ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 57733— 2017

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Метод определения характеристик при сдвиге в плоскости армирования образцов, изготовленных намоткой

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 28 сентября 2017 г. № 1270-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту АСТМ Д5448/Д5448 М-11 «Стандартный метод испытания на определение свойств при плоскостном сдвиге цилиндров из композитных материалов с полимерной матрицей кольцевой намотки» (ASTM D5448/D5448 M-11 «Standard test method for inplane shear properties of hoop wound polymer matrix composite cylinders», MOD) путем изменения его структуры для приведения в соответствие с требованиями, 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 6, 9, 12 (подразделы 1.2, 1.3, 1.4, пункт 1.3.1) примененного стандарта АСТМ, которые нецелесообразно применять в российской национальной стандартизации в связи с тем, что данные разделы, подразделы, пункт носят справочный характер. Указанные разделы (подразделы, пункт), 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.

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

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

В настоящем стандарте ссылки на международные стандарты 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 6
7 Проведение испытаний 6
8 Обработка результатов 9
9 Протокол испытаний 10
10 Прецизионность 11
Приложение ДА (справочное) Оригинальный текст модифицированных структурных элементов . . . 12
Приложение ДБ (справочное) Оригинальный текст невключенных структурных элементов 20
Приложение ДВ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ 21
Приложение ДГ (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов стандартам АСТМ, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте АСТМ 22

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Метод определения характеристик при сдвиге в плоскости армирования образцов, изготовленных намоткой

Polymer composites.
Test method for determination of inplane shear properties of hoop wound samples

Дата введения — 2018—02—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на полимерные композиты, изготовленные намоткой под углом 90° высокомодульных непрерывных волокон, предварительно пропитанных термореактивной смолой, и устанавливает метод определения характеристик при сдвиге в плоскости армирования.

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

ГОСТ 32794 Композиты полимерные. Термины и определения

ГОСТ Р 56762 Композиты полимерные. Метод определения влагопоглощения и равновесного состояния

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

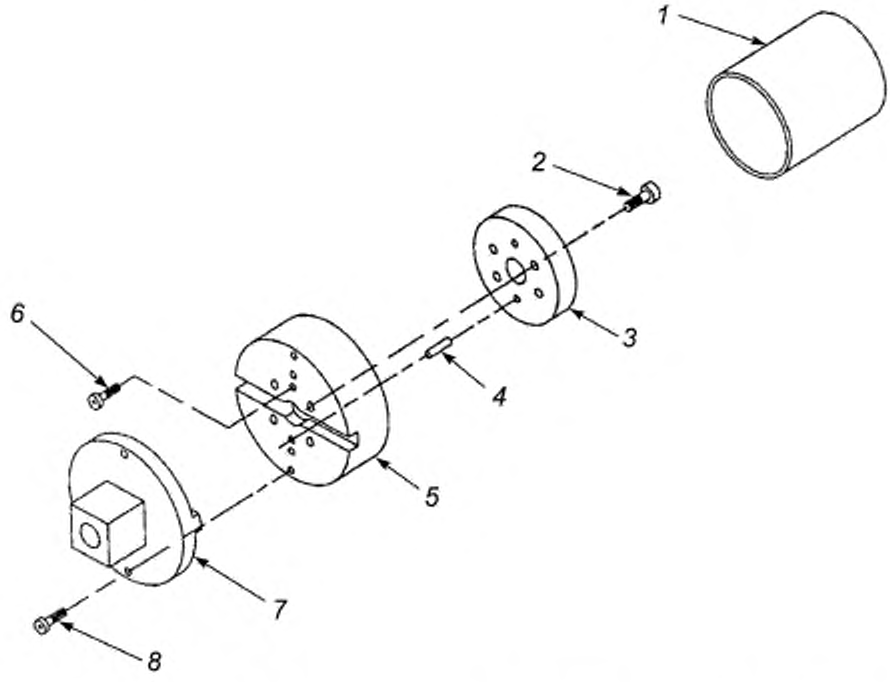
Сущность метода состоит в испытании цилиндрического образца на скручивание, при этом определяют: предел прочности при сдвиге в плоскости армирования, модуль упругости при сдвиге в плоскости армирования, деформацию при сдвиге в плоскости армирования в момент разрушения.

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

5 Оборудование

5.1 Микрометры по *ГОСТ 6507*, обеспечивающие измерение внутреннего и внешнего диаметра образца, а также длины образца с точностью 0,025 мм.

5.2 Приспособление для создания сдвига в плоскости армирования образца (далее — приспособление), состоящее из переходника, торцевой насадки и внутренней вставки. Общий вид приспособления приведен на рисунке 1.



1 — образец; *2* — болт крепления; *3* — внутренняя вставка; *4* — направляющий штифт; *5* — торцевая насадка; *6* — разрушающий болт; *7* — переходник; *8* — болт переходника

Рисунок 1

5.2.1 Требования к форме и размерам переходника приведены на рисунке 2.

5.2.2 Требования к форме и размерам торцевой насадки приведены на рисунке 3.

5.2.3 Требования к форме и размерам внутренней вставки приведены на рисунке 4.

5.3 Испытательная машина, обеспечивающая скручивание образца с заданной постоянной скоростью вращения активного захвата и измерение нагрузки с погрешностью не более 1 % измеряемой величины.

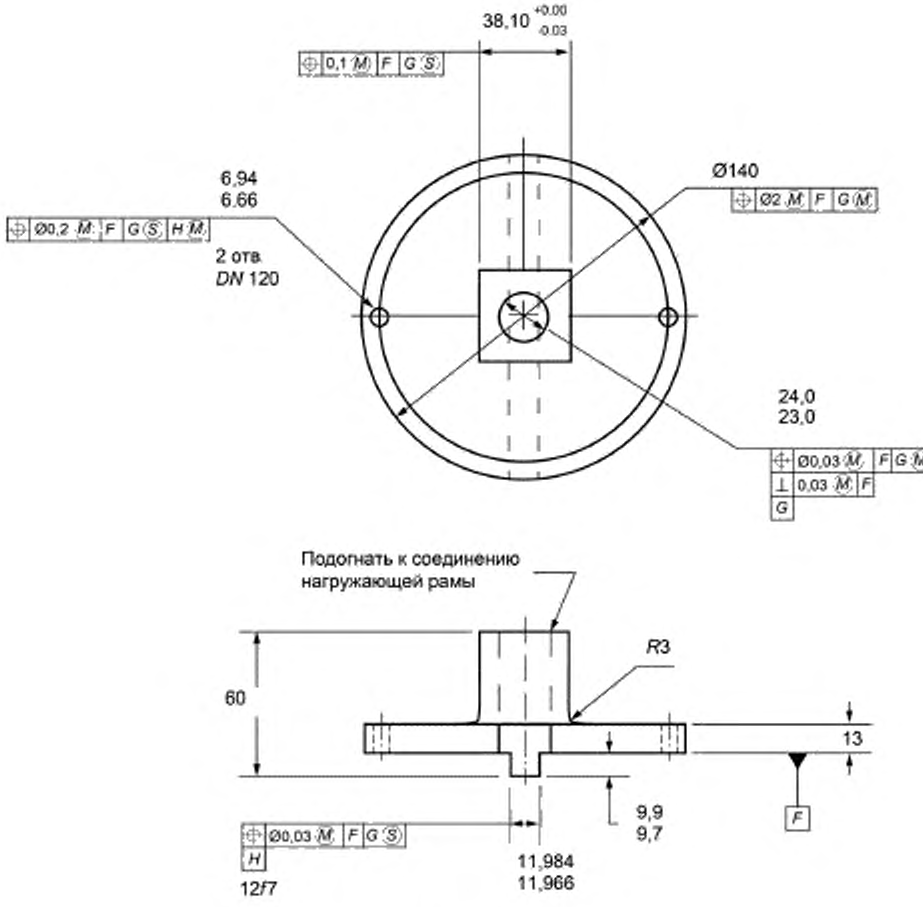

38,10 +0.00 -0.03
0,1 M F G S
6,94
6,66
Ø0,2 M F G S H M
2 отв
DN 120
Ø140
Ø2 M F G M
24,0
23,0
Ø0,03 M F G M
0,03 M F
G
Подогнать к соединению
нагружающей рамы
R3
60
13
9,9
9,7
F
Ø0,03 M F G S
H
12f7
11,984
11,966

