ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 57922— 2017**

# КОМПОЗИТЫ КЕРАМИЧЕСКИЕ

## Метод определения механических характеристик при монотонном одноосном растяжении и нормальной температуре

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 8 ноября 2017 г. № 1686-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту АСТМ Ц1275—15 «Стандартный метод испытания на определение характеристик при монотонном растяжении высококачественной керамики, армированной непрерывным волокном, на твердых испытательных образцах прямоугольного сечения при температуре внешней среды» (ASTM C1275—15 «Standard Test Method for Mono-tonic Tensile Behavior of Continuous Fiber-Reinforced Advanced Ceramics with Solid Rectangular Cross-Section Test Specimens at Ambient Temperature», MOD) путем изменения его структуры для приведения в соответствие с правилами, установленными в ГОСТ 1.5—2001 (подразделы 4.2 и 4.3), 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.

При этом дополнительные ссылки, включенные в текст стандарта для учета потребностей национальной экономики Российской Федерации и/или особенностей российской национальной стандартизации, выделены курсивом.

При этом потребности национальной экономики Российской Федерации в и/или особенности российской национальной стандартизации учтены в дополнительном пункте 5.2, который выделен путем заключения его в рамки из тонких линий, а информация с объяснением причин включения этого положения приведена в указанном пункте в виде примечания.

При этом в него не включены разделы 3, 7, подразделы 5.2—5.4, приложение X1 примененного стандарта АСТМ, которые нецелесообразно применять в российской национальной стандартизации в связи с тем, что данные разделы, подразделы, приложение носят справочный характер.

Указанные разделы (пункты, приложения), не включенные в основную часть настоящего стандарта, приведены в дополнительном приложении ДБ.

Исключены ссылки на АСТМ Ц1145, АСТМ Ц1239, АСТМ Д3039/Д3039М, АСТМ Д3379, АСТМ Д3878, АСТМ Е4, АСТМ Е6, АСТМ Е83, АСТМ Е177, АСТМ Е337, АСТМ Е691, АСТМ Е1012, АСТМ IEEE/ АСТМ СИ 10 вместе с положениями, в которых они приведены.

Измененные отдельные фразы выделены в тексте курсивом.

Внесение указанных технических отклонений направлено на учет особенностей аспекта стандартизации, характерных для Российской Федерации.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного стандарта АСТМ для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ приведено в дополнительном приложении ДВ

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 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 (www.gost.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 Сущность метода ..... 1
4 Оборудование ..... 1
5 Подготовка к проведению испытания ..... 2
6 Проведение испытания ..... 5
7 Обработка результатов ..... 6
8 Протокол испытания ..... 9
9 Точность ..... 9
Приложение ДА (справочное) Оригинальный текст модифицированных структурных элементов примененного стандарта АСТМ ..... 11
Приложение ДБ (справочное) Оригинальный текст невключенных структурных элементов примененного стандарта АСТМ ..... 16
Приложение ДВ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ ..... 21

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# КОМПОЗИТЫ КЕРАМИЧЕСКИЕ

## Метод определения механических характеристик при монотонном одноосном растяжении и нормальной температуре

Ceramic composites. Test method for determination of mechanical characteristics under monotonic uniaxial tension at normal temperature

**Дата введения — 2018—06—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на керамические композиты и устанавливает метод определения механических характеристик при монотонном одноосном растяжении и нормальной температуре.

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

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

*ГОСТ 6507 Микрометры. Технические условия*

*ГОСТ 14359—69 Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования*

*ГОСТ 21616 Тензорезисторы. Общие технические условия*

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 Сущность метода

Сущность метода заключается в испытании образцов на растяжение с постоянной скоростью деформирования до их разрушения.

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

## 4 Оборудование

4.1 Испытания проводят на *испытательной машине*, обеспечивающей растяжение образца с заданной постоянной скоростью перемещения активного захвата и измерение нагрузки с погрешностью не более 1 % от измеряемой величины.

**Издание официальное**

4.2 Захваты испытательной машины должны обеспечивать надежное крепление (без проскальзывания и разрушения поверхности образца) и точное центрирование образца (продольная ось образца должна совпадать с направлением действия растягивающей нагрузки). Для надежного крепления образца рекомендуется применять захваты с насечкой на рабочих поверхностях под углом ± 45° с шагом 1 мм.

Рекомендуется использовать шарнирно закрепленные (самовыравнивающиеся) захваты для предотвращения изгиба во время растяжения. Однако, если разрушение (разрыв) образца происходит постепенно, функция самовыравнивания будет обеспечивать возможность вращения участка захвата испытательного образца, тем самым содействуя неравномерному напряжению по оставшейся линии контакта рабочего участка. В этом случае использовать самовыравнивающие захваты не следует.

4.3 Проверку соосности силовой цепочки проводят любым доступным методом (например, с использованием специальных образцов с наклеенными тензорезисторами или двустороннего экстензометра) в начале и в конце серии испытаний. Силовую цепочку считают соосной, если величины изгиба для каждой из взаимно перпендикулярных граней образца, совпадающих с направлением приложения нагрузки, не превышают 5 % при величине деформации более 0,1 %.

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

4.4 Для регистрации деформации используют наклеиваемые тензорезисторы по *ГОСТ 21616*.

Примечание — Допускается использовать другие приборы для регистрации деформаций, прикрепление которых не оказывает влияние на определяемые характеристики, не создает дополнительных напряжений или деформаций.

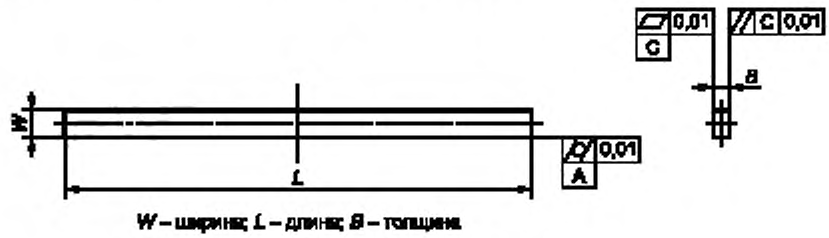
4.5 Микрометр по *ГОСТ 6507* для измерения геометрических размеров образца, обеспечивающий измерение с погрешностью не более 0,01 мм.

## 5 Подготовка к проведению испытания

### 5.1 Подготовка образцов

5.1.1 Для определения механических характеристик при монотонном одноосном растяжении и нормальной температуре используют не менее пяти образцов, если иное не установлено в *нормативном документе или технической документации на материал и/или изделие*.

5.1.2 В зависимости от используемых захватов и способов зажима применяют образцы, форма и размеры которых указаны на рисунках 1—9 и в таблицах 1, 2.




*W* – ширина; *L* – длина; *B* – толщина

Рисунок 1 — Образец типа I

Таблица 1

| Наименование и обозначение параметра | Значение параметра |
|---|---|
| Ширина образца *W*, мм, не менее | 6* |
| Длина образца *L*, мм, не менее | 100* |
| Толщина образца B, мм, не менее | 3 |
| * При длине рабочего участка 25 мм. | |

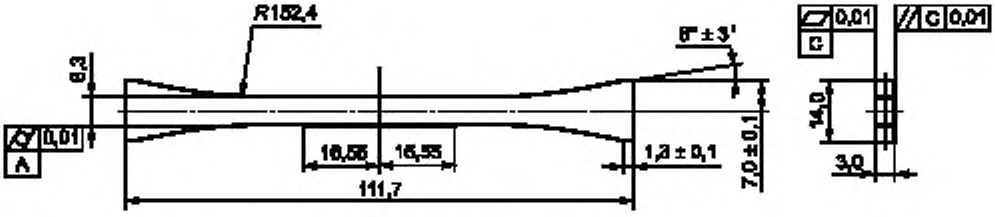



Рисунок 2 — Образец типа II

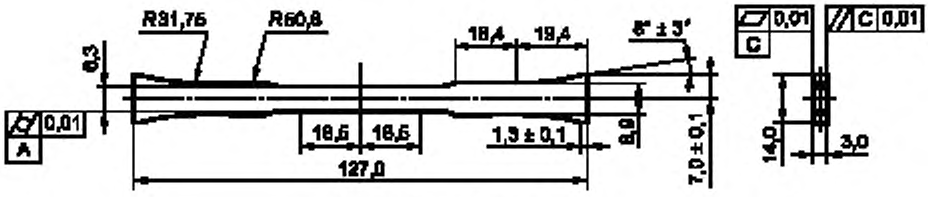



Рисунок 3 — Образец типа III

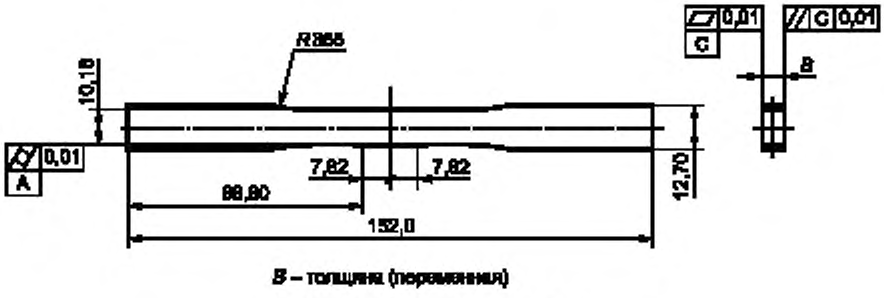



Рисунок 4 — Образец типа IV

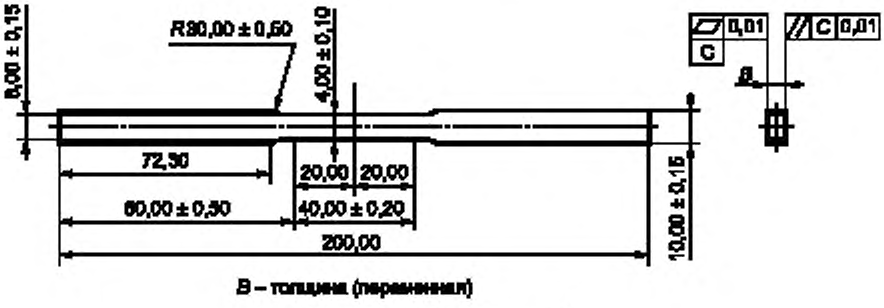



Рисунок 5 — Образец типа V

5.1.3 Условия изготовления образцов, механическая обработка *предусматриваются в нормативном документе или технической документации на материал и/или изделие*.

