—деформации—времени», как показано на рисунке Х4.1.

Х4.2 На основе ряда кривых ползучести при различных напряжениях строят изохрону зависимости «напряжение—деформация», чертят линии через заданные точки времени (0, 1, 10, 100 ч). Получившиеся кривые представляют собой изохрону зависимости «напряжение—деформация». В качестве альтернативы, можно начать с изохрон и построить кривые ползучести.

Х4.3 Изохронный эксперимент:

Х4.3.1 Напряжение σ (ниже напряжения текучести) прикладывают в течение произвольного периода времени *t* (не менее десятикратного периода нагружения), затем измеряют деформацию в момент времени *t*.

Х4.3.2 Снимают напряжение на период 4*t*, и напряжение σ_1 ($\sigma_1 > \sigma_0$) прикладываемое в течение другого периода времени *t*. Измеряют полную деформацию.

Х4.3.3 Процедура повторяется до достижения деформации σ_n. Измеряют деформацию для каждого напряжения (см. рисунок Х4.2).

Примечание — С увеличением напряжения восстановление полной деформации после периода 4*t* может быть неполным. В этом случае фиксируют дополнительную деформацию. Она определяется как разница между полной деформацией в конце периода ползучести и остаточной деформацией, присутствующей в начале этого периода.

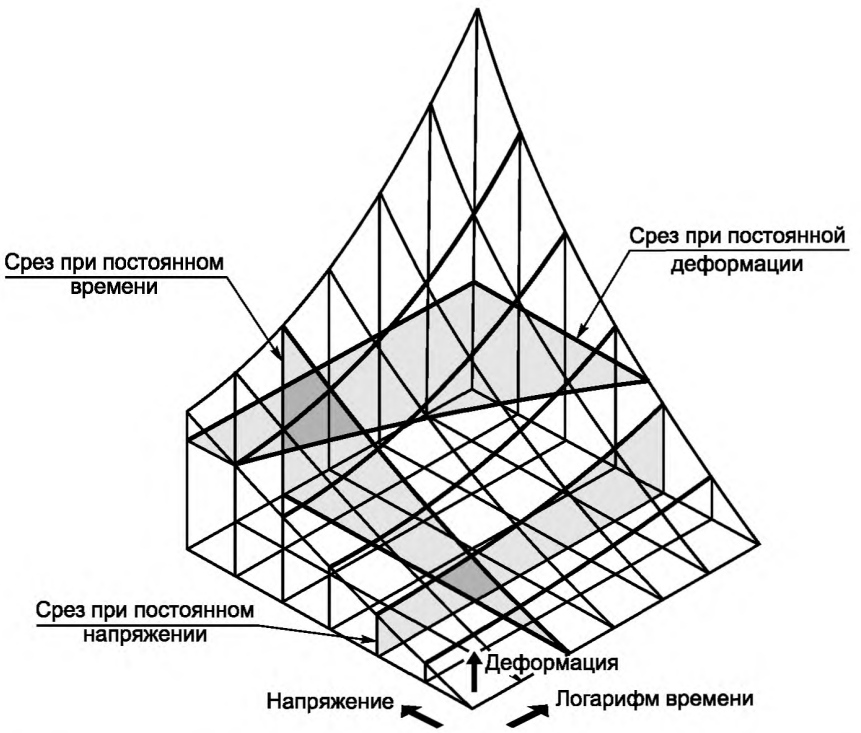


Рисунок Х4.1 — Постоянные координаты «напряжения—деформации—времени»