Рисунок 2

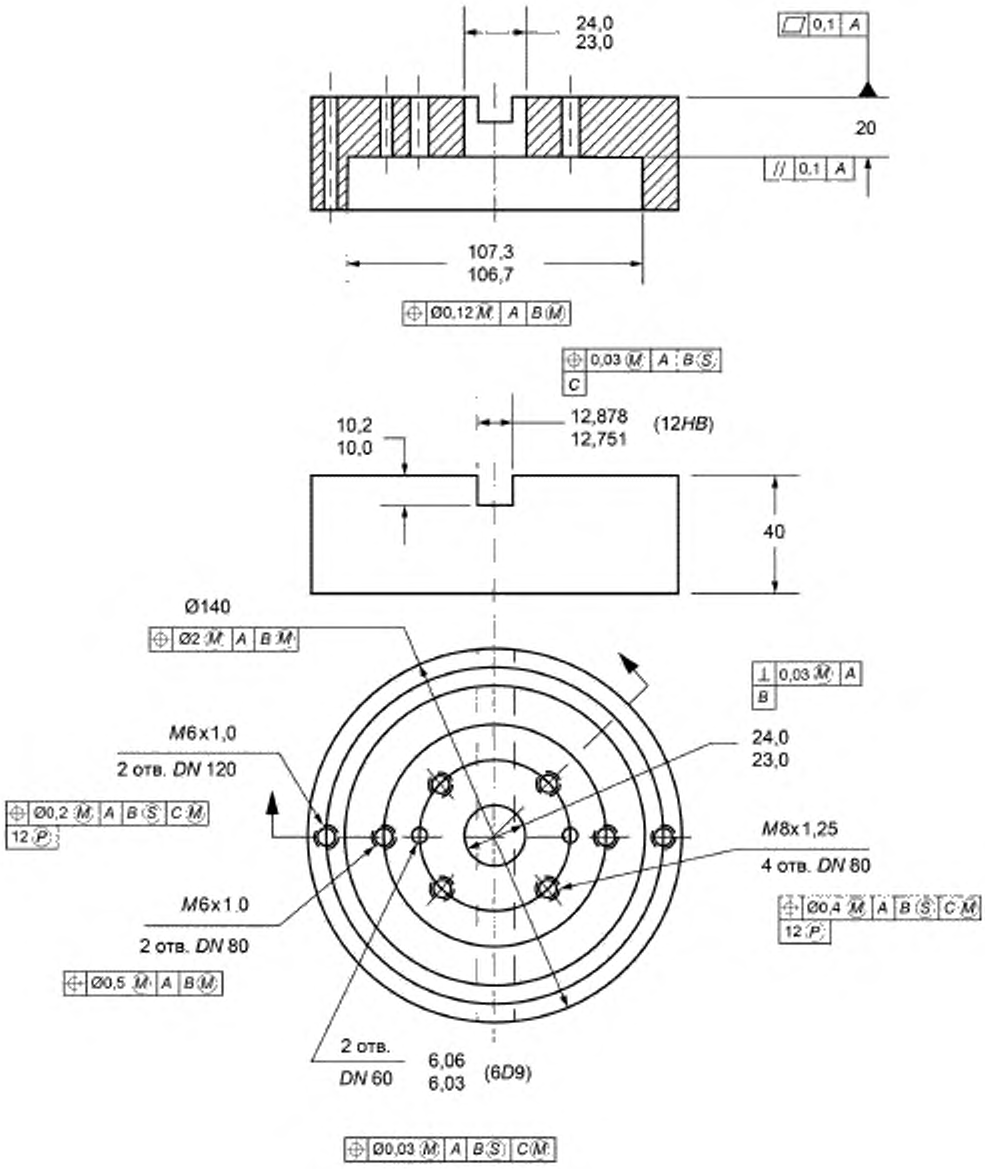

24,0
23,0
0,1 A
20
// 0,1 A
107,3
106,7
Ø0,12 M A B M
0,03 M A B S C
10,2
10,0
12,878
12,751
(12HB)
40
Ø140
Ø2 M A B M
0,03 M A B
M6x1,0
2 отв. DN 120
24,0
23,0
Ø0,2 M A B S C M 12 P
M8x1,25
4 отв. DN 80
M6x1,0
2 отв. DN 80
Ø0,4 M A B S C M 12 P
Ø0,5 M A B M
2 отв.
DN 60
6,06
6,03
(6D9)
Ø0,03 M A B S C M

Рисунок 3

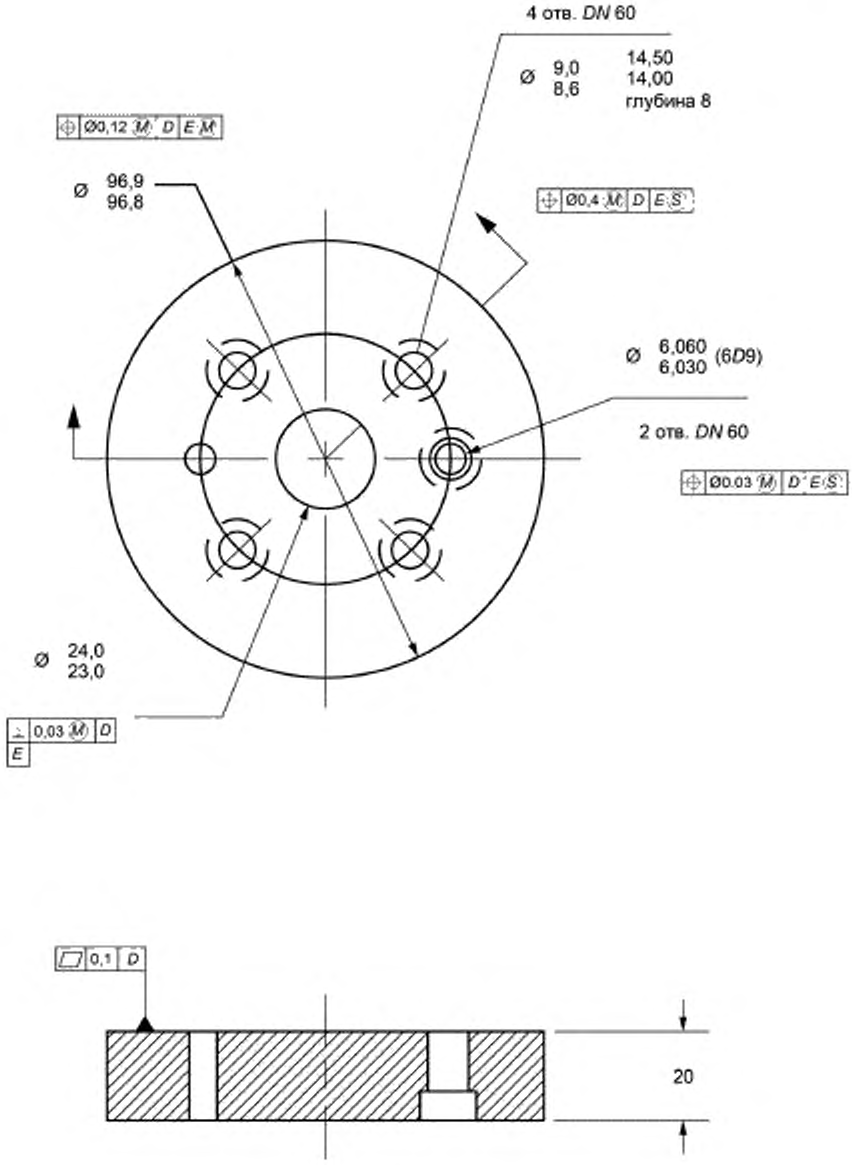


Рисунок 4

5.4 Захваты испытательной машины должны обеспечивать надежное крепление и точное центрирование образца.

Активный захват не должен создавать осевую нагрузку на образец, превышающую 5 % от прочности материала в этом направлении.

5.5 Для регистрации деформации используют тензорезисторные розетки, состоящие из трех тензорезисторов по *ГОСТ 21616*.

Тензорезисторы должны удовлетворять следующим требованиям:

- номинальная база — 5 мм;

- номинальное сопротивление — 350 Ом;
- напряжение питания — от 1 до 2 В.

5.6 Термокамера для проведения кондиционирования и испытаний при заданных условиях среды (отличных от лабораторных), обеспечивающая поддержание температуры с точностью ±3 °С и влажности с точностью ±3 %.

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

6 Подготовка к проведению испытаний

6.1 Для определения характеристик при сдвиге в плоскости армирования используют не менее пяти образцов, если иное не установлено в нормативном документе или технической документации на изделие.

6.2 Используют образцы цилиндрической формы, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

- длина — (140,0 ± 0,3) мм;
- внутренний диаметр — (100,0 ± 0,4) мм;
- толщина стенки — (2,0 ± 0,3) мм.

Образцы должны быть изготовлены намоткой ровинга, пропитанного термореактивной смолой, под углом 90°.

6.3 Кондиционирование образцов проводят по ГОСТ Р 56762 до достижения образцом равновесной влажности, если иное не установлено в нормативном документе или технической документации на изделие.

6.4 До проведения испытания по согласованию с заинтересованными сторонами или в соответствии с нормативным документом или технической документации определяют: плотность, содержание матрицы, армирующего наполнителя, пустот.

6.5 После кондиционирования, но перед испытанием, определяют внешний и внутренний диаметр, толщину стенки и длину образцов.

6.5.1 Измерение внешнего/внутреннего диаметра проводят в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, параллельных оси образца, и в четырех равноудаленных точках, расположенных между приспособлениями.

За внешний/внутренний диаметр образца принимают среднеарифметическое значение, вычисленное по результатам восьми измерений.