В случае отсутствия указаний резку и шлифовку образцов проводят при подаче воды для поддержания рабочей зоны и шлифовального диска во влажном состоянии и удаления сошлифованных частиц. Шлифовку допускается проводить в два этапа — сначала грубая, затем тонкая.

Скорость удаления материала должна быть 0,03 мм за проход. Для шлифовки используют алмазный шлифовальный инструмент абразивностью от 320 до 600 грит. По возможности с обеих сторон образцов удаляют равные количества материала.

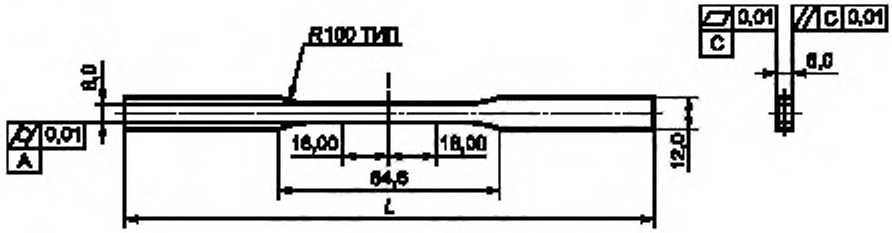



Рисунок 6 — Образец типа VI

Таблица 2

| Наименование и обозначение параметра | Значение параметра |
|---|---|
| Длина образца, *L*, мм | Не менее 175 (при повторных температурах) |
| | Не более 200 |

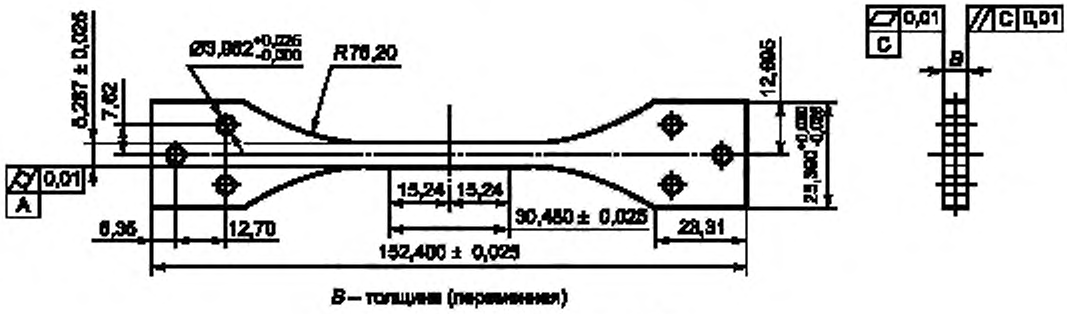



Рисунок 7 — Образец типа VII

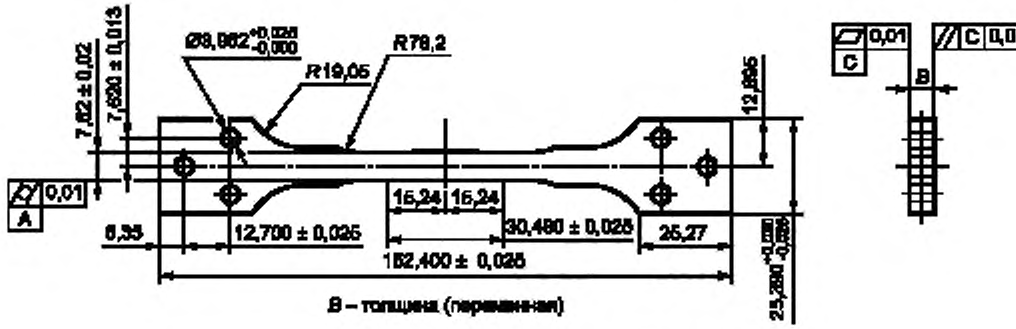



Рисунок 8 — Образец типа VIII

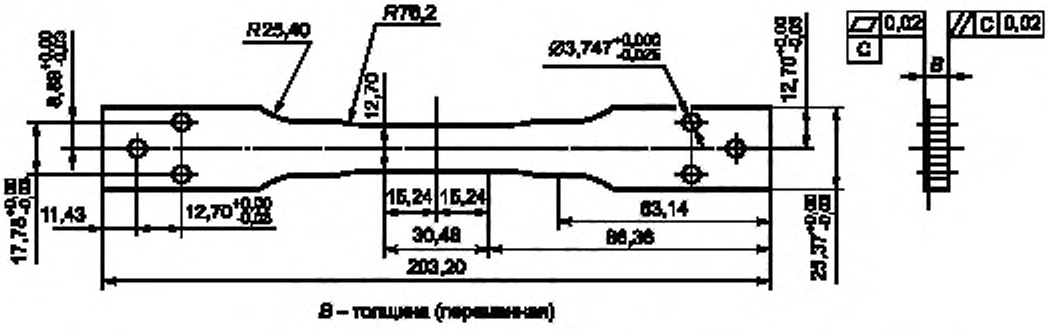



Рисунок 9 — Образец типа IX

5.1.4 Образцы должны иметь гладкую, ровную поверхность, без вздутий, сколов, неровностей, надрезов, царапин, трещин или других видимых невооруженным глазом дефектов.

5.1.5 Накладки для образцов изготовляют из ортогонально армированных стеклокомпозитов, углекомпозитов или из алюминиевых сплавов или других материалов, модуль упругости которых в направлениях, перпендикулярных оси образца, не превышает модуль упругости в этих же направлениях материала образца, а относительное удлинение при разрушении накладок не должно быть меньше относительного удлинения испытуемого материала.

Требования к форме и размерам накладок приведены на рисунке 10.

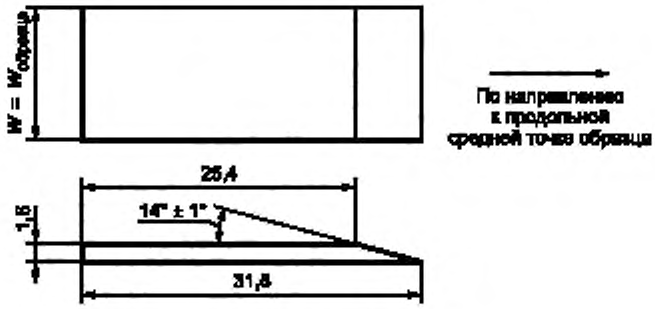



Рисунок 10

**5.2 Проведение кондиционирования**

Требования к хранению и кондиционированию образцов должны быть установлены в нормативном документе или технической документации на изделие.

Примечание — Дополнительный по отношению к АСТМ Ц1275—2015 пункт приведен в соответствии с ГОСТ 1.5 (пункт 7.9.7).

## 6 Проведение испытания

6.1 Испытания проводят при температуре (23 ± 5) °С и относительной влажности воздуха не превышающей 65 %.

6.2 Испытания проводят с управлением по деформации со скоростью деформирования от $50 \cdot 10^{-6}$ до $500 \cdot 10^{-6}$ $с^{-1}$ или с управлением по напряжению со скоростью изменения напряжения от 35 до 50 МПа/с.

Рекомендуется, чтобы образец разрушался за время от 5 до 10 с.

6.3 Измеряют толщину и ширину рабочей части образца в трех местах (по краям и в середине), и вычисляют площадь поперечного сечения образца. В протоколе испытаний регистрируют среднее значение площади поперечного сечения образца.

6.4 Образец в захватах испытательной машины устанавливают так, чтобы их продольные оси совпали с прямой, соединяющей точки крепления захватов в испытательной машине.

6.5 Маркируют образец: отмечают верх и низ (относительно середины рабочей части образца), а также лицевую сторону, нумеруют точки установки приборов для регистрации деформаций.

6.6 При необходимости прикладывают предварительную нагрузку, которую определяют экспериментально, для каждого испытуемого материала. Обнуляют показания датчиков деформации.

6.7 Нагружают образец с заданной скоростью деформирования или изменения напряжения вплоть до его разрушения.

В ходе нагружения записывают значение деформации в зависимости от нагрузки.

6.8 Результаты испытания не учитывают, если разрушение образца произошло за пределами рабочей части образца, и проводят испытания на новом образце.

## 7 Обработка результатов

7.1 Предел прочности при растяжении $S_u$, МПа, вычисляют по формуле

$$S_u = \frac{P_{max}}{A}, \quad (1)$$

где $P_{max}$ — максимальная нагрузка, Н;

$A$ — площадь поперечного сечения рабочей части образца, мм$^2$.