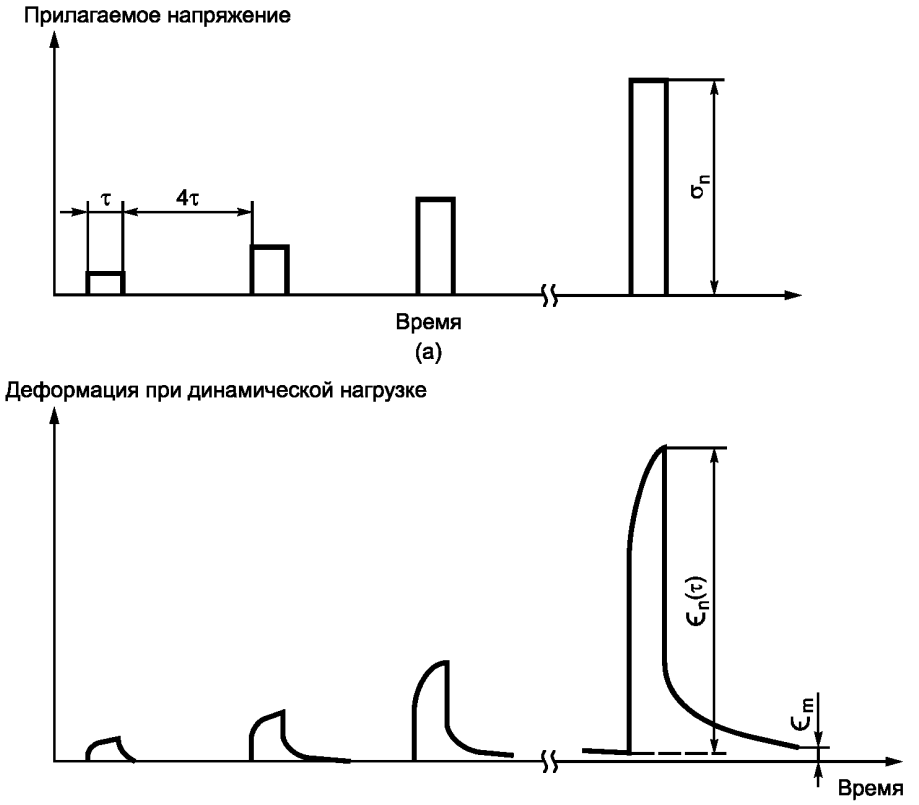


Рисунок Х4.2 — Изохронные данные

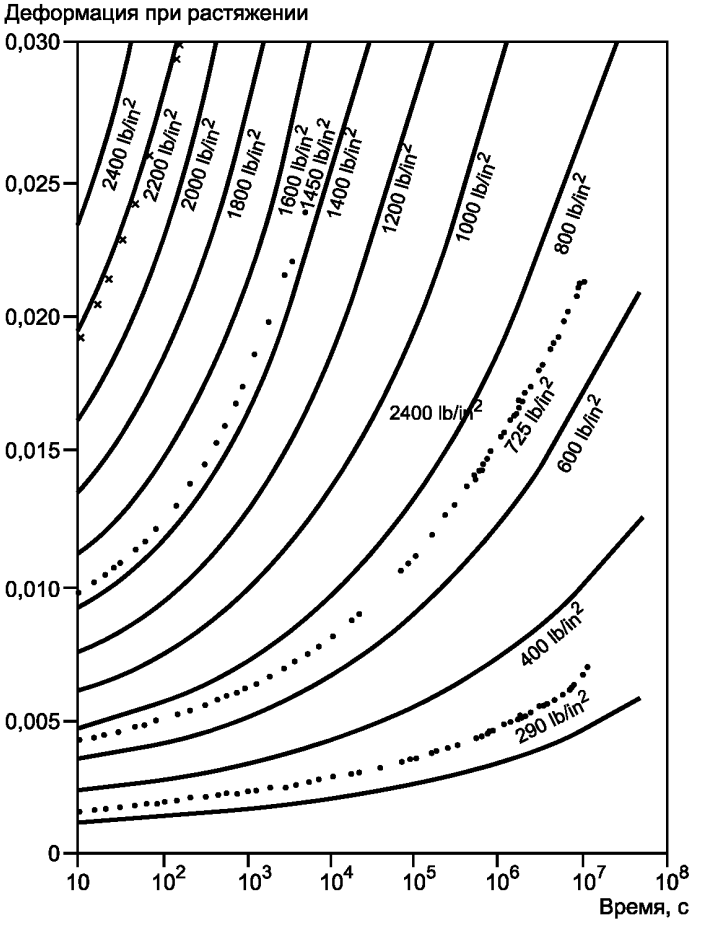


Рисунок Х4.3 — Числовая интерполяция значений ползучести

Примечание — Используют пропилен-этиленовый сополимер при 20 °С для напряжения 2175 фунтов/дюйм^2. Другие данные экспериментальной ползучести указаны как (•). Расстояние в 100 с определяется результатами изохронного испытания зависимости «напряжение—деформация».

Х4.3.4 Кривую прилагаемого напряжения строят по дополнительной деформации, которую оно создает за время *t*. Эта кривая представляет собой изохрону зависимости «напряжение—деформация» и применяется при определении деформации, которая соответствует определенному напряжению в момент времени *t*.

Х4.3.5 Кривые ползучести корректируют для соответствия изохронным данным в момент времени *t* и интерполируют на другие напряжения в соответствии с изохронными данными. На рисунках Х4.3—Х4.5 показан этот процесс.

Х4.3.6 До начала длительного испытания на ползучесть рекомендуется провести быстрое изохронное испытание (при напряжении σ ниже фактического напряжения ползучести), чтобы обеспечить надлежащее взаимодействие образца с экстензометром. При проведении испытания на ползучесть присутствует дополнительная ползучесть, так как деформации в момент времени *t* должны соответствовать изохронному эксперименту.

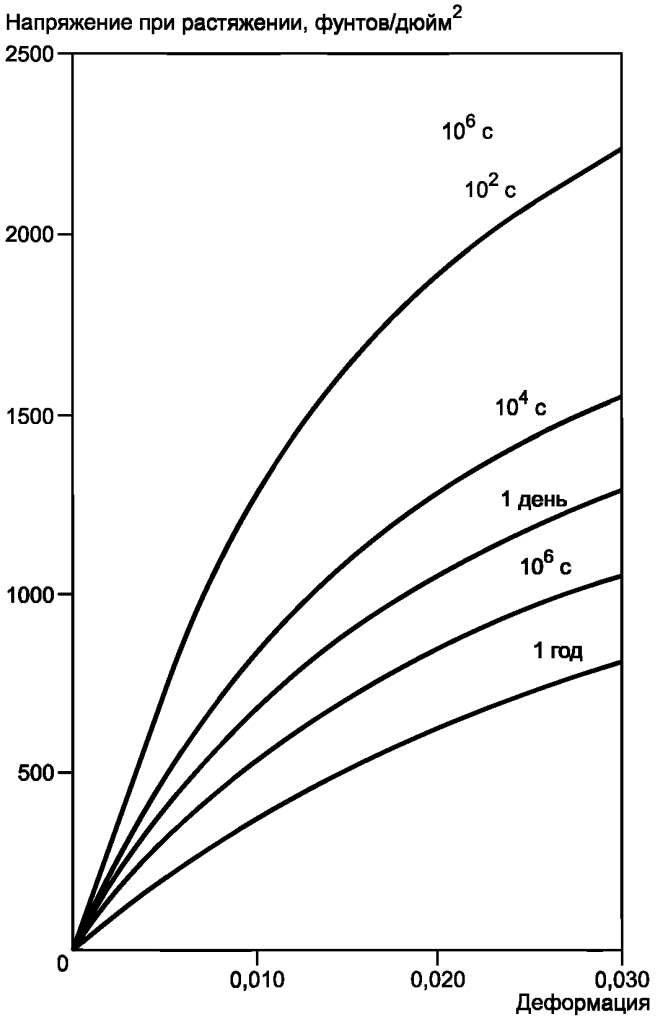


Рисунок Х4.4 — Постоянные временные вертикальные разрезы для рисунка Х4.3 (изохронные разрезы)