6.5.2 Толщину стенки образца t_c, мм, вычисляют по формуле

$$t_c = \frac{d_o - d_i}{2}, \quad (1)$$

где d_o — внешний диаметр образца, мм;

d_i — внутренний диаметр образца, мм.

6.5.3 Длину образца измеряют вдоль наружной поверхности параллельной оси образца в четырех точках, равномерно расположенных по окружности.

За длину образца принимают среднеарифметическое значение, вычисленное по результатам четырех измерений.

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

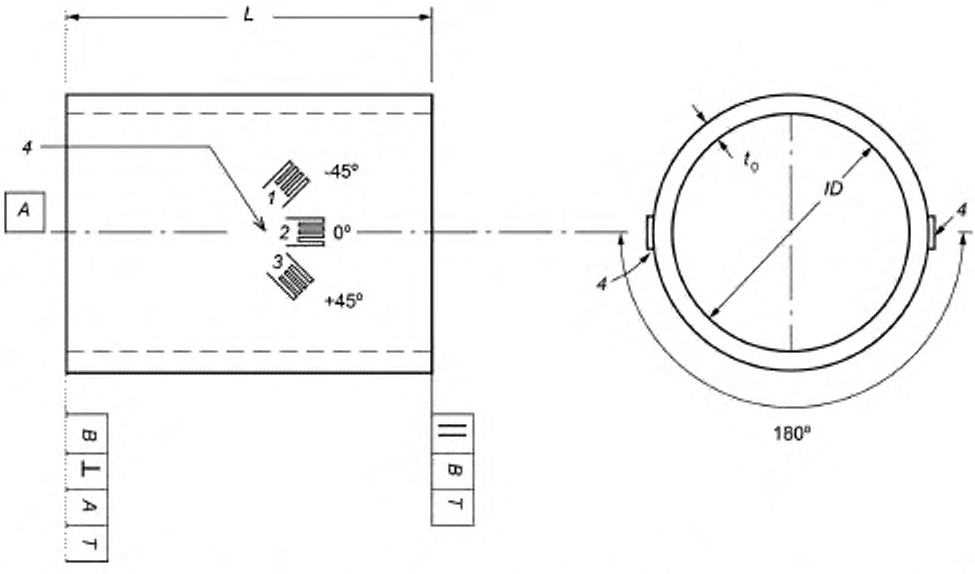
7 Проведение испытаний

7.1 Испытания проводят в тех же условиях, в которых проводилось кондиционирование образцов.

7.2 Устанавливают на образец две тензорезисторные розетки на расстоянии 180° друг от друга. Тензорезисторы устанавливают под углом минус 45°, 0° и плюс 45°, где 0° параллельно оси образца.

Пример установки тензорезисторных розеток показан на рисунке 5.

7.3 Собирают два приспособления, как показано на рисунке 1. Устанавливают два направляющих штифта в отверстия внутренней вставки так, чтобы штифты выступали из нее приблизительно на половину своей длины. Устанавливают внутреннюю вставку внутрь концентрической полости торцевой насадки таким образом, чтобы выступающие направляющие штифты входили в соответствующие

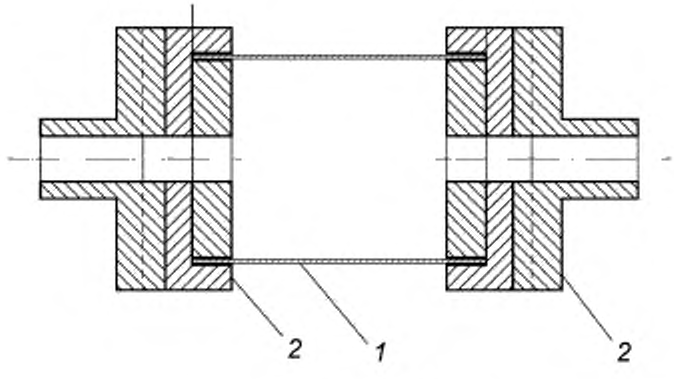


1, *2*, *3* — тензорезисторы; *4* — тензорезисторная розетка; *L* — длина (140 ± 0,3) мм; *ID* — внутренний диаметр (100 ± 0,4) мм; t_0 — толщина стенки (2,0 ± 0,3) мм; *T* — допуск 0,08 мм

Рисунок 5

отверстия в торцевой насадке. Закрепляют внутреннюю вставку на торцевой насадке с помощью четырех болтов крепления. Соединяют переходник с торцевой насадкой и закрепляют с помощью двух болтов.

7.4 Заполняют образовавшуюся полость между внутренней вставкой и торцевой насадкой адгезивом и монтируют приспособления на образец, как показано на рисунке 6.



1 — образец; *2* — приспособление

Рисунок 6

Отверждают адгезив в соответствии с нормативным документом или технической документацией. Адгезив выбирают из условия (2)

$$T_c < T_g - 28, \quad (2)$$

где T_c — температура отверждения адгезива, °С;

T_g — температура стеклования матрицы полимерного композита образца °С.

7.5 Устанавливают образец с приспособлениями в захваты испытательной машины так, чтобы их продольные оси совпали с прямой, соединяющей точки крепления захватов в испытательной машине.

7.6 Испытания проводят с постоянной скоростью деформации. Скорость деформации выбирают так, чтобы разрушение образца происходило в течении времени от 1 до 10 мин.

Рекомендуемая скорость вращения активного захвата 2 °/мин.

7.7 Нагружают образец с заданной скоростью вплоть до его разрушения.

7.8 В ходе нагружения записывают значения деформации сдвига образца в зависимости от нагрузки. Значения записывают непрерывно или через регулярные интервалы так, чтобы при проведении испытания было записано не менее 100 значений. Рекомендуемая скорость записи три значения в секунду.

При разрушении образца записывают наибольшую нагрузку, которую выдержал образец и деформацию в момент разрушения.

7.9 По окончании испытания оценивают тип и местоположение разрушения образца, используя специальное идентификационное обозначение в соответствии с рисунком 7.

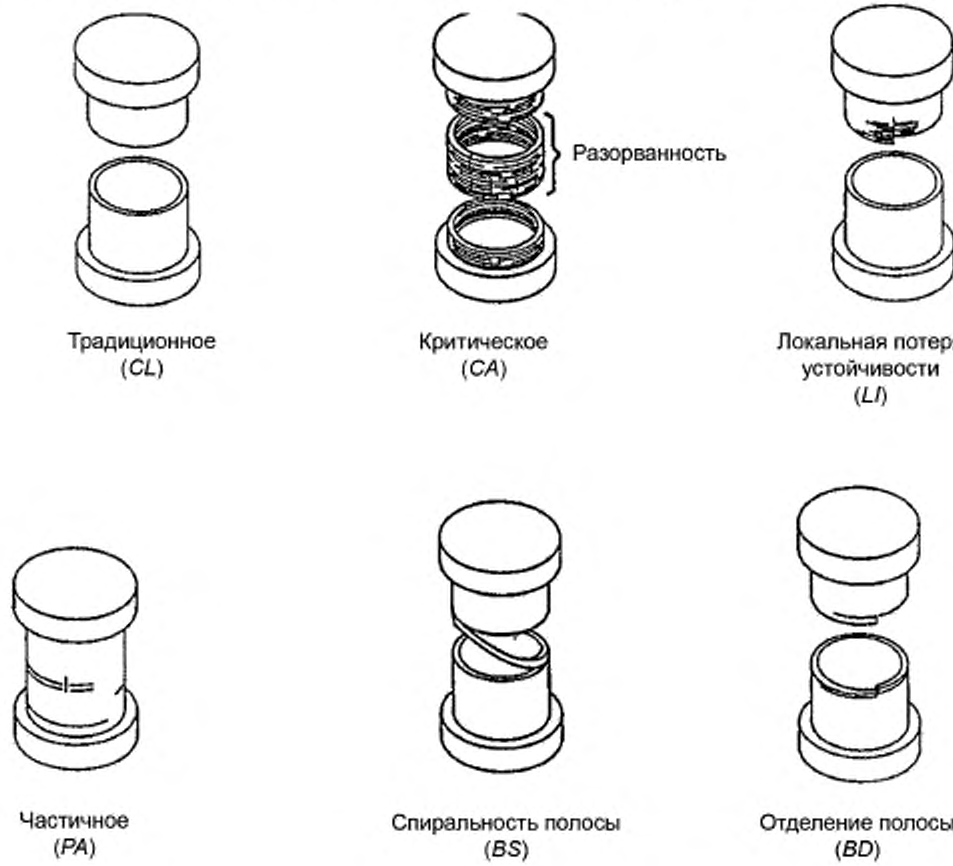


Рисунок 7

Если разрушение образца произошло в приспособлении, на расстоянии равном толщине образца от приспособления или разрушение произошло в следствии дефекта образца, результаты испытания не учитывают и проводят повторные испытания на новом образце.