Относительное удлинение, соответствующее пределу прочности при растяжении, определяют по графику «напряжение — деформация» как деформацию, соответствующую напряжению при $P_{max}$.

7.2 Предел прочности при разрыве $S_{fracture}$, МПа, вычисляют по формуле

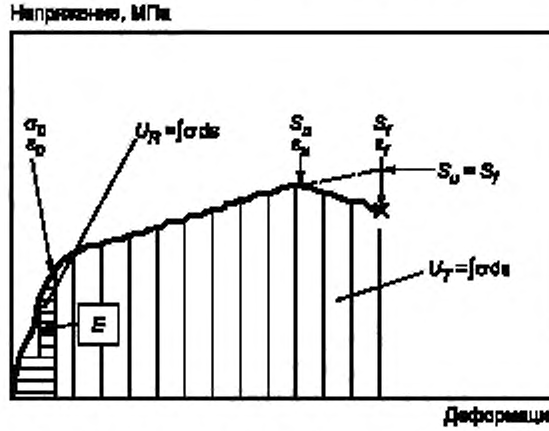
$$S_{fracture} = \frac{P_{fracture}}{A}, \quad (2)$$

где $P_{fracture}$ — нагрузка в момент разделения образца на две части, Н;

$A$ — площадь поперечного сечения рабочей части образца, мм$^2$.

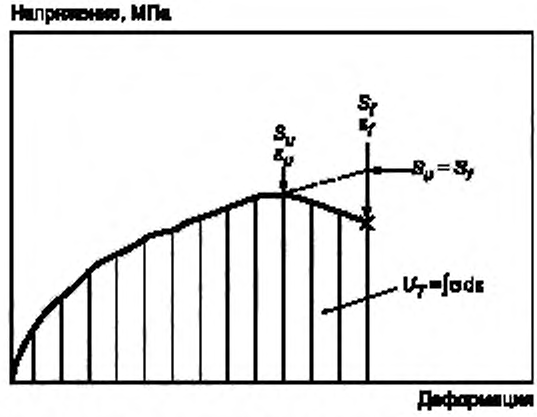
Относительное удлинение при разрыве определяют по графику «напряжение — деформация», как деформацию, соответствующую напряжению при $P_{fracture}$.

В некоторых случаях, как показано на рисунках 11—13, $S_u = S_f$.



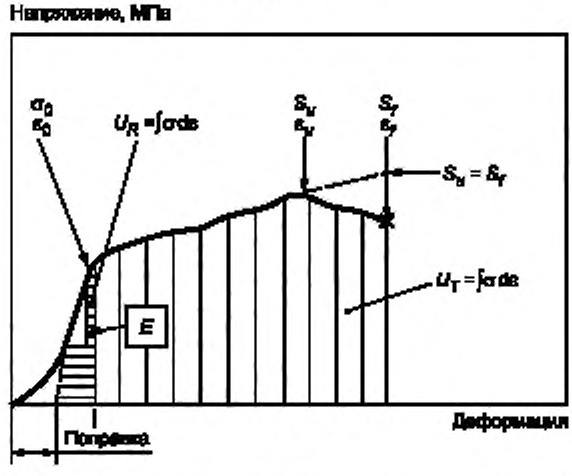

$\sigma_0$ — напряжение на пределе пропорциональности, $\varepsilon_0$ — деформация на пределе пропорциональности; $S_u$ — предел прочности при растяжении; $S_f$ — предел прочности при разрыве, $U_R$ — удельная потенциальная энергия растяжения; $U_T$ — удельная работа растяжения; $E$ — модуль упругости при растяжении

Рисунок 11




$S_u$ — предел прочности при растяжении; $S_f$ — предел прочности при разрыве. $U_T$ — удельная работа растяжения

Рисунок 12




$\sigma_0$ — напряжение при пределе пропорциональности; $\varepsilon_0$ — деформация; $S_u$ — предел прочности при растяжении. $S_f$ — предел прочности при разрыве; $U_R$ — удельная потенциальная энергия растяжения, $U_T$ — удельная работа растяжения; $E$ — модуль упругости при растяжении

Рисунок 13

Примечание — В некоторых случаях начальная часть кривой «напряжение — деформация» нелинейна, как показано на рисунке 13, и не отражает свойства материала. Вводят поправку для этого участка, продлив линейную часть кривой «напряжение — деформация» до пересечения с осью «деформация». Точка пересечения является поправкой, вычитаемой из всех значений деформации.

7.3 Модуль упругости при растяжении $E$, МПа, вычисляют по формуле

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}, \tag{3}$$

где $\Delta\sigma$ — напряжение при растяжении, МПа;

$\Delta\varepsilon$ — относительное удлинение.

$\Delta\sigma$ и $\Delta\varepsilon$ определяют на начальном прямолинейном участке графика «нагружение — деформация».

Для материалов, у которых отсутствует начальный прямолинейный участок (см. рисунок 12), модуль упругости не рассчитывают.

7.4 Коэффициент Пуассона $\nu$ вычисляют по формуле

$$\nu = \frac{\Delta\varepsilon_T}{\Delta\varepsilon_L}, \quad (4)$$

где $\Delta\varepsilon_T$ — изменение поперечной относительной деформации;

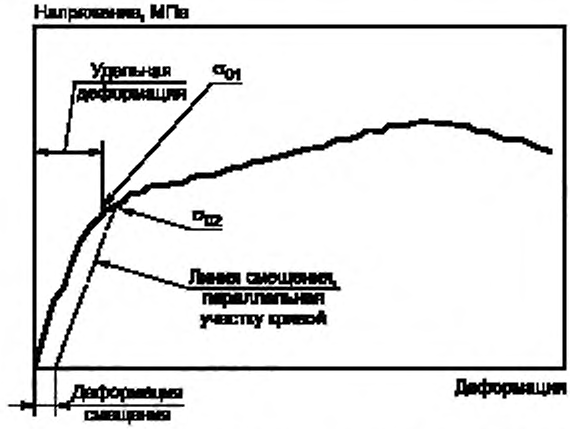
$\Delta\varepsilon_L$ — изменение продольной относительной деформации (относительное удлинение).

Для материалов, у которых отсутствует начальный прямолинейный участок (см. рисунок 12), коэффициент Пуассона не рассчитывают.

7.5 Напряжение на пределе пропорциональности определяют по одному из методов, указанных в 7.5.1—7.5.3.

Для материалов, у которых отсутствует начальный прямолинейный участок (см. рисунок 12), напряжение на пределе пропорциональности не рассчитывают.

7.5.1 За предел пропорциональности принимают напряжение в точке пересечения графика «нагружение — деформация» и прямой, параллельной начальному прямолинейному участку данного графика. Прямую смещают с помощью параллельного переноса по оси «деформация» на значение 0,0005 вправо (см. рисунок 14).




$\sigma_{01}$ — напряжение на пределе пропорциональности, полученное по 7.5.2;
$\sigma_{02}$ — напряжение на пределе пропорциональности, полученное по 7.5.1

Рисунок 14

7.5.2 За предел пропорциональности принимают напряжение в точке на графике «нагружение — деформация», соответствующее заданной деформации. Данная заданная деформация может находиться или может не находиться на начальном линейном участке графика «нагружение — деформация», но должна быть постоянной для всех испытаний в серии с указанным уровнем деформации.

7.5.3 За предел пропорциональности принимают напряжение $\sigma_i$, соответствующее заданному отклонению (в процентах) от предела пропорциональности.

Отклонение *dev*, %, вычисляют по формуле

$$dev = 100\left|\frac{(E\cdot\varepsilon_i)-\sigma_i}{\sigma_i}\right|, \quad (5)$$

где $\varepsilon_i$ — деформация, соответствующая напряжению $\sigma_i$.

Относительное удлинение при пределе пропорциональности определяют по графику «напряжение — деформация», как деформацию, соответствующую напряжению, определенному по 7.5.1—7.5.3.

7.6 Удельную потенциальную энергию растяжения $U_R$, Дж/м$^3$, вычисляют по формуле

$$U_R = \int_0^{\varepsilon_0}\sigma d\varepsilon = \frac{1}{2}\sigma_0\varepsilon_0, \quad (6)$$

где $\sigma_0$ — напряжение на пределе пропорциональности, МПа;

$\varepsilon_0$ — деформация на пределе пропорциональности.

7.7 Удельную работу растяжения $U_T$, Дж/м$^3$, вычисляют по формуле

$$U_T = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \approx \frac{\sigma_0 + S_u}{2} \varepsilon_f, \quad (7)$$

где $\varepsilon_f$ — деформация при разрыве.

Для материалов, у которых $\sigma_0$ не рассчитано, и имеющих график «напряжение — деформация» в виде параболы, удельную работу растяжения $U_T$, Дж/м$^3$, вычисляют по формуле

$$U_T = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \approx \frac{2}{3} S_u \varepsilon_f. \quad (8)$$

7.8 Среднеарифметическое значение $\overline{X}$ вычисляют по *ГОСТ 14359—69* (*подраздел 4.3*).

7.9 Стандартное отклонение σ вычисляют по *ГОСТ 14359—69* (*подраздел 4.4*).

7.10 Коэффициент вариации $K_B$, %, вычисляют по *ГОСТ 14359—69* (*подраздел 4.6*).