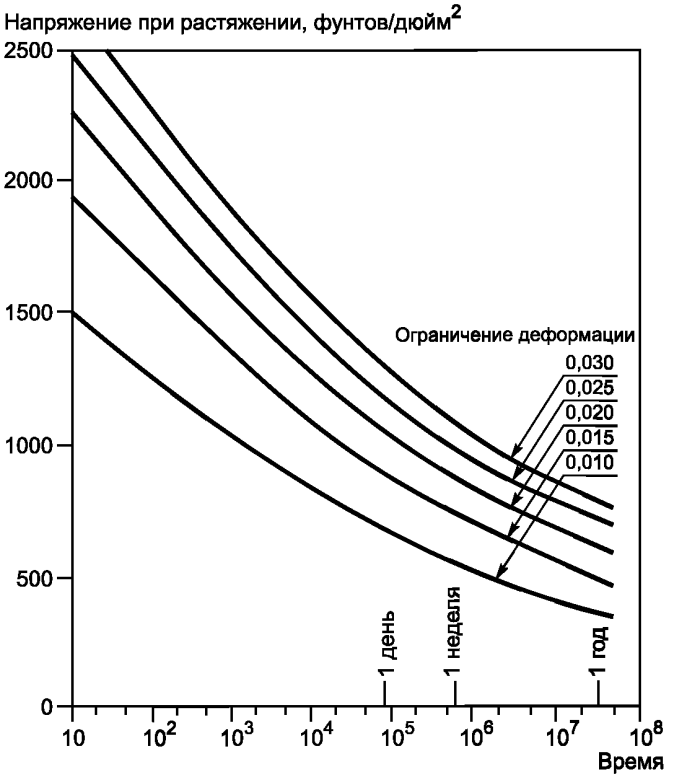


Рисунок Х4.5 — Постоянные деформационные вертикальные разрезы для рисунка Х4.3 (изометрические разрезы)

Х5 Прогнозирование длительных свойств

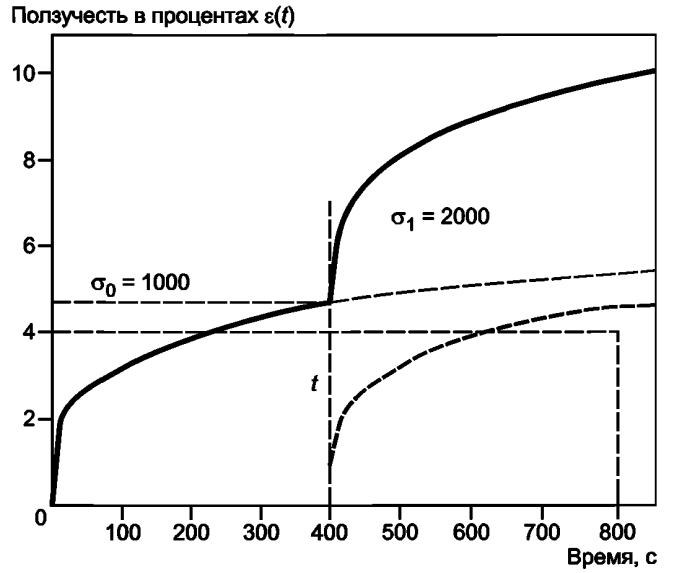


Рисунок Х5.1 — Принцип Больцмана

Х5.1 Принципы суперпозиции. Два принципа наиболее часто используют в теории вязкоупругих свойств: принцип суперпозиции Больцмана и принцип температурно-временной суперпозиции.

Х5.1.1 Принцип Больцмана описывает реакцию материала на различные хронологии нагружения. Рассматривая ползучесть с точки зрения вязкоупругих характеристик, этот принцип утверждает следующее:

Х5.1.1.1 Реакция материала на данную нагрузку не зависит от реакции материала на любую нагрузку, уже присутствующую в материале.

Х5.1.1.2 Деформация образца прямо пропорциональна прилагаемому напряжению, если все деформации сравниваются в эквивалентные моменты времени. Общую деформацию описывают следующим образом

$$E(t) = j(t)\sigma_0 + j(t - t_1)(\sigma_1 - \sigma_0) + \ldots j(t - t_n)(\sigma_n - \sigma_{n-1}), \quad (Х5.1)$$

где J — податливость при ползучести (обратный модуль, зависимый от времени);

σ_0 — прилагаемое напряжение (первоначальное).

Этот принцип показан на рисунке Х5.1. Материал подчиняется степенной зависимости (уравнение Наттинга)

$$E(t) = K\sigma t^n, \quad (Х5.2)$$

где K — 10^{-5};

n — 0,25 температурные константы.

Двукратно увеличивают нагрузку в момент 400 с, создают полную ползучесть, т. е. суперпозицию исходной кривой, смещенной на 400 с поверх удлинения исходной кривой.

Х5.1.2 Принцип температурно-временной суперпозиции *W-L-F* описывает эквивалентность времени и температуры. Кривые ползучести или снятия напряжения, построенные при различных температурах, перекрываются горизонтальным смещением вдоль логарифмической шкалы времени (метод *W-L-F*, разработанный Уильямсом, Ланделом и Ферри), в результате чего получается кривая, охватывающая широкий диапазон значений времени (обобщающая кривая).