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

8 Обработка результатов

8.1 Скорректированное значение деформации, измеренное тензорезистором, установленным под углом минус 45°, ε_1^i вычисляют по формуле

$$\varepsilon_1^i = \frac{\hat{\varepsilon}_1^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_1}) - K_{t_1} \cdot \hat{\varepsilon}_3^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_3})}{1 - K_{t_1} \cdot K_{t_3}}, \quad (3)$$

где $\hat{\varepsilon}_1^i$ — значение деформации, измеренное тензорезистором, установленным под углом минус 45°;

υ_o — коэффициент Пуассона материала, используемого для калибровки тензоризистора;

K_{t_1} — коэффициент поперечной чувствительности тензорезистора, установленного под углом минус 45°;

$\hat{\varepsilon}_3^i$ — значение деформации, измеренное тензорезистором, установленным под углом плюс 45°;

K_{t_3} — коэффициент поперечной чувствительности тензорезистора, установленного под углом плюс 45°;

i — порядковый номер тензорезисторной розетки, равен 1 или 2.

Скорректированное значение деформации, измеренное тензорезистором, установленным под углом 0°, ε_2^i вычисляют по формуле

$$\varepsilon_2^i = \frac{\hat{\varepsilon}_2^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_2}) - K_{t_2} \cdot [\hat{\varepsilon}_1^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_1})(1 - K_{t_3}) + \hat{\varepsilon}_3^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_3})(1 - K_{t_1})]}{(1 - K_{t_1} \cdot K_{t_3})(1 - K_{t_2})}, \quad (4)$$

где $\hat{\varepsilon}_2^i$ — значение деформации, измеренное тензорезистором, установленным под углом 0°;

K_{t_2} — коэффициент поперечной чувствительности тензорезистора, установленного под углом 0°.

Скорректированное значение деформации, измеренное тензорезистором, установленным под углом плюс 45°, ε_3^i вычисляют по формуле

$$\varepsilon_3^i = \frac{\hat{\varepsilon}_3^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_3}) - K_{t_3} \cdot \hat{\varepsilon}_1^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_1})}{1 - K_{t_1} \cdot K_{t_3}}. \quad (5)$$

8.2 Угол поворота тензорезисторной розетки θ^i, °, вычисляют по формуле

$$\theta^i = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\varepsilon_2^i - \varepsilon_1^i - \varepsilon_3^i}{\varepsilon_3^i - \varepsilon_1^i}. \quad (6)$$

Если θ^1 отличается от θ^2 более чем на 10°, результаты испытаний не учитывают.

8.3 Деформацию при сдвиге в плоскости армирования в момент разрушения γ_{12}^i вычисляют по формуле

$$\gamma_{12}^i = \sqrt{(\varepsilon_1^i - \varepsilon_3^i)^2 + (2\varepsilon_2^i - \varepsilon_1^i - \varepsilon_3^i)^2}. \quad (7)$$

Если γ_{12}^1 отличается от γ_{12}^2 более чем на 5 %, результаты испытаний не учитывают.

Среднее арифметическое значение деформации при сдвиге в плоскости армирования в момент разрушения γ_{12}^u вычисляют по формуле

$$\gamma_{12}^u = \frac{\gamma_{12}^1 + \gamma_{12}^2}{2}. \quad (8)$$

8.4 Предел прочности при сдвиге в плоскости армирования τ_{12}^u, МПа, вычисляют по формуле

$$\tau_{12}^u = \frac{16\, T_{max} \cdot d_o}{\pi (d_o^4 - d_i^4)}, \quad (9)$$

где T_{max} — максимальный момент силы, предшествующий разрушению образца, Н · м.

8.5 Модуль упругости при сдвиге в плоскости армирования G_{12}, МПа, вычисляют по формуле

$$G_{12} = \frac{\tau''_{12} - \tau'_{12}}{\gamma''_{12} - \gamma'_{12}}, \quad (10)$$

где τ''_{12} — напряжения сдвига, соответствующее деформации сдвига γ''_{12}, МПа;

τ'_{12} — напряжения сдвига, соответствующее деформации сдвига γ'_{12}, МПа.

γ'_{12} и γ''_{12} определяют по таблице 1.

Таблица 1

Деформация при сдвиге в плоскости армирования в момент разрушения	γ_{f2}	γ_{f2}
$\gamma^{u}_{12} < 0,006$	0,0005	0,0015
$0,006 \le \gamma^{u}_{12} < 0,012$	0,001	0,003
$\gamma^{u}_{12} \ge 0,012$	0,001	0,006

Если в ходе записи значений деформации сдвига образца в зависимости от нагрузки (см. 7.8) конкретные значения γ'_{12} и γ''_{12}, указанные в таблице 1, отсутствуют, то используют ближайшие к ним из имеющихся значений, информацию о которых заносят в протокол испытаний.

Диапазоны деформаций сдвига, приведенные в таблице 1, используют только для материалов, которые не имеют переходной зоны (существенного перепада наклона кривой зависимости напряжение-деформация) в указанных диапазонах. В случае наличия переходной зоны в пределах указанных диапазонов деформаций, необходимо использовать более подходящий диапазон деформаций, информацию о котором заносят в протокол испытаний.

8.6 Среднее арифметическое значение определяемого показателя (предела прочности при сдвиге, деформации при сдвиге, модуля упругости при сдвиге) вычисляют по *ГОСТ 14359—69 (подраздел 4.3)*.

8.7 Стандартное отклонение определяемого показателя (предела прочности при сдвиге, деформации при сдвиге, модуля упругости при сдвиге) вычисляют по *ГОСТ 14359—69 (подраздел 4.4)*.

8.8 Коэффициент вариации определяемого показателя (предела прочности при сдвиге, деформации при сдвиге, модуля упругости при сдвиге) вычисляют по *ГОСТ 14359—69 (подраздел 4.6)*.

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

9 Протокол испытаний

Результаты испытаний заносят в протокол испытаний, который должен содержать:

- ссылку на настоящий стандарт;
- информацию о полимерном композите образцов включающую в себя: форму, объемную долю армирующего наполнителя, содержание пустот, линейную плотность армирующего наполнителя, последовательность укладки слоев и угол намотки, партию армирующего наполнителя и смолы;
- описание способа изготовления образцов;
- информацию об оборудовании;
- информацию о кондиционировании, если проводилось;
- информацию о температуре и влажности при проведении испытаний;
- скорость нагружения образцов;
- внешний и внутренний диаметр, а также толщину стенки и длину образцов;
- предел прочности при сдвиге в плоскости армирования для каждого образца, среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации;
- деформацию при сдвиге в плоскости армирования в момент разрушения для каждого образца, среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации;
- модуль упругости при сдвиге в плоскости армирования для каждого образца, среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации, а также значения деформации, при которых модуль упругости был определен;

- график зависимости деформации от нагрузки, построенный по показаниям, снятым с каждой тензорезисторной розетки, а также график зависимости деформации от нагрузки, построенный по усредненным значениям деформации (см. 8.4)
- тип и местоположение разрушения;
- дату проведения испытаний.

Примечание — См. ДА.9 (приложение ДА).

10 Прецизионность

10.1 Проведено межлабораторное исследование на образцах одного материала (графит/эпоксидная смола).

В каждой из пяти лабораторий были испытаны по 15 образцов.

10.2 Результаты исследований приведены в таблице 2 и представляют собой сравнение двух результатов испытаний, каждое из которых является средним значением по пяти результатам испытаний.

Таблица 2

Наименование показателя	Значение показателя		
	Предел прочности при сдвиге в плоскости армирования τ_{12}^{u}	Модуль упругости при сдвиге в плоскости армирования G_{12}	Деформация при сдвиге в плоскости армирования в момент разрушения γ_{12}^{u}
Повторяемость коэффициента вариации	8,1 %	5,4 %	15,6 %
Воспроизводимость коэффициента вариации	10,0 %	7,2 %	17,7 %

Приложение ДА
(справочное)

Оригинальный текст модифицированных структурных элементов

ДА.1

1 Область применения

Настоящий метод испытания устанавливает свойства при плоскостном сдвиге композитных материалов с полимерной матрицей кольцевой намотки, армированных высокомодульным непрерывным волокном. Настоящий стандарт описывает испытание цилиндров кольцевой намотки (90°) при скручивании для определения свойств при плоскостном сдвиге.

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

ДА.2

3 Терминология

3.1 Определения — В терминологическом стандарте АСТМ Д3878 определены термины, относящиеся к высокомодульным волокнам и их композитам. В терминологическом стандарте АСТМ Д883 приведены определения терминов, относящихся к пластмассам. В терминологическом стандарте АСТМ Е6 определены термины, имеющие отношение к механическим испытаниям. Терминологический стандарт АСТМ Е456 и Практические указания Е177 определяют термины, имеющие отношение к статистике. В случае расхождения в определениях терминов терминологический стандарт АСТМ Д3878 имеет приоритет перед другими стандартами.