## 8 Протокол испытания

Результаты проведения испытания оформляют в виде протокола, содержащего:
- ссылку на настоящий стандарт;
- форму и размеры образца;
- форму и размеры накладок;
- описание применяемого оборудования;
- количество образцов;
- информацию необходимую для полной идентификации материалов;
- условия изготовления и механическую обработку образцов;
- условия кондиционирования;
- скорость деформирования или скорость изменения напряжения;
- предварительную нагрузку (если применялась);
- значение предела прочности при растяжении;
- значение предела прочности при разрыве;
- значение модуля упругости при растяжении;
- коэффициент Пуассона;
- отклонение dev;
- значение удельной потенциальной энергии растяжения;
- значение удельной работы растяжения;
- статистическую обработку данных;
- дату и время проведения испытания.

## 9 Точность

9.1 Результаты десяти испытаний, полученные в девяти разных лабораториях, представлены в таблице 3.

Таблица 3

| Наименование показателя | Модуль упругости | Напряжение при пределе пропорциональности | Предел прочности при растяжении | Деформация при разрыве |
|---|---|---|---|---|
| Среднее значение по девяти лабораториям | 92,9 ГПа | 84,5 МПа | 251 МПа | 0,004280 мм/мм |
| Повторяемость, % | 4,6 | 3,4 | 7,2 | 9,3 |
| Воспроизводимость, % | 5,0 | 4,1 | 7,2 | 9,2 |
| 95 %-ный предел повторяемости по лаборатории (коэффициент вариации 2,8 %), % | 12,9 | 9,5 | 20,2 | 26,0 |

*Окончание таблицы 3*

| Наименование показателя | Модуль упругости | Напряжение при пределе пропорциональности* | Предел прочности при растяжении | Деформация при разрыве |
|---|---|---|---|---|
| 95 %-ный предел воспроизводимости между лабораториями (коэффициент вариации 2,8% ),% | 15,0 | 11,5 | 20,2 | 25,8 |
| * Значение соответствует деформации в точке 0,001 мм/мм. | | | | |

9.2 Испытания проводились на образцах длиной 150 мм, шириной 9 мм с рабочими участками длиной 35 мм и шириной 8 мм.

Образцы были вырезаны алмазным инструментом из трех панелей (номинальной толщины 3 мм). Панели были изготовлены из восьми слоев керамического изделия (8-жгутовый атлас) в силиконово-карбонитридной матрице (на основе предкерамического полимера) с нитридокремниевым порошковым наполнителем. Архитектура слоев была симметричной укладкой слоев 0/90 (0/90/0/90/90/0/90/0) запатентованное межфазное покрытие нитридом бора. Расчетная плотность образцов 2200 кг/м$^3$, расчетная объемная волокна 45 % и средняя открытая пористость 2,7 %.

9.3 Скорость проведения испытания 0,02 мм/с. Деформация измерялась по измерительной базе длиной 25 мм.

**Приложение ДА**
**(справочное)**

## Оригинальный текст модифицированных структурных элементов примененного стандарта АСТМ

**ДА.1**

1.1 В настоящем методе испытания описано определение характеристик при растяжении, включая прочность при растяжении и зависимость напряжение-деформация при монотонном одноосном нагружении высококачественной керамики, армированной непрерывным волокном, при температуре окружающей среды. В настоящем методе испытания рассматриваются без ограничения испытательные образцы с различными геометрическими параметрами, перечисленные в приложении. Также рассматриваются методы изготовления испытательных образцов, методы испытания (регулирование усилия, смещения или деформации), скорости испытания (скорость приложения усилия, скорость изменения напряжения, скорость смещения или скорость деформации), допустимое изгибание, а также методы сбора данных и процедуры составления протоколов. Обратите внимание, что прочность при растяжении в значении, используемом в настоящем методе испытания, подразумевает прочность при растяжении, полученную при монотонном одноосном нагружении, при котором под монотонным подразумевается проведение испытания при неизменной интенсивности без изменений с момента начала испытания до окончательного разрыва.

1.2 Настоящий метод испытания главным образом применяется для всех композитных материалов с матрицей из высококачественной керамики, армированной непрерывным волокном: в одном направлении (1-D), в двух направлениях (2-D) и трех направлениях (3-D). Кроме того, настоящий метод испытания может использоваться для композитных материалов со стеклянной (аморфной) матрицей, армированных однонаправленным, двунаправленным и трехнаправленным непрерывным волокном. В настоящем методе испытания напрямую не рассматривается керамика, армированная дискретным волокном, нитевидными кристаллами или макрочастицами, хотя описанные в настоящем документе методы испытания могут в равной степени применяться для этих композитных материалов.

1.3 Величины, приведенные в настоящем методе испытания, соответствуют Международной системе единиц (СИ) и IEEE/АСТМ СИ 10.

1.4 Настоящий стандарт не претендует на полноту описания всех проблем безопасности, связанных с его использованием, если таковые имеются. В обязанности пользователя данного стандарта входит обеспечение соответствующих мер техники безопасности и охраны труда, а также решение вопроса о применимости нормативных ограничений перед началом применения стандарта. Описание видов характерного опасного воздействия приведено в разделе 7 и 8.2.5.2.

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**

**4 Значение и применение**

4.1 Настоящий метод испытания можно использовать для разработки материалов, сравнения материалов, обеспечения качества, определения характеристик и формирования расчетных данных.

4.2 Композиты с керамической матрицей, армированной непрерывным волокном, характеризующиеся мелкозернистой (<50 мкм) матрицей и армированием керамическим волокном, являются потенциальными материалами для применения для целей строительства, требующих высокой степени устойчивости к износу и коррозии, и устойчивости к разрушению при высоких температурах (т. е. вязкость). Кроме того, композиты со стеклянной (аморфной) матрицей, армированной волокном, являются потенциальными материалами для аналогичных, но возможно менее ресурсоемких практических целей. Несмотря на то, что методы испытания на изгиб широко используются для оценки прочности монолитной высококачественной керамики, распределение неравномерного напряжения образца для испытания на изгиб помимо различных механических характеристик при растяжении и сжатии для ККМАНВ ведет к неоднозначности интерпретации результатов прочности, полученных при испытаниях ККМАНВ на изгиб. Испытания на растяжение при одноосном нагружении позволяют получить информацию о механических характеристиках и прочности для равномерно-нагруженных материалов.

4.3 В отличие от монолитных высококачественных керамических материалов, которые полностью разрушаются от единственного преобладающего дефекта, ККМАНВ обычно испытывают постепенный разрыв от процесса суммарного повреждения. Поэтому объем материала, подвергаемый равномерному растягивающему напряжению для одного испытания на растяжение при одноосном нагружении, не может являться существенным фактором при определении предельной прочности ККМАНВ. Тем не менее, необходимость проводить испытание статистически значимого числа испытательных образцов не отменяется. Таким образом, в силу вероятностного характера распределения прочности хрупких матриц ККМАНВ, для статистического анализа и расчета необходимо достаточное число испытательных образцов. Исследования, направленные на определение точного воздействия объема

испытательного образца на распределение прочности для ККМАНВ, еще не завершены. Следует отметить, что значения прочности при растяжении, полученные с помощью рекомендуемых образцов для испытания на растяжение с различным объемом материала на рабочем участке, могут отличаться в силу такой разницы в объемах.

4.4 Испытания на растяжение позволяют получить информацию о прочности и деформации материалов под действием одноосных растягивающих напряжений. Состояния равномерного напряжения необходимы для эффективной оценки нелинейных характеристик напряжение-деформация, развивающихся в результате процессов суммарного повреждения (например, растрескивание матрицы, отклеивание матрицы/волокна, разрыв волокна, расслоение и т. д.), которые могут зависеть от режима испытания, скорости испытания, обработки результатов, сплавления или воздействия внешней среды. Некоторые из таких видов воздействия могут обуславливаться механической коррозией или докритическим ростом (распространением) трещин, которые можно минимизировать путем проведения испытания при достаточно высокой скорости согласно настоящему методу испытания.

4.5 Результаты испытания на растяжение образцов, изготовленных по стандартизированным размерам из определенного материала или выбранной части, могут не в полной мере отражать характеристики прочности и деформации полного, полноразмерного конечного изделия или его эксплуатационные характеристики в различных внешних условиях.

4.6 Для целей контроля качества, результаты, полученные на основе стандартизированных образцов для испытания на растяжение, могут считаться свойственными для материала, из которого они были отобраны, при учете условий первичной и вторичной тепловой обработки.

4.7 Характеристики при растяжении и прочность ККМАНВ зависят от свойственного сопротивления разрыву, присутствия дефектов или процессов суммарного повреждения или и того, и другого. Настоятельно рекомендуется проводить анализ поверхностей излома и фрактографию, несмотря на то, что она выходит за рамки настоящего метода испытания.

Примечание — Редакция раздела изменена для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.5).

**ДА.3**

***6.2 Захватные приспособления***

*Общее*. Различные типы захватных приспособлений можно использовать для передачи измеренной нагрузки, прилагаемой испытательной установкой на испытательные образцы. Хрупкая структура матриц ККМАНВ требует равномерной границы раздела между компонентами захвата и захваченным участком образца. Линейные или точечные контакты и неравномерное давление могут приводить к возникновению напряжений гертизанового типа, в результате чего могут образовываться трещины и разрывы испытательного образца на участке захвата. Захватные приспособления можно в целом классифицировать, как приспособления с активными и приспособления с пассивными поверхностями захвата, согласно описанию в следующих разделах.