Х5.1.2.1 Построение обобщающей кривой:

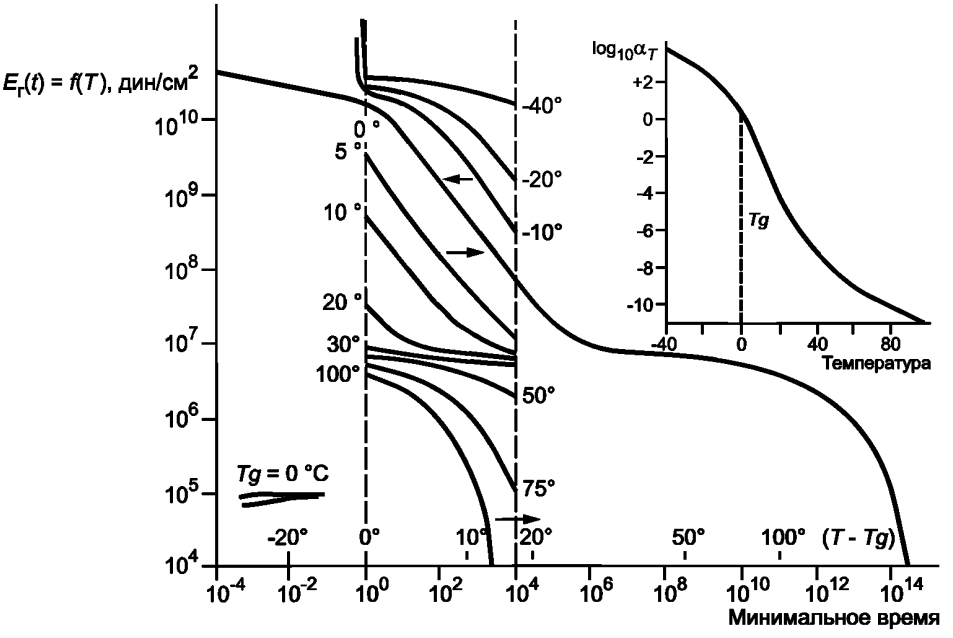


Рисунок Х5.2 — Обобщающая кривая снятия напряжения

Примечание — Температурно-временную суперпозицию *W-L-F* применяют к значениям снятия напряжения, полученным при нескольких температурах для получения обобщающей кривой, показанной непрерывной линией. Обобщающая кривая, полученная сдвигом данных вдоль горизонтальной оси на величины, указанные во вставке для α_T, показана кружками на линии.

Экспериментальные кривые, полученные первыми в серии значений температуры за указанный период времени, выстраивают значения соответствия или снятия напряжения. Затем выбирают кривую при определенной температуре в качестве опорной (обычно *Tg*). Затем кривые сдвигают поочередно вдоль логарифмической шкалы времени до их наложения. Кривые выше *Tg* сдвигают вправо, и кривые ниже *Tg* смещаются влево. Обобщающая кривая снятия напряжения приведена на рисунке Х5.2. Горизонтальный сдвиг вычисляют по формуле

$$\log \alpha_T = \frac{17{,}44(T - Tg)}{51{,}6 + T - T_B}. \quad (Х5.3)$$

Примечание — Числовые значения изменяются в зависимости от опорной температуры (К).

Формула (X5.3) пригодна для большинства аморфных полимеров между *Tg* и 100 °С выше *Tg*. Ниже *Tg* необходимо использовать другую температурную поправку.

Горизонтальный коэффициент *W-L-F* используют для кривой податливости, показанной на рисунок X5.3. Опорная температура T_0 = −30 °С, 43 °С выше *Tg*.

$$\log \alpha_T = \frac{-8{,}90(T - T_0)}{89{,}5 + T - T_0}. \quad (X5.4)$$

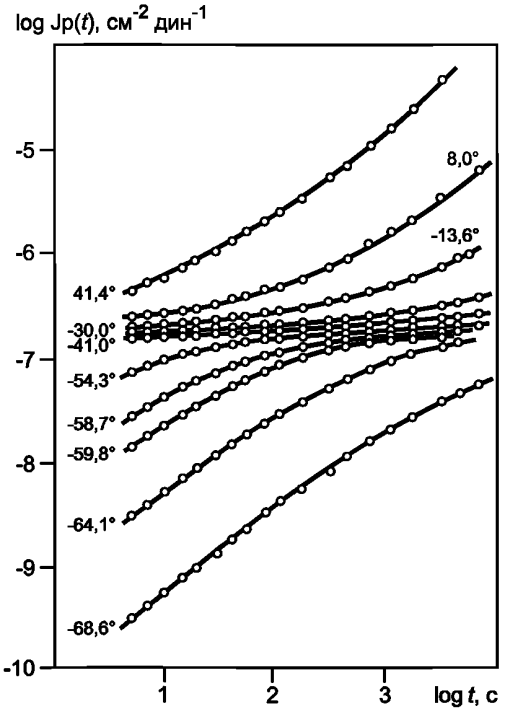
Полимеры также имеют ряд значений времени задержки, распределенных по многим порядкам времени. Это распределение *L*(*t*) можно оценить по наклону кривой податливости.

X5.1.3 Уравнение состояния:

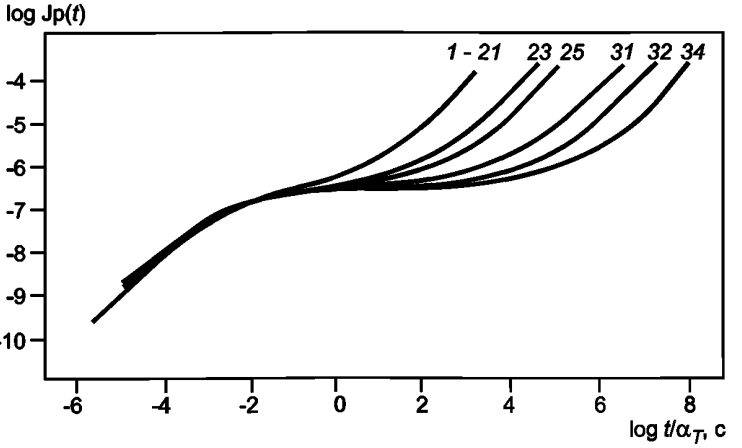
X5.1.3.1 Уравнение состояния используют в различных параметрических формах для прогнозирования механических свойств, либо в стабильной конструкционной форме, либо под нагрузкой в условиях химических изменений из-за повышенной температуры или химического воздействия. Ползучесть и разрыв можно рассчитать по формуле

$$dlnK/dt = E/RT^2, \quad (X5.5)$$

где *K* — постоянная скорости реакции;
T — абсолютная температура;
E — энергия активации;
R — газовая постоянная.