Примечание 1 — Если термин представляет собой физическую величину, его аналитические параметры следуют за термином (или буквенным обозначением) в форме основных величин, с использованием следующих условных обозначений стандарта АСТМ для основных величин, указанных в квадратных скобках: [*M*] — масса, [*L*] — длина, [*T*] — время, [θ] — термодинамическая температура и [nd] — безразмерные величины. Использование этих обозначений ограничено аналитическими измерениями при использовании в квадратных скобках, так как эти условные обозначения могут иметь другие определения при использовании без скобок.

3.2 Определения терминов, относящихся к данному стандарту

3.2.1 Кольцевая намотка, *n* — намотка цилиндрического компонента, где нити ориентированы по окружности.

3.2.2 Модуль плоскостного сдвига, G12 [ML-1T-2], *n* — модуль упругости при сдвиге однонаправленного материала в плоскости, определенной осями, параллельными и перпендикулярными волокнам армирования.

3.2.3 Деформация плоскостного сдвига при разрушении, $\gamma 12u$ [nd], *n* — значение деформации плоскостного сдвига при разрушении в момент приложения усилия плоскостного сдвига к материалу.

3.2.4 Прочность при плоскостном сдвиге, $\tau 12$, [ML-1T-2], *n* — прочность однонаправленного материала в момент приложения усилия плоскостного сдвига к материалу.

3.2.5 Образец — единая деталь, вырезанная из намотки в соответствии с параметрами рисунка 1. Из одной намотки можно вырезать несколько образцов.

3.2.6 Намотка — полная деталь, выполненная за одно наматывание и отверждение.

Примечание — Редакция раздела изменена для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5—2001 (подраздел 3.9).

ДА.3

4 Краткое описание метода испытаний

4.1 Тонкостенный цилиндр кольцевой намотки с номинальным диаметром 100 мм [4 дюйм] и 140 мм [5 1/2 дюйм] в длину приклеивают к двум концевым приспособлениям. Узел образца и приспособления устанавливают в испытательную установку и монотонно нагружают плоскостным сдвигом при одновременной регистрации силы. Прочность при плоскостном сдвиге определяют по максимальному усилию, выдерживаемому перед разрушением. Если деформация цилиндра контролируется тензодатчиками, можно получить характеристику «напряжение-деформация», напряжение плоскостного сдвига при разрушении и модуль плоскостного сдвига.

5 Значение и применение

5.1 Настоящий метод испытания предназначен для получения показателей свойств при плоскостном сдвиге для спецификаций материалов, научных исследований и разработок, контроля качества, расчета и анализа конструкций. К факторам, которые влияют на характеристики плоскостного сдвига, и, в этой связи, требуют занесе-

ния в протокол, относится материал, метод его подготовки, подготовка образца, кондиционирование образца, среда испытания, выравнивание и захват образца, скорость испытания, пустотность и объемная доля волокна. Свойства, в направлении испытания, которые можно получить по настоящему методу испытания, приведены далее:

5.1.2 Прочность при плоскостном сдвиге, τ_{12}^{u}.

5.1.3 Деформация плоскостного сдвига при разрушении, γ_{12}^{u}.

5.1.4 Модуль плоскостного сдвига, G_{12}

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

ДА.4

7 Аппаратура

7.1 Микрометр, подходящего шарикового типа для снятия измерений с точностью до 0,025 ± 0,010 мм [0,001 ± 0,0004 дюйма] наружного и внутреннего диаметра образца. Для измерения общей длины образца и рабочей зоны (свободной длины между приспособлениями) используют микрометрический штангенциркуль аналогичной разрешающей способности.

7.2 Приспособление для плоскостного сдвига — приспособление для плоскостного сдвига состоит из стального наружного корпуса, вставной части и переходника. Сборочный чертеж для этих компонентов и испытательного приспособления показан на рисунке 1.

7.2.1 Наружный корпус — наружный корпус (размеры в единицах СИ указаны на рисунке 2; размеры в дюймо-футах указаны на рисунке 3) имеет цилиндрическую форму с концентрической полостью на одной стороне и пазом вдоль диаметра другой стороны, с центральным сквозным отверстием. Вдоль диаметра, перпендикулярно пазу, расположены три пары небольших эксцентриковых отверстий на трех радиальных расстояниях. Две наружные пары отверстий имеют резьбу. Четыре дополнительных резьбовых отверстия находятся на том же радиальном расстоянии, что и наиболее близкая к центру пара отверстий, с интервалом 90°, начиная с 45° от диаметра, проходящего через центральный паз.

7.2.2 Вставная часть — вставная часть приспособления имеет круглую форму с центральным сквозным отверстием (размеры в единицах СИ указаны на рисунке 4; размеры в дюймо-футах указаны на рисунке 5). Две группы отверстий расположены вдоль центральной окружности.

Эти отверстия совпадают с наиболее близкой к центру группой отверстий в наружном корпусе. 4 отверстия в группе расположены на 90° друг от друга. Вставная часть крепится внутри полости наружного корпуса, образуя концентрический паз, необходимый для установки образца в приспособление для сдвига.

7.2.3 Переходник — переходник имеет круглую форму с квадратной центральной гайкой, выступающей над поверхностью, фланцем вдоль диаметра наружной поверхности и центральным отверстием (размеры в единицах СИ указаны на рисунке 6; размеры в дюймо-футах указаны на рисунке 7). Два отверстия под болты расположены на равном расстоянии от центра переходника на линии диаметра перпендикулярно оси фланца. Переходник крепится к наружному корпусу.

Фланец переходника входит в паз наружного корпуса. Полный узел образца/устройства для плоскостного сдвига показан на рисунке 1.

Примечание — Наружный корпус и вставная часть для приспособления для сжатия не отличаются от деталей, используемых для приспособлений, описанных в АСТМ Д5449/Д5449М и АСТМ Д5450/Д5450М.

7.3 Испытательное устройств состоит из следующих деталей:

7.3.1 Неподвижный элемент — неподвижная или статичная часть, относительно вращения, к которой можно прикрепить один конец узла образца/приспособления для испытания скручиванием/переходника (см. рисунок 1).

7.3.2 Поворотный элемент — поворотный элемент, к которому крепят противоположный конец узла образца/приспособления для испытаний скручиванием/переходника (см. рисунок 1). Во избежание создания осевого усилия, поворотный или неподвижный элемент должен свободно перемещаться по оси, или осевое усилие не должно превышать 5 % от осевой прочности материала.

7.3.3 Механизм привода — для передачи подвижному элементу равномерной регулируемой круговой скорости движения относительно неподвижного элемента. Круговая скорость регулируется согласно 11.6.

7.3.4 Динамометр — подходящее устройство индикации силы, показывает полную силу скручивания, которую выдерживает образец. В работе этого устройства не должно быть инерционной задержки при заданной скорости испытания. Устройство должно показывать усилие с точностью до ±1 % от фактического значения или лучше.

7.3.5 Строительные материалы — неподвижный элемент, подвижный элемент, механизм привода, приспособления и переходники изготавливают из таких материалов и в таких пропорциях, которые позволяют максимально снизить полную ее деформацию вращения системы, создаваемую этими деталями.

7.4 Устройство измерения деформации — данные отношения силы к деформации определяют с помощью наклеиваемых тензодатчиков сопротивления.

Каждый тензодатчик должен быть 6,3 мм [0,25 дюйма] в длину. Для корректировки рассогласованности тензодатчиков необходимо использовать тензорозетки (0°/45°/90°). Поверочные свидетельства тензодатчиков должны отвечать требованиям АСТМ Е251. В пунктах 7.4.1—7.4.4 приведены некоторые указания по использованию тензодатчиков на композитах.·

7.4.1 Подготовка поверхности — подготовка поверхности композитов, армированных волокном, рассматривается АСТМ Е123. Подготовка может оказывать воздействие на матрицу материала и приводить к повреждению армирующего волокна, вызывающему неправильное разрушение образцов. Армирующее волокно не должно подвергаться воздействию или повреждаться в ходе подготовки поверхности. До начала разработки набора стандартных методов подготовки поверхности установки тензодатчиков для композитных материалов, армированных волокном, следует проконсультироваться с изготовителем тензодатчиков по вопросу подготовки поверхности и рекомендуемых клеящих веществ для композитных материалов.

7.4.2 Сопротивление тензодатчиков — необходимо обратить внимание на вопрос выбора датчиков с большим сопротивлением, чтобы снизить тепловое воздействие на слабо проводящие материалы. Рекомендуется значение сопротивления не ниже 350 В. Следует дополнительно уделить внимание вопросу использования минимального напряжение возбуждения тензодатчиков, соответствующего требуемой точности (от 1 до 2 В), чтобы дополнительно снизить энергопотребление тензодатчика. Нагрев образца от тензодатчика может влиять на характеристики материала непосредственным образом, или это может влиять на показания деформации из-за разницы между коэффициентом температурной компенсации тензодатчика и коэффициента теплового расширения материала образца.

7.4.3 Учет температуры — рекомендуется рассмотреть вопрос о применении определенных форм температурной компенсации даже при проведении испытаний в стандартных лабораторных условиях. Компенсация температуры необходима при испытаниях в среде температур, отличных от температуры внешней среды.