6.2.1 Активные поверхности захвата — Активные поверхности захвата требуют постоянного приложения механического, гидравлического или пневматического усилия для передачи нагрузки, прилагаемой испытательной установкой, на испытательный образец. В целом эти типы поверхностей захвата обуславливают приложение усилие перпендикулярно к поверхности участка захвата образца. Передача одноосного усилия, прилагаемого испытательной установкой, достигается за счет трения между испытательным образцом и поверхностями захватов.

Таким образом, важными аспектами активных поверхностей захвата является равномерный контакт между участком захвата испытательного образца и поверхностями захватов, а также постоянный коэффициент трения на границе раздела захват/образец

6.2.1.1 В случае с плоскими образцами, захваты с нагруженной лицевой поверхностью, либо с прямым боковым давлением (1), либо с непрямыми клиновидными поверхностями захватов, действуют в качестве поверхности захвата (2), как показано на рисунке 2 и рисунке 3 соответственно. Как правило, для обеспечения плоскостности и параллельности, а также угла клина поверхностей захватов необходим жесткий допуск. Кроме того, толщина, плоскостность и параллельность участка захвата испытательного образца должны быть в пределах аналогичных жестких допусков, обеспечивая равномерность контакта на границе раздела испытательный образец/захват. Допуски будут различаться в зависимости от той или иной конфигурации, как показано на соответствующих рисунках испытательных образцов.

6.2.1.2 Во избежание проскальзывания, между поверхностью захвата и испытательным образцом необходимо прилагать достаточное боковое давление. Поверхности захватов, зазубренные наподобие напильника с одинарной насечкой, считаются удовлетворяющими требованиям. Мелкая насечка представляется наиболее подходящей. Насечка должна оставаться чистой и хорошо различимой, но не слишком острой. Длина и ширина поверхностей захватов должна быть равна или превышать соответствующую длину и ширину участка захвата испытательного образца.

6.2.2 Пассивные поверхности захвата — Пассивные поверхности захвата передают усилие, прилагаемое испытательной установкой на образец через прямое механическое звено. В целом эти механические звенья передают испытательное усилие на образец через геометрические особенности образцов, такие как выступы или отверстия в захватывающей головке. Таким образом, важным аспектом пассивных поверхностей захвата является равномерный контакт между участком захвата испытательного образца и поверхностями захватов.

6.2.2.1 Для плоских образцов пассивные захваты могут действовать либо путем кромочного нагружения через поверхности захвата на выступах ствола образца (3), либо за счет сочетания нагружения лицевой поверхности и точечного нагружения через штифты в отверстиях в захваченной головке образца (4, 5). Как правило, для обеспечения равномерного контакта вдоль всей поверхности раздела образец/захват, а также во избежание эксцентрического нагружения требуются жесткие допуски на линейные и угловые размеры выступов и поверхности захвата, как показано на рисунке 4. Кроме того, умеренно жесткие допуски необходимы для совмещения осей и диаметров штифтов и отверстий, как показано на рисунке 5.

6.2.2.2 При использовании образца для кромочного нагружения, поперечное центрирование испытательного образца в пределах захватного приспособления достигается за счет использования клиновидных вставок, обработанных под полость захвата. Кроме того, износ полости захвата можно уменьшить путем использования тонких латунных пластин между захватом и образцом, что не вредит геометрическому согласованию образца.

6.2.2.3 Штифты в захватах с нагружением через штифты/лицевую поверхность предназначены главным образом для геометрического согласования, а второй их функцией является передача усилия. Основная передача нагрузки выполняется посредством нагружения лицевой поверхности через клиновидный захват механического действия. Для каждого типа материала и испытательного образца необходимо определить уровень необходимого прижимания клиновидных захватов к образцу, чтобы предотвратить проскальзывание и избежать образование трещин при сжатии участка захвата испытательного образца.

6.2.2.4 Обратите внимание, что не рекомендуется использовать пассивные захваты с одним штифтом на каждом участке захвата образца в качестве основного механизма передачи усилия. Относительно низкий уровень прочности при сдвиге поверхностей контакта в сравнении с продольной прочностью при растяжении в ККМАНВ (особенно для однонаправленных армированных материалов, нагруженных вдоль направления волокон) может способствовать разрывам вне рабочего участка вдоль поверхностей контакта, особенно в точках геометрических переходов или в разрывах, например, отверстиях.

**6.3 Соединители нагрузочного модуля:**

6.3.1 Общее. Различные типы устройств (соединители нагрузочного модуля) могут использоваться для присоединения узлов активных или пассивных поверхностей захватов к испытательным установкам. Соединители нагрузочного модуля в сочетании с типом захватного приспособления играют большую роль в геометрическом согласовании нагрузочного модуля и, таким образом, последующим изгибании образца. Соединители нагрузочного модуля можно классифицировать как фиксированные и нефиксированные, согласно описанию в следующих разделах. Обратите внимание, что использование правильно согласованных фиксированных или самовыравнивающихся нефиксированных соединителей не может автоматически гарантировать низкий уровень изгибания на рабочем участке образца для испытания на растяжение.

Как правило, правильно согласованные фиксированные или самовыравнивающиеся нефиксированные соединители обеспечивают хорошее геометрическое согласование нагрузочного модуля, однако тип и работа поверхностей захватов, а также размеры образцов для испытания на растяжение при изготовлении могут в значительной мере способствовать окончательному изгибанию на рабочем участке испытательного образца.

6.3.1.1 Независимо от типа выбранного соединителя геометрическое согласование испытательной системы необходимо проверять как минимум в начале и в конце серии испытаний, если условия проверки согласования, согласно X1.1, не соблюдены в результате других мер. Серия испытаний толкуется как дискретная группа испытаний на отдельных образцах, проведенных в отдельный период времени на той или иной конфигурации материала, при тех или иных геометрических параметрах образца, условиях испытания или других однозначно определяемых признаках (например, серия испытаний на материале А, состоящая из десяти образцов геометрических параметров В, испытанных при фиксированной скорости деформации до окончательного разрыва при температуре окружающей среды). В середине серии испытаний рекомендуется проводить дополнительную проверку геометрического согласования. Необходимо использовать либо модель, либо фактический испытательный образец и процедуру геометрического согласования, описанную в приложении. Требования к допустимому изгибу приведены в п. 6.5. Образцы для испытания на растяжение, используемые для проверки геометрического согласования, должны оснащаться рекомендуемыми восемью отдельными тензодатчиками продольной деформации, для определения степени участия в изгибе таких факторов, как эксцентриситет и угловое смещение зажимных головок. В идеале проверочный образец должен быть изготовлен из материала, идентичного испытываемому. Однако в случае с ККМАНВ, тип армирования или степень остаточной пористости могут усложнять последовательное и точное измерение деформации. Поэтому рекомендуется использовать альтернативный материал (изотропный, однородный, непрерывный) с эквивалентным модулем упругости, способностью к упругой деформации и жесткостью. Кроме того, модельные образцы, используемые для проверки геометрического согласования, должны обладать теми же геометрическими параметрами и размерами, что и испытательный материал, обеспечивая тем самым осевую и изгибную жесткость, эквивалентную фактическому испытательному образцу.

6.3.2 Фиксированные соединители нагрузочного модуля — неподвижные соединители могут включать в себя приспособления, требующие либо единовременной регулировки нагрузочного модуля, остающейся неизменной для всех последующих испытаний, либо согласования на месте перед испытанием, которое производится отдельно для каждого испытательного образца и каждого испытания. Для компенсации присущего рассогласования нагрузочного модуля в таких приспособлениях (6, 7) обычно используют регуляторы угла и эксцентриситета. Независимо от используемого метода, проверка геометрического согласования должна выполняться согласно 6.3.1.1.

6.3.2.1 При монотонном испытании ККМАНВ предпочтение отдается неподвижным соединителям нагрузочного модуля в силу процесса постепенного разрыва этих материалов. Во время этого процесса постепенного разрыва, неподвижный соединитель как правило удерживает испытательный образец в согласованном положении и, таким образом, обеспечивает непрерывное равномерное напряжение по оставшейся линии контакта рабочего участка.

6.3.3 Подвижные соединители нагрузочного модуля. Подвижные соединители могут включать в себя устройства, обеспечивающие самовыравнивание нагрузочного модуля в ходе перемещения поперечной экструзионной головки или исполнительного механизма. Обычно такие приспособления базируются на свободно перемещающихся соединениях, устраняющих прилагаемые моменты по мере нагружения компонентов нагрузочного модуля.

Примерами таких приспособлений могут служить кромки лезвий, универсальные шарниры, гидравлические муфты или воздушные подшипники (4, 8, 9). Примеры двух таких приспособлений показаны на рис. 6. Хотя подвижные соединители нагрузочного модуля предназначены для самовыравнивания и, тем самым, устранения необходимости оценки изгиба в образцах при каждом испытании, работу таких соединителей необходимо проверять согласно 6.3.1.1.

6.3.3.1 Подвижные соединители нагрузочного модуля практичны при высоких скоростях проведения испытания или при испытаниях ККМАНВ под постоянной нагрузкой, в которых процесс постепенного разрыва не так очевиден. Если материал демонстрирует постепенный разрыв, функция самовыравнивания подвижного соединителя будет обеспечивать возможность вращения участка захвата испытательного образца, тем самым содействуя неравномерному напряжению по оставшейся линии контакта рабочего участка.