Податливость при ползучести полиизопрена при различных температурах. Значения приведены для разрыва при молекулярном весе 1,12 · 10^6



Обобщающая кривая податливости при ползучести полиизопрена различного молекулярного веса при опорной температуре минус 30 °С *t*

1—*21* — молекулярный вес 5,76 · 10^4; *23* — молекулярный вес 1,03 · 10^8; *25* — молекулярный вес 1,59 · 10^8; *31* — молекулярный вес 3,95 · 10^8; *32* — молекулярный вес 6,20 · 10^5; *34* — молекулярный вес 1,12 · 10^6

Рисунок X5.3 — Кривая податливости

Х5.1.3.2 Процессы ползучести и разрыва определяют как разделение и разрушение связей молекул и в этой связи рассматривают их как химические реакции. За счет введения уравнения (Х5.5) и включения всех постоянных в параметр K, уравнение приобретает форму уравнения механического и химического состояния

$$K = \{[TT_0]/(T_0 - T)]\}(23{,}78 - \log K). \quad (Х5.6)$$

В этой форме скорость реакции K может выражаться в значении времени t за счет использования кинетических связей. Три порядка определяют следующим образом: $K = x/t$ (нулевой порядок), $K = ln^2/(t/2)$ (первый порядок) и $K = 1/(at/2)$ (второй порядок).

Х5.1.3.3 С помощью уравнения (Х5.6) и трех различных порядков рассчитывают значения ползучести и разрыва для термопластичных и термореактивных материалов.

Х6 Формулы аппроксимации кривых

Х6.1 Методы аппроксимации кривых используют при представлении моделей и экстраполяции данных для использования в области инженерного проектирования. Функции ползучести часто записывают как отделяемые функции напряжения и времени

$$E = f(\sigma) \cdot f(t). \quad (Х6.1)$$

Некоторые из этих методов кратко изложены в следующих уравнениях:

Х6.2 Нортон

$$C = B\sigma^n; \quad (Х6.2)$$

$$\log C = \log B + n \log \sigma, \quad (Х6.3)$$

где C — скорость деформации;

σ — прилагаемое напряжение;

B и n — постоянные материала и температуры.

Для вторичной ползучести

$$C = \frac{E}{t} \text{ и } C = B\sigma^n; \quad (Х6.4)$$

$$E = Bt\sigma^n \text{ или } \log E = \log t + \log B + n \log \sigma. \quad (Х6.5)$$

В случае установившейся ползучести уравнения (Х6.1) и (Х6.2) отвечают степенному закону и закону двойного логарифма соответственно.

Х6.3 Закон ползучести гиперболической синусоиды (Надаи)

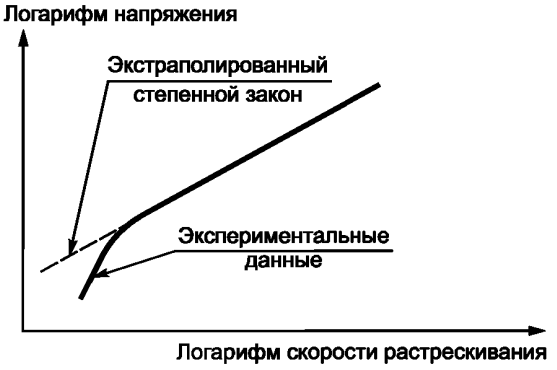


Рисунок Х6.1 — Закон ползучести гиперболической синусоиды

$$C = C_0 \sin h\frac{\sigma}{\sigma_0}. \quad (Х6.6)$$

Х6.3.1 В уравнении (Х6.3) учитывают тенденцию к снижению при низком напряжении, которая присуща некоторым материалам и которую невозможно предсказать с помощью степенного закона.

Х6.4 Финдли

$$e = Kt^n. \quad (Х6.7)$$

Х6.4.1 Функция этой формы называется степенно-временным законом, как правило, соответствует рисунку 2 в настоящем стандарте. K и n — это постоянные материала и температуры. Линейная зависимость от напряжения $E = \sigma f(t)$ хорошо подходит для многих незначительных деформаций твердых материалов.

Х6.5 Кривую ползучести можно разделить на три части, как показано на рисунках Х6.1 и Х6.2.

Х6.6 Для описания ползучести и снятия напряжения для нескольких материалов используют четырехэлементную модель (см. рисунок Х6.3).

Как правило, для правильного описания характеристик ползучести или снятия напряжения по многим порядкам времени требуется большое число амортизирующих компонентов.

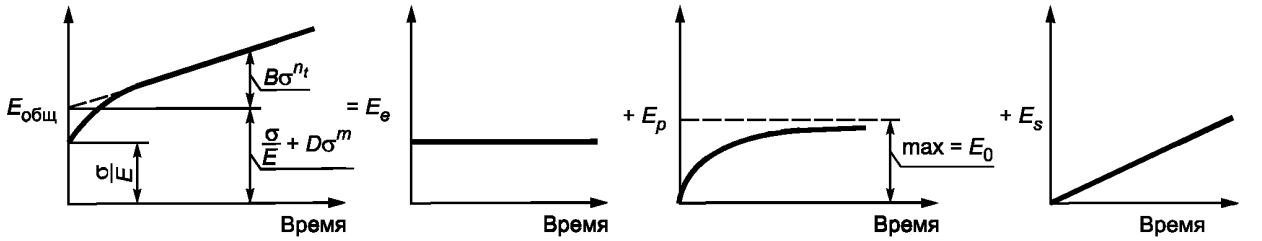


Рисунок Х6.2 — Кривая ползучести (три части)

Примечания

1 E_e = упругая = σ/E;

E_p = первичная = $D\sigma^m (1 - P_e^{-pt})$;

E_s = вторичная = $Bt\sigma^n$.