7.4.4 Поперечная чувствительность — необходимо принимать во внимание поперечную чувствительность выбранных тензодатчиков. Для получения рекомендаций по компенсации поперечной чувствительности и ее последствий для композитных материалов необходимо получить консультацию изготовителя тензодатчиков.

7.5 Камера кондиционирования — при подготовке материала в нелабораторных условиях, необходимо использовать камеру кондиционирования с регулировкой уровня температуры/влажности, способную поддерживать необходимую температуру в пределах ±3 °С [5 °F] и необходимый уровень относительной влажности в пределах ±3 %. Условия в камере должны контролироваться либо автоматическом в непрерывном режиме, либо вручную через регулярные интервалы.

7.6 Камера для испытаний на воздействие внешней среды — для сред испытаний, отличных от внешних сред испытательной лаборатории, требуется камера для испытаний на воздействие внешних условий.

Эта камера должна поддерживать рабочую длину образца при заданных внешних условиях в ходе механических испытаний.

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

ДА.5

8 Отбор проб и образцы для испытаний

8.1 Отбор проб — проводят испытания не менее пяти образцов на одно условие испытания, если допустимые результаты нельзя получить с помощью меньшего числа образцов, как в случае с испытанием по разработанной программе. Для получения статистически значимых данных следует справляться с методиками, описанными в АСТМ Е122. Способ отбора проб необходимо внести в протокол.

Примечание — Если образцам требуется подготовка внешних условий испытания до равновесного состояния, при этом образцы имеют такие свойства и геометрические параметры, которые не позволяют достоверно измерить изменение веса образца взвешиванием самого образца, чтобы определить, что равновесное состояние достигнуто необходимо использовать технологический образец с той же номинальной толщиной обшивки и подходящего размера, но имеющий защитное покрытие на одной стороне.

8.2 Геометрические параметры — образец должен соответствовать параметрам на рисунке 8. Длина всех образцов должна составлять 140 мм [5,5 дюйма]. Длина измерительной базы — 102 мм.

Внутренний диаметр всех образцов должен составлять 100 ± 4 мм [4,000 ± 0,015 дюйма]. Образцы изготовляют в конической оправке с максимальной конусностью по длине образца 0,0005 мм/мм на диаметре. Образцы должны иметь номинальную толщину стенок 2 мм [0,08 дюйма], а фактическая толщина устанавливается параметрами намотки и проверяется в момент формирования и отверждения испытательного образца.

8.3 Намотка — все образцы должны быть образованы путем кольцевой намотки (приблизительно 90°) единственного жгута с достаточным числом слоев, образующих толщину, соответствующую критерию в пункте 8.2.

10 Кондиционирование

10.1 Рекомендуемое предварительное кондиционирование подразумевает доступную равновесную влажность при определенной относительной влажности согласно АСТМ Д5229/Д5229 М; если заказчик испытаний явно

не указывает необходимую среду предварительного кондиционирования, кондиционирование не требуется, а образец испытуют в подготовленном состоянии.

10.2 Процесс кондиционирования образца перед испытанием указывают в протоколе вместе с данными испытаний, включая уровни установленного воздействия окружающей среды и итоговое содержание влаги.

Примечание — Термин «влага», использованный в АСТМ Д5229/Д5229 М, подразумевает не только испарение жидкости и ее конденсат, но и саму жидкость в больших количествах, как при погружении.

10.3 Если процесс кондиционирования не проводится явным образом, в протоколе должно быть указано, что кондиционирование не проводилось, а содержание влаги неизвестно.

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

ДА.6

11 Методика

11.1 Параметры, которые необходимо указать перед испытанием:

11.1.1 Метод отбора проб, геометрические параметры образца и параметры испытания, используемые для определения плотности и содержания армирования.

11.1.2 Метод отбора проб для испытаний на плоскостной сдвиг.

Свойства при плоскостном сдвиге и необходимый формат представления данных.

11.1.3 Параметры испытания кондиционирования среды.

Примечание — В целях правильности выбора измерительных приборов и регистрирующего оборудования перед началом испытаний необходимо определить конкретные свойства материала, точность и требования к предоставлению данных. Также необходимо определить рабочее напряжение и уровни деформации, чтобы упростить выбор передатчиков, процесс калибровки оборудования и определения настроек оборудования.

11.2 Общие указания:

11.2.1 Любые отклонения от настоящего метода испытания заносятся в протокол.

11.2.2 Если не указано иное, для каждой намотки необходимо определить удельную плотность, а также объемную долю армирования и пустотность в процентном отношении. Материал, используемый для определения этих свойств, извлекается из центра намотки в случае, если из одной намотки извлекается несколько образцов или из одного конца намотки, если из намотки извлекается только один образец. Определяют и заносят в протокол параметры удельной плотности и плотности в соответствии с АСТМ Д792. Определяют и заносят в протокол объемную долю составляющих веществ путем гидролиза матрицы по АСТМ Д3171, или, в случае с определенными армирующими материалами, например стеклом и керамикой, методом сжигания матрицы, описанным в АСТМ Д2584. Уравнение определения объема пустот по АСТМ Д2734 применимо как для АСТМ Д2584, так и для процедуры гидролиза матрицы.

11.2.3 После процедуры кондиционирования, но до начала испытания, измеряют и заносят в протокол наружный диаметр (НД), внутренний диаметр (ВН) и длину образца. Для измерения образцов помечают две произвольные точки в пределах средних двух третей длины образца. В каждой из точек, усредняют четыре измерения наружного диаметра по оси, проходящей через данную точку, затем повторяют процедуру на оси, перпендикулярной исходной оси. Повторяют эту процедуру для внутреннего диаметра по той же оси. Вычитают среднее значение внутреннего диаметра из среднего наружного диаметра и делят оставшееся значение на 2. Это значение будет использоваться как толщина стенки, t_c. Записывают значения 4 измерений длины, выполненных с интервалом 90° по окружности образца и вычисляют их среднее значение. Это значение будет использоваться как длина образца.

11.3 Установка тензодатчиков — устанавливают тензодатчики в центр рабочего участка образца. Для устранения возникновения каких-либо нагрузок, помимо скручивающей нагрузки, рекомендуется предусматривать две тензорозетки (ориентированы, как минус 45°/0°/45°, где 0° параллелен оси образца), расставленные на 180° по внешней окружности образца, как показано на рисунке 8. Нагрузки, отличные от скручивающей нагрузки, можно определить, если одна величина деформации, измеренная на одной розетке, значительно отличается от деформации на другой.

11.4 Сборка приспособления — сборка приспособления для испытаний на сдвиг показана на рисунке 1. Устанавливают два направляющих штифта в отверстия для направляющих штифтов вставной части так, чтобы штифты выступали из нее приблизительно на половину своей длины. Установите вставную часть внутрь концентрической полости наружного корпуса таким образом, чтобы выступающие направляющие штифты входили в отверстия для направляющих штифтов в наружном корпусе. Крепят вставную часть на внешнем корпусе с помощью четырех болтов крепления. До начала испытаний, устанавливают переходник на внешний корпус так, чтобы фланец наружного корпуса входил в паз наружного корпуса. Крепят вставную часть на внешнем корпусе с помощью двух болтов крепления.

11.5 Крепление образца — крепят образец между двумя приспособлениями, как показано на рисунке 9, наполнив полости в них компаундом и плотно устанавливают концы образца на дно полостей, при этом компаунд

должен сформировать валик. Выполняют отверждение согласно спецификациям изготовления, при этом температура отверждения не должна создавать угрозу для образца.

Выполняют четыре измерения трех величин расстояния между приспособлениями с интервалом 90° по окружности образца/приспособления и вычисляют их среднее значение. Это значение будет использоваться как измерительная база.

Примечание — Компаунд должен выбираться таким образом, чтобы он мог затвердевать при температуре *Tc*, которая не более чем на 28 °C (50 °F) ниже температуры *Tg* образца, *Tc* < *Tg* – 28 °C [*Tc* < *Tg* – 50 °F]. Весьма удобно, когда по завершении испытаний компаунд можно извлечь без особых усилий. Компаунд должен иметь все свойства, достаточные для того, чтобы избежать разрушения компаунда и образца рядом с ним во время испытания.

11.6 Скорость испытания — скорость испытания должна влиять на практически постоянную скорость деформации в рабочем участке. Если деформацию невозможно контролировать в испытательной установке, можно повторно проверить и отрегулировать скорость прилагаемого момента, чтобы обеспечить практически постоянную скорость деформации, измеренную как показания тензометрического датчика в зависимости от времени. Скорости деформации выбирают таким образом, чтобы обеспечить разрушение в течение 1—10 мин. Если предельную деформацию материала невозможно определить, необходимо провести первоначальные испытания при стандартных скоростях и получить предельную деформацию материала, после чего скорость деформации можно отрегулировать. Предлагаемые стандартные скорости приведены ниже:

11.6.1 Установка постоянного момента — стандартная скорость момента 2 °/мин.