6.4 Измерение деформации. Деформацию определяют посредством использования подходящего экстензометра или тензодатчиков. Если необходимо определить коэффициент Пуассона, испытательный образец необходимо оборудовать измерительным прибором для измерения деформации как в продольном, так и в поперечном направлениях.

6.4.1 Экстензометры, используемые для испытания на растяжение испытательных образцов ККМАНВ, должны удовлетворять требованиям АСТМ Е83, Класс В-1, и рекомендуются для использования вместо тензодатчиков для испытательных образцов с измерительной базой ≥ 25 мм. Их также необходимо использовать для испытаний высокой производительности, выходящих за пределы возможностей использования тензодатчиков. Экстензометры должны проходить периодическую калибровку в соответствии с АСТМ Е83. В случае с экстензометрами, механически прикрепляемыми к образцам, они должны крепиться таким образом, чтобы не повредить поверхность образца. Кроме того, вес экстензометров должен распределяться таким образом, чтобы не вызывать прогиба более, чем допустимый по 6.5.

6.4.2 Хотя это и не рекомендуется для фактического испытания, деформацию можно также определить непосредственно по тензодатчикам. Если необходимо определить коэффициент Пуассона, испытательный образец необходимо оборудовать измерительным прибором для измерения деформации как в продольном, так и в поперечном направлениях. Если невозможно доказать, что показания тензодатчиков не подвержены чрезмерному влиянию локальных деформаций, например, точек пересечения волокна, тензодатчики должны быть длиной не менее 9—12 мм в продольном направлении и длиной не менее 6 мм в поперечном направлении. Обратите внимание на то, что более крупные тензодатчики могут требоваться в случае с волоконным армированием для достижения локализованных проявлений напряжений пересечения волокна. Тензодатчики, подготовка поверхности и связующие вещества необходимо выбирать с тем, чтобы обеспечить необходимые характеристики на испытуемых материалах. Также необходимо использовать подходящее оборудование для регистрации деформаций. Обратите внимание, что многие ККМАНВ могут проявлять высокую степень пористости и шероховатости поверхности, тем самым требуя обработки поверхности, включая шлифовку перед установкой тензодатчиков.

6.5 Допустимый изгиб — аналитические и эмпирические исследования (9) позволили заключить, что при незначительном воздействии на оценку параметров распределения прочности (например, модуль Вейбулла, $m^*$, и нормативная прочность, $\sigma^*\theta$) монолитной высококачественной керамики, допустимый процент изгиба, согласно АСТМ Е1012, не должен превышать пяти. Эти выводы (9) предполагают, что разрывы при определении прочности при растяжении имеют единую природу происхождения в объеме материала, все образцы для испытания на растяжение испытывали одинаковый уровень изгибания, а модуль Вейбулла, $m^*$ был постоянным.

6.5.1 Аналогичных исследований воздействия изгиба на распределение прочности при растяжении ККМАНВ не существует. До поступления такой информации относительно ККМАНВ настоящий метод испытания принимает рекомендации для испытания на растяжение монолитных высококачественных керамических материалов. В связи с этим, рекомендуемый максимально допустимый процент изгиба при наступлении процесса суммарного разрушения (например, напряжение растрескивания матрицы) для испытательных образцов, испытываемых согласно настоящему методу испытания, составляет пять. Вместе с тем следует отметить, что, если все образцы не оснащены надлежащим образом тензодатчиками и процент изгиба не контролируется до наступления процесса суммарного разрушения, регистрации процента изгиб при наступлении разрыва для каждого испытательного образца не будет происходить. В связи с этим испытательную систему необходимо проверять по процедуре, описанной в приложении, чтобы процент изгиба не превышал пяти при средней деформации, равной либо одной второй ожидаемой деформации при наступлении процесса суммарного разрушения (например, напряжение растрескивания матрицы), либо деформации в 0,0005 (т. е. 500 микродеформаций) в зависимости от того, что больше. Эту проверку необходимо производить как минимум в начале и в конце каждой серии испытаний, согласно рекомендациям в 6.3.1.1. В середине серии испытаний рекомендуется проводить дополнительную проверку геометрического согласования.

6.6 Сбор данных. Как минимум, требуется обеспечить автоматическую запись значений прилагаемой нагрузки и удлинения рабочего участка или деформации в зависимости от времени. Несмотря на то, что для упрощения последующего анализа данных рекомендуется применять цифровую запись, для этих целей могут использоваться и аналоговые регистраторы, и цифровые системы сбора данных. В идеальной ситуации, чтобы обеспечить мгновенную запись результатов испытания в дополнение к цифровой записи, аналоговый регистратор или построитель используется в сочетании с цифровой системой сбора данных. Точность регистрирующего устройства должна находиться в пределах ± 0,1 % для всей испытательной системы, включая считывающее устройство, согласно АСТМ Е4, при этом минимальная частота сбора данных должна составлять 10 Гц, а отклик в 50 Гц является более чем достаточным.

6.6.1 Деформация или удлинение рабочего участка, или и то, и другое, подлежит регистрации либо так же, как и усилие, либо в качестве независимых переменных усилия. Также может регистрироваться смещение поперечной экструзионной головки, однако оно не должно использоваться для определения перемещения или деформации на рабочем участке, особенно при использовании самовыравнивающихся соединителей в нагрузочном модуле.

6.7 Устройства измерения размеров. Микрометры и другие устройства, используемые для измерения линейных размеров, должны иметь точность и прецизионность как минимум до одной второй наименьшей единицы, до которой необходимо измерить тот или иной размер. Для целей настоящего метода испытания размеры поперечного сечения необходимо измерять до 0,02 мм, при этом устройства измерения размеров должны иметь точность измерения 0,01 мм.

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

**Приложение ДБ**
**(справочное)**

## Оригинальный текст невключенных структурных элементов примененного стандарта АСТМ

**ДБ.1**

**3 Терминология**

**3.1 Определения**

3.1.1 Определения терминов, относящихся к испытанию на растяжение, приведенные в АСТМ Е6, распространяются на термины, использованные при составлении настоящего метода испытания. Определения терминов, относящихся к высококачественной керамике, приведенные в Терминологическом стандарте С1145, распространяются на термины, использованные при составлении настоящего метода испытания. Определения терминов, относящихся к композитам, армированным волокном, приведенные в АСТМ Д3878, распространяются на термины, использованные при составлении настоящего метода испытания. Соответствующие определения, перечисленные в АСТМ Е1012, АСТМ Ц1145, АСТМ Д3878 и АСТМ Е6, приведены ниже с указанием в скобках их соответственных источников. Дополнительная терминология, используемая в сочетании с настоящим методом испытания, определена далее:

3.1.2 **Высококачественная керамика, с:** Конструктивно сложный, преимущественно безметалловый керамический материал с высокими характеристиками и определенными функциональными свойствами. АСТМ Ц1145

3.1.3 **Осевая деформация:** Средние продольные деформации, измеряемые на поверхности с противоположных сторон продольной оси симметрии образца при помощи двух тензочувствительных приборов, расположенных посередине уменьшенного сечения. АСТМ Е1012

3.1.4 **Деформация при изгибе:** Разница между деформацией на поверхности и осевой деформацией. В целом, деформация при изгибе варьируется от точки к точке вокруг и вдоль уменьшенного сечения образца. АСТМ Е1012

3.1.5 **Разрушающее усилие:** Усилие, при котором происходит разрыв. АСТМ Е6

3.1.6 **Композит с керамической матрицей:** Материал, состоящий из двух или более материалов (нерастворимых друг в друге), в котором основной неразрывный компонент (матричный компонент) является керамическим материалом, а второстепенный компонент(-ы) (армирующий компонент) может быть керамическим, стеклокерамическим, стеклянным, металлическим или органическим материалом. Эти компоненты комбинируются на макроскопическом уровне, формируя практичный конструкционный материал, обладающий определенными свойствами или характеристиками, не характерными для отдельно взятых составляющих.

3.1.7 **Композит с керамической матрицей, армированной непрерывным волокном (ККМАНВ):** Композитный материал с керамической матрицей, в которой армирующая часть состоит из непрерывного волокна, непрерывной нити или тканных волокон.

3.1.8 **Измерительная база:** Исходная длина той части образца, по которой определяется деформация или изменение длины. АСТМ Е6

3.1.9 **Напряжение растрескивания матрицы:** Прилагаемое растягивающее напряжение, при котором матрица растрескивается на ряд грубо параллельных сегментов перпендикулярно направлению растягивающего напряжения.

3.1.10 **Исследование:** В некоторых случаях напряжение растрескивания матрицы может определяться на кривой напряжение-деформация за счет отклонения от линейности (предел пропорциональности) или постепенно возрастающих перепадов напряжения при возрастающей деформации. В других случаях, особенно с материалами, не обладающими линейной частью кривой напряжение-деформация, напряжение растрескивания матрицы может определяться в качестве первого напряжения, при котором в разгружающей деформации вследствие напряжения (предела упругости) обнаруживается постоянная деформация смещения.

3.1.11 **Модуль упругости:** Отношение напряжения к соответствующей деформации ниже предела пропорциональности. АСТМ Е6

3.1.12 Удельная работа деформации — Энергия деформации на единицу объема, необходимая для упругого напряжения материала от нуля до предела пропорциональности, указывающая на способность материала поглощать энергию при упругой деформации и возвращать ее при разгружении.

3.1.13 **Модуль вязкости:** Энергия деформации на единицу объема, необходимая для напряжения материала от нуля до окончательного разрыва, указывающая на способность материала поглощать энергию за пределами области упругости (т. е. устойчивость материала к разрушению).