2 Постоянные P и p, а также процедуры их получения приведены в техническом расчете для пластмасс.

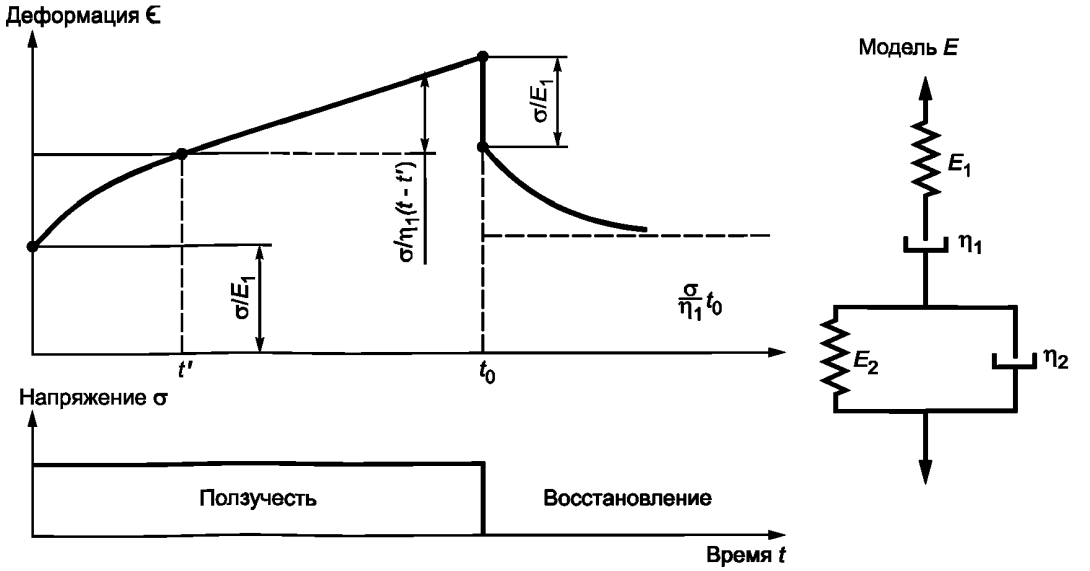


Рисунок Х6.3 — Четырехэлементная модель

X7 Использование графика ползучести до расчета пластмасс под статической нагрузкой (см. рисунок X7.1)

ASTM, военный или иной класс спецификаций	Испытательный образец			Условия испытания на ползучесть					Результаты испытания на ползучесть								
	Метод формования	Тип формы	Габаритные размеры	Тип нагрузки	Измерение	Особое кондиционирование образцов	Испытательная температура, °F	Исходное прилагаемое напряжение, фунт/дюйм^2	Модуль ползучести (видимой) тысяч фунтов/дюйм^2							Время в последней точке испытания, ч	Время при разрыве или наступлении текучести при исходном напряжении, ч
									Расчет на основе полного напряжения ползучести или прогиба (до разрыва или наступления текучести) в следующие моменты испытания:								
									1 ч	10 ч	30 ч	100 ч	300 ч	1000 ч	В последней точке испытания		
							73	4400	500	475	455	425	385	325	250	3500	4390 (разрыв)[13]
								4920	500	475	455	425	385	315	290	1705	1410 (разрыв)
								5500	490	440	410	355	285		285	309	284 (разрыв)
								6030	475	435	400	330			275	190	152 (разрыв)
								6460	470	430	395				370	47	55 (разрыв)
								6870	*60						440	6	47 (разрыв)

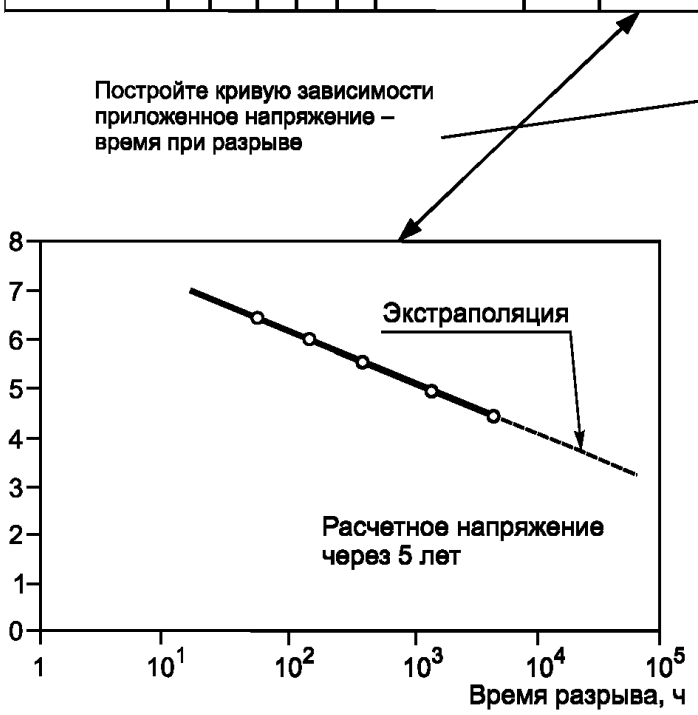


Рисунок 1 – Разрушение стиролакрилонитрила при ползучести при 73 °F, экстраполированное для получения расчетного напряжения для точки 5 лет



Рисунок 2 – Модуль ползучести стиролакрилонитрила при ползучести при 73 °F, экстраполированное для точки получения расчетного модуля для точки 5 лет