Примечание — Использование фиксированной скорости момента в испытательной системе с высокой податливостью может приводить к получению скорости деформации, которая значительно ниже требуемый величины.

11.7 Среда испытания — образец кондиционируют до необходимого условия влажности и испытывают при том же уровне воздействия кондиционирующей среды. Случаи испытаний влажных образцов при повышенных температурах предъявляют невыполнимые требования к возможностям стандартных камер кондиционирования испытательных установок. Такие случаи могут требовать изменения внешних условий механических испытаний, например проведение испытания при повышенной температуре без контроля воздействия жидкости, но с определенным ограничением по времени на разрушение после вывода из камеры кондиционирования. Изменение среды испытания фиксируют в протоколе.

Примечание — При испытании подготовленного образца при повышенной температуре без контроля воздействия жидкости, процентный объем потерь влаги образца до завершения испытания можно оценить, поместив контрольную пластину каретки известного веса в испытательную камеру одновременно с образцом. Необходимо настроить контрольную пластину так, чтобы она имитировала образец и ее влагоемкость была сопоставима с этим параметром образца. После завершения проверки, контрольная пластина каретки извлекается из камеры, взвешивается, после чего производится расчет и запись в протокол процентного веса.

11.7.1 Если зона испытания отличается от среды кондиционирования образца, образец хранят в подготовленных условиях до начала испытаний.

11.8 Регистрирующие контрольно-измерительные приборы — присоединяют регистрирующие приборы к тензодатчиками на образце и к датчику нагружения.

11.9 Нагружение — прикладывают усилие к образцу с заданной скоростью до разрушения одновременно регистрируя данные.

11.10 Запись данных — непрерывно или с регулярной периодичностью регистрируют данные отношения усилия к деформации; для данного метода испытания рекомендуется частота выборки 2—3 записи данных в секунду, и не менее 100 точек данных на одно испытание. Если при испытании образец должен быть разрушен, записывают максимальное усилие, усилие при разрушении и деформацию максимально близко к моменту значительного падения усилия. Как правило, 10 % падение усилия считается значительным.

11.11 Виды разрушения — записывают вид и место разрушения для каждого образца. По возможности выбирают стандартное описание по эскизам стандартных видов разрушения, показанных на рисунке 10. Разрушение образца в пределах одной толщины образца соединения между образцом и приспособлением обычно считается разрушением от захвата (РЗ). Разрушению от захвата обычно предшествует ненормальное состояние; поэтому такой вид разрушения считается нецелесообразным.

11.12 Демонтаж приспособления — описанный порядок является лишь рекомендательной процедурой. Извлекают два болта переходника из переходника и отсоедините переходник от наружного корпуса. Отрезают каждый конец образца на основании приспособления. Извлекают четыре крепежных болта их вставной части. Помещают наружный корпус и вставную часть в печь при температуре, которая приведет к разрушению компаунда. После достаточно длительного периода времени извлекают из печи приспособления и дают им остыть. Вставляют два разрушающих болта в наружный корпус (см. рисунок 1). Закручивают разрушающие болты, чтобы они вытолкнули вставную часть из концентрической полости наружного корпуса. Извлекают направляющие штифты из вставной части и наружного корпуса. Проволочной щеткой очищают вставную часть и наружный корпус от мусора.

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

ДА.7

13 Расчет

13.1 Компенсация поперечной чувствительности — вводят поправку показаний тензодатчиков на поперечную чувствительность отдельно для каждой розетки следующим образом:

$$\varepsilon_1^i = \frac{\tilde{\varepsilon}_1^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_2}) - K_{t_1} \cdot \tilde{\varepsilon}_3^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_3})}{1 - K_{t_1} \cdot K_{t_3}}, \tag{1}$$

$$\varepsilon_2^i = \frac{\tilde{\varepsilon}_2^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_2})}{1 - K_{t_2}} - \frac{K_{t_2} \cdot [\tilde{\varepsilon}_1^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_1})(1 - K_{t_3}) + \tilde{\varepsilon}_3^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_3})(1 - K_{t_1})]}{(1 - K_{t_1} \cdot K_{t_3})(1 - K_{t_2})},$$

$$\varepsilon_3^i = \frac{\tilde{\varepsilon}_3^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_3}) - K_{t_3} \cdot \tilde{\varepsilon}_1^i \cdot (1 - \upsilon_o K_{t_1})}{1 - K_{t_1} \cdot K_{t_3}},$$

где υ_o — коэффициент Пуассона для материала, использованного при калибровке изготовителем тензодатчиков (обычно 0,285);

$K_{t_1}, K_{t_2}, K_{t_3}$ — коэффициенты поперечной чувствительности для тензодатчиков 1, 2 и 3 соответственно (эти значения, как правило, изготовитель указывает в процентах, и их необходимо преобразовать для применения в указанных уравнениях, к примеру, K_t = 0,7 % = 0,007);

$\Delta\tilde{\varepsilon}_1^i, \Delta\tilde{\varepsilon}_2^i, \Delta\tilde{\varepsilon}_3^i$ — полученные (неоткорректированные) значения деформации от тензодатчиков 1, 2, 3 соответственно для i-й розетки.

$\varepsilon_1^i, \varepsilon_2^i, \varepsilon_3^i$ — откорректированные значения деформации для тензодатчиков 1, 2 и 3 соответственно для i-й розетки.

13.2 Расчет максимальной деформации сдвига — с помощью откорректированных показаний тензодатчиков рассчитывают отдельно для каждой розетки максимальную деформацию сдвига в материале, обусловленную прилагаемым усилием и углом к принципиальным направлениям, по формуле

$$\gamma_{12}^i = [(\varepsilon_1^i - \varepsilon_3^i)^2 + (2\varepsilon_2^i - \varepsilon_1^i - \varepsilon_3^i)^2]^{1/2}, \tag{2}$$

где γ_{12}^i — максимальная деформация сдвига для i-й розетки.

Если γ_{12}^i варьируется более чем на 5 % в различных местах установки розетки по окружности цилиндра, в пределах диапазона деформации, использованного при расчете модуля сдвига (см. пункт 13.6), поле деформации неравномерно и результаты испытания недействительны.

13.3 Вычисление угла поворота к основной плоскости — помощью откорректированных показаний тензодатчиков рассчитывают отдельно для каждой розетки угол поворота розетки к основной плоскости по формуле

$$\theta^i = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}, \tag{3}$$

где θ^i — угол поворота i-й розетки относительной основной плоскости.

Если θ^i для розетки вокруг цилиндра превышает ±10°, расчет максимальной деформации сдвига считают ненадежным, а результаты испытания недействительными.

Примечание — Формулы (2), (3), используемые для расчета максимальной деформации при сдвиге и угла поворота к основной плоскости, были разработаны специально для тензодатчиков в конфигурации, показанной на рисунке 8.

13.4 Среднюю максимальную деформацию при сдвиге в материале рассчитывают по формуле

$$\overline{\gamma}_{12} = \sum_{i=1}^{n} \gamma_{12}^i / n, \tag{4}$$

где $\overline{\gamma}_{12}$ — среднее γ_{12} для розеток;

n — число розеток на образце (обычно, 2).

Запишите среднее максимальное значение деформации сдвига при разрушении, $\overline{\gamma}_{12}^u$.

13.5 Прочность при плоскостном сдвиге — рассчитывают напряжение сдвига при разрушении, τ^{u}_{12}, по формуле

$$\tau^{u}_{12} = \frac{16\,T_{max}\cdot OD}{\pi(OD^4 - ID^4)} = \frac{T_{max}\,r_{max}}{J}, \quad (5)$$

где T_{max} — максимальный момент, прикладываемый к цилиндру;

J — полярный момент инерции,

$$J = \frac{\pi}{32}(OD^4 - ID^4), \quad (6)$$

r_{max} — максимальное радиальное расстояние,

$$r_{max} = \frac{OD}{2}, \quad (7)$$

ID и OD — средние значения внутреннего и наружного диаметров, соответственно.

13.6 Модуль плоскостного сдвига — выбирают соответствующий диапазон модуля деформации по хорде из таблицы 1. Рассчитывают модуль плоскостного сдвига по формуле

$$G_{12} = \Delta\tau_{12}/\Delta\bar{\gamma}_{12}, \quad (8)$$

где G_{12} — модуль плоскостного сдвига, МПа [фунт/дюйм^2];

$\Delta\tau_{12}$ — разница в прилагаемом нормальном напряжении между двумя точками деформации из таблицы 1, Па [фунт/дюйм^2];

$\Delta\bar{\gamma}_{12}$ — разница между двумя точками деформации при сдвиге из таблицы 1 (номинально 0,001, 0,002 или 0,005).

Если данные для конкретных конечных точек диапазона деформации отсутствуют (как это часто случается с цифровыми данными), используют ближайшие к ним из имеющихся точки данных. В протоколе фиксируют модуль сдвига до третьей значащей цифры. Указывают диапазон деформации, используемый при расчете.

13.6.1 Диапазоны деформаций в табличной форме следует использовать только для материалов, которые не проявляют наличия переходной зоны (существенного перепада наклона кривой зависимости «напряжение-деформация») в заданном диапазоне деформаций. В случае появления переходной зоны в пределах рекомендуемого диапазона деформаций, необходимо использовать более подходящий диапазон деформаций.

Модуль плоскостного сдвига (другие определения) — пользователь может использовать и заносить в протокол другие определения модуля. В случае выполнения таких расчетов и их записи в протокол, также необходимо указать используемое определение, диапазон деформаций и полученные значения до третьей значащей цифры. АСТМ Е111 содержит дополнительные указания по определению модуля упругости.

Таблица 1 — Диапазоны деформации для расчета модуля сдвига образца

Макс. деформационная способность материала при сдвиге, мк ε^A	Расчет модуля при сдвиге	
	Диапазон деформации при сдвиге	
	Начальная точка, мк ε	Конечная точка, мк ε
< 6000	500	1500
≥ 6000, но < 12 000	1000	3000
≥ 12 000	1000	6000

^{A} 1000мк ε = 0,001 абсолютной деформации.

13.7 Статистические требования — для каждой серии действительных испытаний рассчитывают среднее значение $\bar{x}$ и среднеквадратичное отклонение s, и коэффициент вариации cv для каждого значения прочности, растяжении при разрушении, модуля и коэффициента Пуассона по формулам

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} x_i; \quad (9)$$

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}\right]^{1/2}; \quad (10)$$

$$CV = S/\overline{x}, \quad (11)$$

где x_i — величина по испытанию, и

n — количество образцов.

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

ДА.8

14 Протокол

14.1 Указывают в протоколе следующую информацию:

14.1.1 Информацию о материале, включающую в себя тип, источник, код изготовителя, форму, объемную долю волокна, пустотность, число нитей, последовательность укладки слоев и угол намотки, партию волокна и смолы, а также хронологические данные.

14.1.2 Описание метода изготовления образцов, в том числе подробные сведения по обработке.

14.1.3 Плотность, объемную долю волокна и пустотность для каждой намотки.

14.1.4 Описание испытательного оборудования, включая испытательную установку, датчики нагружения, тензодатчики, систему сбора данных и оценку погрешности каждого измеренного параметра. Идентификация компаунда, радиус валика и температура отверждения.

14.1.5 Процедуру кондиционирования, если она отличается от процедуры, указанной в методе испытания.

14.1.6 Условия относительной влажности и температуры в испытательной камере. Метод испытания, тип и скорость нагружения.

14.1.7 Используемый метод испытания, включая тип и скорость нагружения.

14.1.8 Число испытанных образцов и идентификационный номер каждого образца.

14.1.9 Размеры испытательного образца — наружный диаметр, внутренний диаметр, толщина стенок (t_c), общая длина и измерительная база для каждого образца, средние значения, среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации.

14.1.10 Прочность при сдвиге для каждого образца, среднее значение, среднеквадратичное отклонение, и коэффициент вариации для действительных испытаний.

14.1.11 Разрушающую деформацию при сдвиге, среднее значение, среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации для действительных испытаний.

14.1.12 Модуль сдвига для каждого образца, среднее значение, среднеквадратичное отклонение, и коэффициент вариации для действительных испытаний. Описание определения модуля, точки или диапазона точек на кривой зависимости «нагрузка-деформация» или «напряжение-деформация».

14.1.13 Кривые зависимости полная «нагрузка-деформация» или «напряжение-деформация» для среднего по двум розеткам. Если невозможно вычислить средние кривые, необходимо занести в протокол отдельные кривые зависимости сила-деформация или напряжение-деформация, соответствующие каждому тензодатчику.

14.1.14 Вид разрушения и место разрушения в образце. Описание в соответствии с рисунком 10 видов разрушения рабочей зоны. Возможно возникновение разрушений нескольких видов. Разрушение части образца, соединенной с захватом, считается разрушение от захвата (РЗ).

14.1.15 Дату проведения испытаний.

14.1.16 Оценку качества результатов испытаний (например приемлемые, сомнительные, неверные и т. д.), отклонения от настоящего метода испытания и объяснение.

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 Техническое содержание настоящего стандарта не изменялось с 1993 года и не имело существенных возражений от заинтересованных сторон. В силу ограниченной технической поддержки ведения настоящего стандарта, изменения с этого времени были сведены к пунктам, необходимые для обеспечения соответствия с другими стандартами АСТМ Комитета Д30, включая редакционные изменения и включение обновленных указаний по предварительному кондиционированию образцов и испытаниям на воздействие окружающей среды. Поэтому, стандарт не включает в себя каких-либо значительных изменений в подходе и методе с 1993 года. Дальнейшие работы над стандартом будут проводиться только по конкретным запросам и на основе имеющихся технических данных.

1.3 Значения, приводимые в единицах СИ или фунто-дюймах, должны расцениваться как стандартные. Значения, указанные в каждой системе, могут отличаться от точных эквивалентов; в этой связи, каждая система должна использоваться независимо от других. Сочетание значений из двух систем может привести к несоответствию стандарту.

1.3.1 В тексте дюйм-фунтовые единицы приводятся в скобках.

1.4 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.

ДБ.2

6 Мешающее воздействие

6.1 Подготовка материалов и образцов — плохие методы изготовления материала, отсутствие контроля выравнивания волокон, пустоты и повреждения, вызванные неправильной обработкой образцов — это причины существенного разброса данных по композитам в целом.

6.2 Склеивание образцов с испытательным приспособлением — высокий процент разрушений в или рядом с соединением между образцом и испытательным устройством, особенно при значительном разбросе данных, указывает на плохое склеивание. Склеивание образца с приспособлением описано в 11.5.

6.3 Выравнивание системы — чрезмерный изгиб или осевое нагружение может привести к преждевременному разрушению, а также крайне неточным результатам модуля сдвига. Необходимо приложить все усилия по устранению чрезмерного изгиба и осевой нагрузки в испытательной системе. Изгибающая и осевая нагрузки могут возникать из-за неправильного положения захватов, смещения образца в испытательном устройстве из-за отклонения образцов от требований к допускам. Выравнивание требует проверки согласно 13.2.

ДБ.3

9 Калибровка

9.1 Точность всех средств измерений должна подтверждаться калибровками, которые должны совпадать с моментом использования таких средств.

ДБ.4

12 Проверка

12.1 Значения предельных свойств не рассчитывают для образца, который разрушился по какому-либо очевидному дефекту, если такой дефект не является исследуемым параметром. Повторное испытание проводят для всех образцов, значения для которых не рассчитывают.

12.2 Значительная часть разрушений образцов в выборке, происходящих в пределах одной толщины образца соединения между образцом и испытательным приспособлением, должна быть причиной для пересмотра средств приложения усилия на материал. К возможным факторам следует отнести выравнивание образцов в приспособлении, выравнивание приспособлений в захватах, а также материал, используемый для соединения образца и приспособления.

Приложение ДВ
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ

Таблица ДВ.1

Структура настоящего стандарта	Структура стандарта ASTM D5448/D5448M-11
4 Сущность метода (4,5)	4 Краткое описание метода испытаний
	5 Значение и применение
*	6 Мешающее воздействие
5 Оборудование (7)	7 Аппаратура
6 Подготовка к проведению испытаний (8,10)	8 Отбор проб и образцы для испытаний
*	9 Калибровка
7 Проведение испытаний (11)	10 Кондиционирование
	11 Методика
*	12 Проверка
8 Обработка результатов (13)	13 Расчет
9 Протокол испытаний (14)	14 Протокол
10 Прецизионность (14)	15 Точность и систематическая погрешность
**	16 Ключевые слова
Приложение ДА (справочное) Оригинальный текст модифицированных структурных элементов	
Приложение ДБ (справочное) Оригинальный текст невключенных структурных элементов	
Приложение ДВ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ	
Приложение ДГ (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов стандартам АСТМ, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте АСТМ	

* Данный раздел исключен, т. к. носит справочный характер.
** Данный раздел приведен в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 5.6.2).

Примечания
1 Сопоставление структуры стандартов приведено, начиная с раздела 4, 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 и межгосударственного стандартов	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного стандарта АСТМ
ГОСТ 32794—2014	NEQ	ASTM D883 «Пластмассы. Термины», D3878 «Композитные материалы. Термины»
ГОСТ Р 56762—2016	MOD	ASTM D5229/D5229 M «Метод испытания свойств поглощения влаги и создание условий равновесия композитов с полимерной матрицей»
Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов: - MOD — модифицированный стандарт; - NEQ — неэквивалентный стандарт.		

УДК 678.017:006.354 ОКС 83.120

Ключевые слова: композиты полимерные, определение характеристик при сдвиге в плоскости армирования

БЗ 9—2017/257

Редактор *А.А. Кабанов*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 02.10.2017. Подписано в печать 24.10.2017. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,95. Тираж 21 экз. Зак. 2050.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123001 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru)@gostinfo.ru

gost.e-ecolog.ru