3.1.14 **Исследование:** Модуль вязкости может также выражаться как энергия суммарного повреждения и как таковой считается признаком способности материала выдерживать повреждение, а не его существенным свойством. Методы определения механики разрушения материалов для описания характеристик ККМАНВ еще не разработаны. Определение модуля вязкости, согласно настоящему методу испытания для определения характеристик процесса суммарного повреждения в ККМАНВ, может оказаться неактуальным с развитием методов определения механики разрушения материалов.

3.1.15 **Напряжение предела пропорциональности:** Наибольшее напряжение, которое способен выдержать материал без отклонения от пропорциональности напряжения к деформации (закон Гука).

3.1.16 **Исследование:** Многие эксперименты доказали, что значения, полученные для предела пропорциональности, варьируются в широких пределах в зависимости от чувствительности и точности испытательного оборудования, эксцентриситета нагружения, масштаба, в котором построен график напряжение-деформация, а также других факторов. При необходимости определения предела пропорциональности следует указывать процедуру и чувствительность испытательного оборудования. (См. АСТМ Е6.)

3.1.17 **Изгибание в процентах:** Деформация при изгибе, умноженная на 100, разделенная на осевую деформацию. АСТМ Е1012

3.1.18 **Медленное распространение трещин:** Докритический рост (распространение) трещин, который может возникать, без ограничения, в результате таких механизмов, как механическая коррозия при воздействии среды или диффузионный рост трещин.

3.1.19 **Прочность при растяжении:** Максимальное растягивающее напряжение, которое способен выдержать материал. Прочность при растяжении рассчитывается по максимальной нагрузке в ходе испытания на растяжение, проводимого для разрыва, и исходной площади поперечного сечения образца. АСТМ Е6

**ДБ.2**

5.2 Подготовка поверхности испытательных образцов, не являясь серьезной проблемой для ККМАНВ, все-таки может стать причиной дефектов изготовления, которые могут ярко выражаться в механических прочностных свойствах и характеристиках (например, форма и уровень полученной кривой напряжение-деформация, прочность и деформация при растяжении, напряжение и деформация при пределе пропорциональности и т. д.). Повреждения от механической обработки, причиненные в ходе подготовки образцов, могут быть либо случайным фактором при определении предельной прочности первоначального материала (т. е. увеличенная частота трещин, начинающихся на поверхности, в сравнении с трещинами, начинающимися в глубине образца), либо неотъемлемой частью прочностных характеристик, подлежащих измерению. Обработка поверхности также может приводить к возникновению остаточных напряжений. Универсальные или стандартизированные методы испытания для подготовки поверхности не существуют. Необходимо понимать, что этапы чистовой механической обработки могут или не могут устранять повреждения от механической обработки, причиненные в ходе первоначальной обработки. Таким образом история изготовления испытательного образца может играть важную роль в распределении измеряемой прочности и подлежит занесению в протокол. Кроме того, характер изготовления определенных композитов (например, химическая инфильтрация из паровой фазы или горячая прессовка) может требовать проведения испытания образца в условиях его обработки (т. е. когда невозможно обработать поверхности образца).

5.3 Изгибание при однонаправленном испытании на растяжение может вызывать или способствовать неравномерному распределению напряжений при максимальных напряжениях на поверхности образца, приводящих к нехарактерным разрывам на поверхностях или вблизи геометрических переходов. Кроме того, при измерении деформации на поверхностях, на которых возникают максимальные или минимальные напряжения, изгибание может происходить над или под измерением деформаций в зависимости от расположения тензочувствительных приборов на испытательном образце. Аналогичным образом, разрыв от поверхностных дефектов может усиливаться или подавляться в результате присутствия неоднородных напряжений, вызванных изгибанием.

5.4 Разрывы, начинающиеся за пределами равномерно напряженного рабочего участка испытательного образца, могут быть обусловлены такими факторами, как концентрация напряжений или геометрические переходы, внешние напряжения от захвата, или микроструктурными свойствами испытательного образца, ограничивающими его прочность. В случае подобного разрыва вне рабочего участка результаты испытания обычно считаются недействительными. Кроме того, в случае геометрических конфигураций с нагруженной лицевой поверхностью, усилие зажима является ключевой переменной в возникновении трещины. Недостаточное давление может срезать наружный слой в слоистых ККМАНВ; при этом слишком большое давление может приводить к локальному раздавливанию ККМАНВ и разрыву в непосредственной близости от захватов.

**ДБ.3**

**7 Опасные факторы**

7.1 При выполнении испытания по настоящему методу допускается высокая вероятность разлета фрагментов разорванного испытуемого материала. Хрупкая структура высококачественной керамики и высвобождение энергии деформации способствует потенциальному выбросу неконтролируемых фрагментов при разрушении. Настоятельно рекомендуется предусматривать средства по сдерживанию этих фрагментов для последующей фрактографической реконструкции и анализа.

7.2 Оголенные волокна на кромках испытательных образцов ККМАНВ представляют собой опасность вследствие остроты и хрупкости керамического волокна. Лица, обращающиеся с этими материалами, должны быть осведомлены о таких условиях и правильных методах работы.

**ДБ.4 ПРИЛОЖЕНИЯ**

**(Необязательная информация)**

**Х1. ПРОВЕРКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СОГЛАСОВАННОСТИ НАГРУЗОЧНОГО МОДУЛЯ**

Х1.1 *Цель проверки.*

Цель настоящей процедуры проверки заключается в демонстрации возможности использования захватов и соединителей нагрузочного модуля оператором испытания таким образом, чтобы неизменно соблюдались

ограничения по проценту изгиба, как указано в п. 6.5. Следовательно, данная процедура проверки не должна предполагать большее внимания при установке, чем во время фактического испытания образца для испытания на растяжение. Изгиб при растягивающей нагрузке необходимо измерять с помощью проверочного (или фактического) образца, конфигурация которого идентична конфигурации образца для фактического испытания на растяжение. Для целей проверки тензодатчики необходимо устанавливать, как показано на рисунке Х1.1. Проверочные измерения проводят в начале и в конце серии испытаний, при этом рекомендуется выполнять измерения в середине серии испытания, всякий раз при установке захватов и соединителей нагрузочного модуля на другую испытательную установку, при проведении серии испытаний другим оператором, а также при появлении подозрений на геометрическую рассогласованность или повреждение.

Х1.2 *Проверочный образец.*

Образец, используемый для проверки, подвергается очень осторожной механической обработке при внимательном отношении ко всем допускам и соосности. В идеале проверочный образец должен быть изготовлен из материала, идентичного испытываемому. Однако в случае с ККМАНВ, тип армирования или степень остаточной пористости могут усложнять последовательное и точное измерение деформации. Поэтому рекомендуется использовать альтернативный материал (изотропный, однородный, непрерывный) с эквивалентным модулем упругости, способностью к упругой деформации и жесткостью. Перед установкой тензодатчиков, чтобы убедиться в соблюдении этих требований, образец необходимо тщательно проверить с помощью оптического компаратора. После установки тензодатчиков будет невозможно достоверно проверить образец, поэтому при обращении и использовании его необходимо проявлять осторожность.

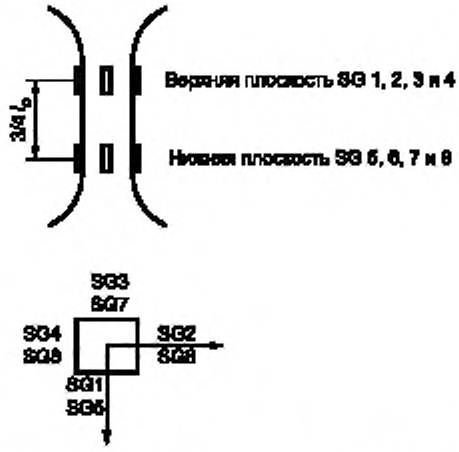



Рисунок. Х1.1 — Изображение места установки тензодатчиков на плоскостях рабочих участков и нумерация тензодатчиков

Х1.2.1 Для простоты выполнения на проверочном образце необходимо установить не менее восьми фольговых тензодатчиков сопротивления, как показано на рисунке Х1.1. Обратите внимание, что плоскости тензодатчиков должны быть разделены на 3/4 $l_o$, ($l_o$ — это длина уменьшенного или назначенного рабочего участка). Кроме того, необходимо соблюдать осторожность при выборе плоскостей тензодатчиков, симметрично относительно продольной середины рабочего участка, во избежание установки тензодатчиков ближе, чем на одну длину тензодатчика от геометрических признаков, таких как радиус перехода от рабочего участка. Тензодатчики на модельных образцах, состоящих из изотропных однородных материалов, должны быть максимально узкими, чтобы минимизировать усреднение деформации. Тензодатчики с рабочей шириной 0,25—0,5 мм и рабочей длиной 1,0—2,5 мм, имеются в продаже и подходят для этой цели. В противном случае тензодатчики на испытательных образцах, состоящих их материалов ККМАНВ, должны иметь размеры, рекомендованные в 6.4.2. Четыре тензодатчика, равноудаленные (на 90°) относительно окружности рабочего участка (то есть, один тензодатчик на каждой поверхности), должны устанавливаться в каждой из двух плоскостей на одном из концов рабочего участка. Эти плоскости должны располагаться симметрично относительно продольной средней точки рабочего участка. Обратите внимание на то, что необходимо проявлять осторожность, чтобы не допустить размещения тензодатчиков слишком близко к геометрическим переходам на рабочем участке, что может привести к концентрации деформации и неточным измерениям деформации на равномерно нагруженном рабочем участке.