Рисунок X7.1 — Пример решения проблем

ASTM, военный или иной класс спецификаций	Испытательный образец			Условия испытания на ползучесть					Результаты испытания на ползучесть								
	Метод формования	Тип формы	Габаритные размеры	Тип нагрузки	Измерение деформации	Особое кондиционирование образца	Испытательная температура, °F	Исходное прилагаемое напряжение	Модуль ползучести, тыс.							Время в последней точке испытания, ч	Время при разрыве или наступлении текучести при исходном напряжении, ч
									Расчет на основе полного напряжения ползучести или прогиба (до разрыва или наступления текучести) в следующие моменты испытания:								
									1 ч	10 ч	30 ч	100 ч	300 ч	1000 ч	В последней точке испытания		
									435	420	400	385	380	375			
									315	295	285	280	275	265			
									285	265	260	250	240	230			

Постройте кривую зависимости модуль ползучести – время при каждом уровне исходного напряжения

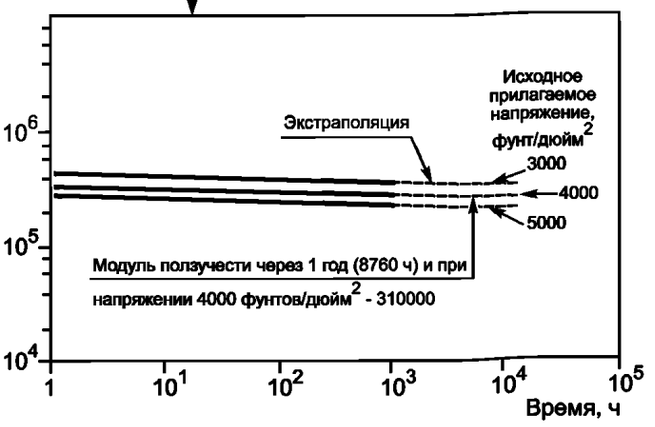


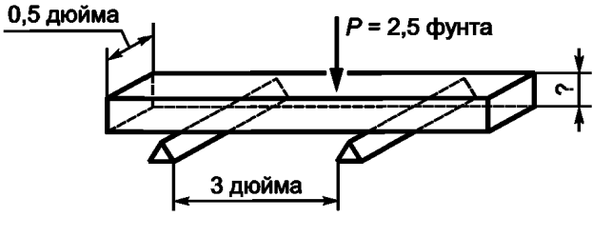
Рисунок 3 — Модуль ползучести 30% полибутилентерафталата, армированного стекловолокном, при 212° F, экстраполированный для получения расчетного модуля для точки 1 год

Рисунок X7.1 — Пример решения проблем (продолжение)

Пример решения задачи 1:

найти минимальную глубину простой балки прямоугольного сечения из стиролакрилонитрилового каучука, которая будет отвечать следующим расчетным условиям при 23 °C (73 °F):

выдерживание нагрузки 2,5 фунта на центральный пролет в течение 5 лет без разрыва и прогиба балки более 1 дюйма. Пролет = 3 дюйма; ширина балки = 0,5 дюйма.



Шаг 1. Выберите расчетные формулы:

Для прогиба:

$$S = \frac{2PL}{2bd^2}.$$

Для прочности:

$$E = \frac{PL^3}{48\Delta\frac{bd^3}{12}},$$

где S — максимальное напряжение в волокне, фунтов/дюйм^2;

E — модуль, фунтов/дюйм^2;

P — нагрузка, фунты = 2,5;

L — пролет, дюйм = 3;

b — ширина балки, дюйм = 0,5;

Δ — прогиб балки в центральном пролете, дюйм = макс. 0,1;

d — глубина балки, дюйм = ? ;

Расчетный срок службы = 5 лет.

Шаг 2. Постройте кривую данных разрушения при ползучести и модуля ползучести по графику ползучести на полулогарифмических и логарифмических координатах соответственно. При необходимости экстраполируйте значения и снимите показания расчетного напряжения и расчетного модуля для точки 5 лет, как показано на рисунках 1 и 2.

Примечание — Если значения модуля ползучести известны только при уровнях напряжения, разрушающих образец в пределах расчетного срока службы детали (5 лет в данном случае), рассчитайте кривую модуля ползучести для расчетного напряжения через 5 лет (3400 фунтов/дюйм^2 в данном случае), экстраполируя линейную часть кривых модуля ползучести, построенных на основе имеющихся данных, как показано на рисунке 2.

Шаг 3. Рассчитайте рабочее напряжение и рабочий модуль на основе расчетного напряжения и расчетного модуля, указанных в шаге 2:

Рабочее напряжение = расчетное напряжение х коэффициент прочности (запаса) = (3400) (0,5) = 1700 фунтов/дюйм^2.

Рабочий модуль = расчетный модуль х коэффициент прочности (запаса) = (350,000) (0,75) = 262,500 фунтов/дюйм^2.

Шаг 4. Рассчитайте глубину балки, необходимую для выдерживания нагрузки без разрыва:

$$\sigma = \sqrt{\frac{3PL}{abS}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 2{,}5 \cdot 3}{2 \cdot 0{,}5 \cdot 1700}} = 0{,}115 \text{ дюйма}.$$

Шаг 5. Рассчитайте прогиб балки глубиной 0,115 дюйма, рассчитанной в шаге 4, и сравните с требованием к максимальному прогибу — 0,1 дюйм.

$$\Delta = \frac{PL^3}{48E\frac{bd^3}{12}} = \frac{2{,}5 \cdot 3^3}{48 \cdot 262{,}000\frac{0{,}5 \cdot 0{,}115^3}{12}} = 0{,}08 \text{ дюйма (менее 0,1 дюйма)}.$$

Ответ: Балка глубиной 0,115 дюйм будет выдерживать расчетную нагрузку и отвечать требованиям к максимальному прогибу в течение 5 лет.