Х1.3 *Процедура проверки.*

Процедуры проверке геометрического согласования подробно описаны в АСТМ Е1012. Однако наиболее важные моменты для прямоугольных сечений дополнительно указаны ниже. При прямоугольных сечениях, особенно когда толщина слишком мала для установки тензодатчиков на все четыре стороны необходимо обратиться к АСТМ Е1012, в которых можно найти более подробную информацию.

X1.3.1 Подключают токовые выводы тензодатчиков к формирователю сигналов и позволяют тензодатчикам прийти в равновесие под нагрузкой в течение не менее 30 мин до проведения проверочных испытаний. Это позволит свести к минимуму дрейф во время фактического испытания.

X1.3.2 Закрепляют верхнюю часть образца в тисках.

X1.3.3 Обнуляют тензодатчики перед закреплением нижней части образца в тисках. Это позволит зарегистрировать любой изгиб, вызванный действием захвата.

X1.3.4 Закрепляют нижнюю часть образца в тисках.

X1.3.5 Прикладывают достаточное усилие к образцу, чтобы получить среднюю деформацию, равную либо одной второй ожидаемой деформации при наступлении процесса суммарного разрушения (например, напряжение растрескивания матрицы) в испытываемом материале, либо деформации в 0,0005 (т. е. 500 микродеформаций) в зависимости от того, что больше. Обратите внимание, что желательно регистрировать деформацию (и поэтому процент изгиба) в зависимости от прилагаемого усилия, чтобы следить за самовыравниванием нагрузочного модуля.

X1.3.6 Рассчитывают процент изгиба следующим. Номера тензодатчиков приведены на рисунке X1.1. Процент изгиба в верхней плоскости рабочего участка вычисляют по формуле:

$$PB_{upper} = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_c} 100. \quad (X1.1)$$

$$\varepsilon_b = \left[ \left( \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}{2} \right)^2 + \left( \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_4}{2} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (X1.2)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4}, \quad (X1.3)$$

где $\varepsilon_1$, $\varepsilon_2$, $\varepsilon_3$ и $\varepsilon_4$ — показания деформации для тензодатчиков, расположенных на верхней плоскости рабочего участка. Обратите внимание, что показания тензодатчиков указаны в единицах измерения деформации, а деформация сжатия имеет отрицательные величины.

X1.3.7 Направление максимальной деформации при изгибе на верхней плоскости вычисляют по формуле:

$$\theta_{upper} = \quad (X1.4)^*$$

где $\theta_{upper}$ измеряется по тензодатчику с наибольшими показаниями в направлении тензодатчика со вторыми по величине показаниями, где направление против часовой стрелки является положительным.

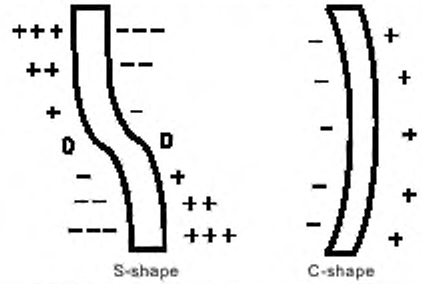
X1.3.8 Процент изгиба в нижней плоскости рабочего участка вычисляют по формуле:

$$PB_{lower} = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_0} 100, \quad (X1.5)$$

$$\varepsilon_b = \left[ \left( \frac{\varepsilon_5 - \varepsilon_7}{2} \right)^2 + \left( \frac{\varepsilon_6 - \varepsilon_8}{2} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (X1.6)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_5 + \varepsilon_6 + \varepsilon_7 + \varepsilon_8}{4}, \quad (X1.7)$$

где $\varepsilon_5$, $\varepsilon_6$, $\varepsilon_7$ и $\varepsilon_8$ — показания деформации для тензодатчиков, расположенных на нижней плоскости рабочего участка. Обратите внимание, что показания тензодатчиков указаны в единицах измерения деформации, а деформация сжатия имеет отрицательные величины.




| | |
|---|---|
| S-shape | S-образная форма |
| C-shape | C-образная форма |

Рисунок X1.2 — S- и C-образный изгиб образца для испытания на растяжение

* В соответствии с оригинальным текстом стандарта АСТМ.

X1.3.9 Направление максимальной деформации при изгибе на нижней плоскости вычисляют по формуле:

$$\theta_{lower} = \arctan\left[\frac{\varepsilon_{(\text{next greatest of 5, 6, 7, 8})} - \varepsilon_0}{\varepsilon_{(\text{greatest of 5, 6, 7 8})} - \varepsilon_0}\right], \quad (X1.8)$$

где $\theta_{lower}$ измеряется по тензодатчику с наибольшими показаниями в направлении тензодатчика со вторыми по величине показаниями, где направление против часовой стрелки является положительным.

X1.3.10 Обратите внимание, что для следующих сопоставлений $\theta_{upper}$ и $\theta_{lower}$ можно отрегулировать для отсчета от одной и той же точки на окружности. Поскольку тензодатчики 1 и 5 выпадают на одну продольную линию относительно окружности, для обеспечения соответствия их можно использовать в качестве исходных точек для $\theta_{upper}$ и $\theta_{lower}$, соответственно. Например, на верхней плоскости, если тензодатчик 2 является наибольшей измеренной деформацией, а тензодатчик 3 является следующей наибольшей измеренной деформацией, то направление максимальной деформации изгиба относительно тензодатчика 1 составит $\theta_{upper}$ + 90° в направлении против часовой стрелки (т. е. от тензодатчика 1 к 2). Для равномерного изгиба по рабочему участку при предполагаемой С-образной форме образца, $PB_{upper} \approx PB_{lower}$ и $\theta_{upper} - \theta_{lower} \approx 0°$. С-образный изгиб отражает угловое рассогласование захватов. Для неравномерного изгиба по рабочему участку при предполагаемой S-образной форме образца, $PB_{upper}$ может быть или может не быть равен $PB_{lower}$ и $\theta_{upper} - \theta_{lower} \approx 180°$. С-образный изгиб отражает эксцентрическое рассогласование захватов. Эти общие тенденции показаны на рисунке X1.2. Сочетание С- и S-образных форм могут существовать в случаях, когда $\theta_{upper} - \theta_{lower}$ составляет определенный угол от 0 до 180°. В этих случаях S-образную форму следует устранить путем регулировки концентричности захватов таким образом, чтобы согласованные в продольном направлении тензодатчики показывают примерно одинаковые значения (например, $\varepsilon_1 \approx \varepsilon_5$, $\varepsilon_2 \approx \varepsilon_6$ и т. д.). Более подробное описание изгибов и выравнивания содержится в п. 13.

X1.3.11 Эффект деформации образца можно проверить, повернув его на 180° относительно его продольной оси и выполнив проверку изгиба повторно. При получении аналогичных результатов при каждом повороте, то степень геометрической согласованности можно считать характерной для нагрузочного модуля, а не признаком образца. Если геометрическое согласование нагрузочного модуля соответствует требованиям 6.5, необходимо записать максимальный процент изгиба, после чего можно приступить к выполнению испытания на растяжение. Если геометрическое согласование нагрузочного модуля не соответствует требованиям 6.5, необходимо повторно отрегулировать нагрузочный модуль согласно уникальному процессу регулировки отдельной испытательной установки. Затем процедуру проверки необходимо повторить, чтобы подтвердить полученное геометрическое согласование.

**Приложение ДВ**
**(справочное)**

## Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта ASTM

Таблица ДВ.1

| Структура настоящего стандарта | Структура стандарта ASTM C 1275 – 15 |
|---|---|
| * | 3 Терминология |
| 3 Сущность метода (4) | 4 Значение и применение |
| * | 5 Мешающее воздействие |
| 4 Оборудование (6) | 6 Испытательное устройство |
| * | 7 Опасные факторы |
| 5 Подготовка к проведению испытания<br>5.1 Подготовка образцов (8)<br>5.2 Проведение кондиционирования** (—) | 8 Испытательные образцы |
| 6 Проведение испытания (9) | 9 Методика |
| 7 Обработка результатов (10) | 10 Обработка результатов |
| 8 Протокол испытания (11) | 11 Протокол |
| 9 Точность (12) | 12 Точность и систематическая погрешность |
| *** | 13 Ключевые слова |
| * | Приложение |
| Приложение ДА (справочное) Оригинальный текст модифицированных структурных элементов примененного стандарта ASTM | — |
| Приложение ДБ (справочное) Оригинальный текст невключенных структурных элементов примененного стандарта ASTM | — |
| Приложение ДВ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта ASTM | — |

* Раздел (приложение) исключен, так как носит поясняющий характер.

** Включение в настоящий стандарт данного подраздела обусловлено необходимостью приведения его в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5.

*** Данный раздел приведен в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5—2012 (подпункт 5.6.2).

Примечание — Сопоставление структуры стандартов приведено, начиная с раздела 3, т.к. предыдущие разделы стандартов идентичны.

УДК 678.017:006.354 ОКС 83.180

Ключевые слова: полимерные композиты, механические характеристики, монотонное одноосное растяжение

**БЗ 12—2017/11**

Редактор *Р.Г. Говердовская*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *С.В. Смирнова*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 10.11.2017. Подписано в печать 04.12.2017. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,95 Тираж 22 экз. Зак. 2600.
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