Пример решения задачи 2:

Рассчитать прогиб простой балки прямоугольного сечения из 30 %-ного полибутилентерефталата, армированного стекловолокном, через 1 год при температуре 100 °С (212 °F) под нагрузкой 2,75 фунта на центральный пролет. Ширина балки 0,5 дюйма; глубина балки 0,090 дюйма; пролет 4 дюйма.

Шаг 1. Рассчитать максимальное напряжение в волокне балки.

$$S = \sqrt{\frac{3PL}{abd^2}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 2{,}75 \cdot 4}{2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}090^2}} = 4074 \text{ фунт - сила/дюйм}^2.$$

Шаг 2. Постройте кривую данных модуля ползучести по графику ползучести при необходимости экстраполируйте значения и снимите показания модуля ползучести для точки 1 год: 310 000 фунт-сила/дюйм^2.

Примечание — При значительном отклонении кривых модуля ползучести от уровня исходного прилагаемого напряжения снимите показания модуля ползучести с кривой, уровень напряжения которой максимально приближен к максимальному напряжению в волокне, рассчитанному в шаге 1.

Шаг 3. Рассчитайте прогиб через 1 год используя модуль ползучести, полученный в шаге 2.

$$\Delta = \frac{PL^3}{48E\dfrac{bd^3}{12}} = \frac{2{,}5 \cdot 4^3}{48 \cdot 310{,}000\dfrac{0{,}5 \cdot 0{,}190^3}{12}} = 0{,}0389 \text{ дюйма.}$$

Ответ: через 1 год прогиб балки составит 0,389 дюйма.

Х8 Сводная информация

Х8.1 Необходимые данные для использования при расчетах получают следующим образом:

Х8.1.1 Измеряют суммарный модуль как функцию *T*.

Х8.1.2 Определяют изохроны зависимости «напряжение—деформация».

Х8.1.3 Проводят испытания на ползучесть при уровнях напряжения, выбранных из изохронных данных, и длительности, охватывающей срок службы материала.

Х8.1.4 Проводят контрольный эксперимент по определению изменения размеров.

Х8.1.5 Повторяют Х8.1.2 и Х8.1.3 при высоких температурах.

Х8.1.6 Применяют принцип суперпозиции на основе полученных данных.

Х8.1.7 Выполняют анализ разрушения.

Приложение ДВ
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ

Таблица ДВ.1

Структура настоящего стандарта	Структура стандарта АСТМ Д2990—09
—	5 Значение и применение[1)]
5 Оборудование (6)	6 Аппаратура
—	7 Реактивы[1)]
6 Подготовка к проведению испытаний (8, 9)	8 Испытательные образцы
	9 Кондиционирование
—	10 Выбор условий испытания[2)]
7 Проведение испытаний (11)	11 Методика
8 Обработка результатов (12)	12 Расчет
9 Протокол испытаний (13)	13 Протокол
—	14 Точность и систематическая погрешность[3)]
—	15 Ключевые слова[4)]
—	Приложения[1)]
Приложение А Пример испытательного стенда	—
Приложение ДА Оригинальный текст модифицированных структурных элементов	—
Приложение ДБ Оригинальный текст невключенных структурных элементов	—
Приложение ДВ Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ	—
Приложение ДГ Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов стандартам АСТМ, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте АСТМ	—

[1)] Данный раздел исключен, т. к. носит справочный характер.

[2)] Данный раздел исключен, т. к. его положения размещены в других разделах настоящего стандарта.

[3)] Данный раздел исключен, т. к. в нем отсутствуют требования к точности, не указаны нормы по погрешности и ее составляющих данного метода испытаний.

[4)] Данный раздел приведен в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5 (подпункт 5.6.2).

Примечания

1 Сопоставление структуры стандартов приведено начиная с раздела 5, т. к предыдущие разделы стандартов и их иные структурные элементы идентичны.

2 После заголовков разделов настоящего стандарта приведены в скобках номера аналогичных им разделов стандарта АСТМ.

Приложение ДГ
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов стандартам АСТМ, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте АСТМ

Таблица ДГ.1

Обозначение ссылочного национального или межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного стандарта АСТМ
ГОСТ 4651—2014	NEQ	ASTM D 695 «Метод испытания на определение механических свойств при сжатии жестких пластмасс»
ГОСТ 33519—2015	NEQ	ASTM D 695 «Метод испытания на определение механических свойств при сжатии жестких пластмасс»
ГОСТ 11262—80	NEQ	ASTM D 638 «Метод испытания на определение механических свойств при растяжении пластмасс»
ГОСТ 32656—2014 (ISO 527-4:1997, ISO 527-5:2009)	NEQ	ASTM D 638 «Метод испытания на определение механических свойств при растяжении пластмасс»
ГОСТ Р 56785—2015	NEQ	ASTM D 638 «Метод испытания на определение механических свойств при растяжении пластмасс»
ГОСТ 6507—90	NEQ	ASTM D 5947 «Методы испытания на определение физических размеров твердых образцов пластмассы»
ГОСТ Р 56810—2015	MOD	ASTM D 790 «Методы испытания на определение механических свойств при изгибе неармированных и армированных пластмасс и электроизоляционных материалов»

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- MOD — модифицированные стандарты;
- NEQ — неэквивалентные стандарты.

УДК 678.017:006.354 ОКС 83.080.01 MOD

Ключевые слова: композиты полимерные, определение ползучести при растяжении, ползучесть при сжатии, разрушения при ползучести

БЗ 10—2017/103

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.С. Кабашова*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 27.09.2017. Подписано в печать 20.10.2017. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,18. Тираж 21 экз. Зак. 2029.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123001 Москва, Гранатный пер., 4.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru