ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56798— 2015

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Метод определения механических характеристик при изгибе «сэндвич»-конструкций

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «НПО Стеклопластик» совместно с Объединением юридических лиц «Союз производителей композитов» на основе аутентичного перевода на русский язык указанного в пункте 4 стандарта, который выполнен ТК 497

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 27 ноября 2015 г. № 2055-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту АСТМ Д7250/Д7250М–06 (12) «Стандартный метод определения жесткости изгиба и сдвига сэндвич-балки» (ASTM D7250/D7250M–06 (12) «Standard Practice for Determining Sandwich Beam Flexural and Shear Stiffness») путем изменения его структуры для приведения в соответствие с правилами, установленными в ГОСТ Р 1.5 (подраздел 3.1) и изменения содержания отдельных структурных элементов, которые выделены вертикальной линией, расположенной на полях напротив соответствующего текста, а также невключения отдельных структурных элементов и ссылок.

Оригинальный текст невключенных, модифицированных структурных элементов стандарта АСТМ и объяснения причин внесения технических отклонений приведены в дополнительных приложениях ДА и ДБ.

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). 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 (www.gost.ru)

© Стандартинформ, 2016

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 испытаний ... 2
6 Проведение испытаний ... 3
7 Обработка результатов ... 4
8 Протокол испытаний ... 10
Приложение А (обязательное) Внесение поправок на нижнем участке графика зависимости силы от деформации ... 11
Приложение ДА (справочное) Оригинальный текст невключенных структурных элементов ... 12
Приложение ДБ (справочное) Оригинальный текст модифицированных структурных элементов ... 14
Приложение ДВ (справочное) Сравнение структуры настоящего стандарта со структурой примененного стандарта АСТМ ... 23

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Метод определения механических характеристик при изгибе «сэндвич»-конструкций

Polymer composites. Method for determination the mechanical characteristics of sandwich constructions flexural

Дата введения — 2017—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на полимерные композиты и устанавливает метод определения механических характеристик при изгибе «сэндвич»-конструкций.

Настоящий стандарт распространяется на «сэндвич»-конструкции, которые имеют линейную зависимость деформации от нагрузки.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 56791—2015 Композиты полимерные. Определение механических характеристик при сдвиге материала внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции методом испытания балки на изгиб *(ASTM C393/C393M–11e1 «Стандартный метод определения характеристик при сдвиге внутреннего слоя «сэндвич»-конструкций испытанием балки на изгиб», MOD)*

ГОСТ Р 56680—2015 Композиты полимерные. Определение механических характеристик при изгибе материала внешнего слоя «сэндвич»-конструкции методом испытания длинной балки на изгиб *(АСТМ Д7249/Д7249М–12е1 «Стандартный метод определения характеристик при изгибе внешнего слоя «сэндвич»-конструкций испытанием длинной балки на изгиб», MOD)*

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 том, что образец подвергают трех- или четырехточечному изгибу, при этом определяют:

- жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции;
- жесткость при сдвиге в направлении, поперечном плоскости «сэндвич»-конструкции (далее — поперечная жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции);
- модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции.

4 Оборудование

Оборудование — по ГОСТ Р 56791 (раздел 4) и/или ГОСТ Р 56680 (раздел 4).

Издание официальное

5 Подготовка к проведению испытаний

5.1 Подготовка образцов

5.1.1 Для определения механических характеристик «сэндвич»-конструкций при изгибе испытывают не менее пяти образцов, если иное не установлено в нормативном документе или технической документации на испытуемое изделие.

5.1.2 Образцы должны иметь ровную поверхность, без сколов, трещин и других дефектов, заметных невооруженным глазом.

Все поверхности образцов должны быть плоскими, взаимно перпендикулярными и параллельными.

5.1.3 Толщина образца должна быть равна толщине изделия и при этом должны выполняться условия (1) и (2)

$$\frac{L}{T} < 20, \tag{1}$$

где L — длина нагружаемого пролета, мм;
T — толщина образца, мм.

$$\frac{t}{c} < 0{,}1, \tag{2}$$

где t — толщина материала внешнего слоя «сэндвич»-конструкции, мм;
c — толщина материала внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции, мм.

5.1.4 Ширину образца $W_{обр}$, мм, выбирают из условий (3) и (4):

$$2T < W_{обр} < \frac{1}{2}S, \tag{3}$$

где T — толщина образца, мм;
S — длина пролета, мм.

$$3a < W_{обр} < \frac{1}{2}S, \tag{4}$$

где a — длина соты материала внутреннего слоя образца, мм.

5.1.5 За длину образца $L_{обр}$, мм, принимают наибольшее значение, вычисленное по формулам (5) и (6):

$$L_{обр} = S + 50, \tag{5}$$

$$L_{обр} = S + \frac{1}{2}T. \tag{6}$$

5.1.6 Образцы должны иметь маркировку.

Маркировка должна содержать порядковый номер образца, сведения о материале, из которого образец был получен.

Маркировка должна сохраняться в течение всего испытания, во всех условиях и режимах, установленных настоящим стандартом.

5.1.7 При неизвестном значении модуля упругости внешних слоев образца, образцы должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 56791 и/или ГОСТ Р 56680. При этом готовят по пять образцов для каждой схемы нагружения.

5.2 Условия кондиционирования и испытаний

5.2.1 Кондиционируют образцы по ГОСТ Р 56791 (подраздел 5.2).

5.2.2 Условия проведения испытаний — по ГОСТ Р 56791 (пункт 6.2).

6 Проведение испытаний

6.1 Испытания при неизвестном значении модуля упругости внешних слоев

6.1.1 При неизвестном значении модуля упругости внешних слоев образца испытания проводят по ГОСТ Р 56791 и/или ГОСТ Р 56680 не менее чем по двум схемам нагружения (стандартная и нестандартная).

6.1.2 При испытании допускается использовать образцы по 5.1.1—5.1.6, при этом образцы, за исключением последнего, до разрушения не доводят.

6.1.3 Испытания образцов по 5.1.1—5.1.6 проводят по следующим комбинациям двух схем нагружения:

а) схема 1: испытание каждого образца на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56680 (стандартная схема нагружения); схема 2: испытание на трехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 (стандартная схема нагружения) или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения).

При испытании на четырехточечный изгиб устанавливают длину нагружаемого пролета L, равную $2S/11$, где S — длина пролета;

б) испытание каждого образца на трехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 (стандартная схема нагружения) и на трехточечный изгиб по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения).

За испытание по схеме 1 принимают испытание на трехточечный изгиб с наименьшей длиной пролета;

в) схема 1: испытание каждого образца на трехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 (стандартная схема нагружения) или ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения); схема 2: испытание на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 (нестандартная схема нагружения, вариант 1) или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения, вариант 1).

При испытании на четырехточечный изгиб устанавливают длину нагружаемого пролета L, равную $S/2$, где S — длина пролета;

г) схема 1: испытание каждого образца на трехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 (стандартная схема нагружения) или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения); схема 2: испытание на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 (нестандартная схема нагружения, вариант 2) или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения, вариант 2).

При испытании на четырехточечный изгиб устанавливают длину нагружаемого пролета L, равную $S/3$, где S — длина пролета;

д) схема 1: испытание каждого образца на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 (нестандартная схема нагружения, вариант 1) или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения, вариант 1); схема 2: испытание на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 (нестандартная схема нагружения, вариант 2) или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения, вариант 2).

При испытании на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения, вариант 1) устанавливают длину нагружаемого пролета L, равную $S/4$, где S — длина пролета, при испытании на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения, вариант 2) устанавливают длину нагружаемого пролета L, равную $S/3$, где S — длина пролета;

е) схема 1: испытание каждого образца на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56680 (стандартная схема нагружения); схема 2: испытание на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 (нестандартная схема нагружения, вариант 2) или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения, вариант 2).

При испытании на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56680 (стандартная схема нагружения) устанавливают длину нагружаемого пролета L, равную $2S/11$, где S — длина пролета, при испытании на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения, вариант 2) устанавливают длину нагружаемого пролета L, равную $S/3$, где S — длина пролета;

ж) схема 1: испытание каждого образца на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56680 (стандартная схема нагружения); схема 2: испытание на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 (нестандартная схема нагружения, вариант 1) или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения, вариант 1).

При испытании на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56680 (стандартная схема нагружения) устанавливают длину нагружаемого пролета L, равную $2S/11$, где S — длина пролета, при испытании на четырехточечный изгиб по ГОСТ Р 56791 или по ГОСТ Р 56680 (нестандартная схема нагружения, вариант 1) устанавливают длину нагружаемого пролета L, равную $S/2$, где S — длина пролета.

6.2 При известном значении модуля упругости внешнего слоя образца, испытания проводят по ГОСТ Р 56791 по стандартной схеме нагружения.

6.3 Для каждого образца записывают значение деформации в зависимости от нагрузки. При отклонении диаграммы от линейной испытания прекращают и образец разгружают.

Значения регистрируют непрерывно или через регулярные интервалы, так чтобы при проведении испытания было записано не менее десяти значений.

При испытании по 6.1.1 значения деформации образцов, испытуемых по разным схемам нагружения, записывают при одинаковых значениях нагрузки.

7 Обработка результатов

7.1 Общие положения

7.1.1 При неизвестном значении модуля упругости внешнего слоя обработку результатов проводят по 7.2.

При известном значении модуля упругости внешнего слоя обработку результатов проводят по 7.3.

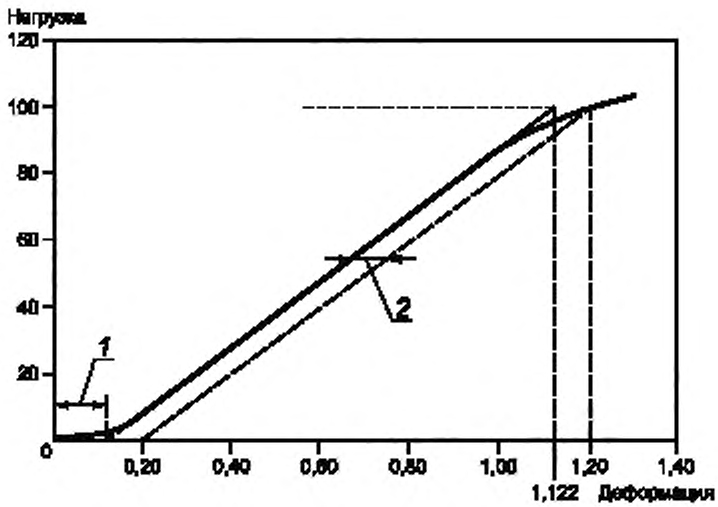
7.1.2 Расчеты приведены для материалов внутреннего и внешнего слоев «сэндвич»-конструкций, которые имеют линейную зависимость деформации от нагрузки.

7.2 При неизвестном значении модуля упругости внешнего слоя

7.2.1 По графику зависимости деформации от нагрузки определяют отклонение от линейности, как показано на рисунке 1. Отклонение от линейности определяется в диапазоне нагрузок, при которых рассчитывают жесткость.

Примечание — Отклонение от линейности равно отношению разности деформации и деформации в линейной плоскости и разности деформации и поправки на изначальную нелинейность. Например, отклонение от нелинейности = (1,200–1,122)/(1,200–0,120)=7,2 % (см. рисунок 1).

Зависимость деформации от нагрузки считают линейной, если максимальное отклонение составляет не более 10 %.



1 — поправка на изначальную нелинейность; *2* — отклонение от линейности

Рисунок 1 — Отклонение от линейности

7.2.2 Если образцы по 5.1.1—5.1.6 испытывают по двум схемам нагружения

7.2.2.1 Для каждого образца вычисляют жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции, поперечную жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции и модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции (см. 7.2.6—7.2.12) для серии приложенных нагрузок (см. 6.3) на линейном участке диаграммы.

7.2.2.2 По результатам испытания всех образцов (см. 5.1) вычисляют среднеарифметическое значение жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции, поперечной жесткости при сдвиге «сэндвич»-

конструкции и модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции, а также стандартное отклонение и коэффициент вариации (см. 7.4—7.6) для каждого значения нагрузки.

7.2.2.3 Если «сэндвич»-конструкция имеет линейную зависимость деформации от нагрузки, то по результатам вычисления (см. 7.2.2.2) среднеарифметического значения жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции, поперечной жесткости при сдвиге «сэндвич»-конструкции и модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции вычисляют среднеарифметическое значение жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции, поперечной жесткости при сдвиге «сэндвич»-конструкции и модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции для всего диапазона приложенных нагрузок.

7.2.3 Если образцы по 5.1.1—5.1.6 испытывают по трем и более схемам нагружения

7.2.3.1 Для каждого образца и каждой пары схем нагружения вычисляют жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции, поперечную жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции и модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции (см. 7.2.6—7.2.12) для серии приложенных нагрузок (см. 6.3) на линейном участке диаграммы.

7.2.3.2 По результатам испытания образца по всем парам схем нагружения вычисляют среднеарифметическое значение жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции, поперечной жесткости при сдвиге «сэндвич»-конструкции и модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции для каждого значения нагрузки.

7.2.3.3 По результатам вычисления (см. 7.2.3.2) среднеарифметического значения жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции, поперечной жесткости при сдвиге «сэндвич»-конструкции и модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции для всех образцов вычисляют среднеарифметическое значение жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции, поперечной жесткости при сдвиге «сэндвич»-конструкции и модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции для каждого значения нагрузки.

7.2.3.4 По результатам вычисления (см. 7.2.3.3) среднеарифметического значения жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции, поперечной жесткости при сдвиге «сэндвич»-конструкции и модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции вычисляют среднеарифметическое значение жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции, поперечной жесткости при сдвиге «сэндвич»-конструкции и модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции для всего диапазона приложенных нагрузок.

7.2.4 Испытание по двум схемам нагружения, для каждой из которых используют отдельный набор образцов (см. 5.1.7)

По результатам испытания образцов для каждой схемы нагружения строят график зависимости деформации от нагрузки. Проводят вычисления по 7.2.2.

7.2.5 Испытание по трем и более схемам нагружения, для каждой из которых используют отдельный набор образцов

Выполняют процедуры по 7.2.3 и 7.2.4.

7.2.6 Испытание образцов в соответствии с комбинацией схем нагружения, указанной в перечислении а), 6.1.3

7.2.6.1 Жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции D, Н · мм^2, вычисляют по формуле

$$D = \frac{3P_1S_1^3\left[141 - \dfrac{121S_2^2}{S_1^2}\right]}{1936\Delta_1\left[11 - \dfrac{9P_1S_1\Delta_2}{P_2S_2\Delta_1}\right]}, \quad (7)$$

где P_1 — нагрузка при испытании по схеме 1 (см. перечисление а), 6.1.3), Н;

S_1 — длина пролета при испытании по схеме 1 (см. перечисление а), 6.1.3), мм;

S_2 — длина пролета при испытании по схеме 2 (см. перечисление а), 6.1.3), мм;

Δ_1 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_1, при испытании по схеме 1 (см. перечисление а), 6.1.3), мм;

Δ_2 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_2, при испытании по схеме 2 (см. перечисление а), 6.1.3), мм;

P_2 — нагрузка при испытании по схеме 2 (см. перечисление а), 6.1.3), Н.

7.2.6.2 Поперечную жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции U, Н, вычисляют по формуле

$$U = \frac{9P_1S_1\left[\frac{141S_1^2}{S_2^2} - 121\right]}{4\Delta_1\left[1269\cdot\frac{P_1S_1^3\Delta_2}{P_2S_2^3\Delta_1} - 1331\right]}, \quad (8)$$

7.2.6.3 Модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции G, МПа, вычисляют по формуле

$$G = \frac{U(d-2t)}{(d-t)^2 b}, \quad (9)$$

где d — толщина «сэндвич»-конструкции, мм;
t — толщина внешнего слоя «сэндвич»-конструкции, мм;
b — ширина «сэндвич»-конструкции, мм.

7.2.7 Испытание образцов в соответствии с комбинацией схем нагружения, указанной в перечислении б), 6.1.3

7.2.7.1 Жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции D, Н·мм^2, вычисляют по формуле

$$D = \frac{P_1S_1^3\left[1 - \frac{S_2^2}{S_1^2}\right]}{48\Delta_1\left[1 - \frac{P_1S_1\Delta_2}{P_2S_2\Delta_1}\right]}, \quad (10)$$

где P_1 — нагрузка, при испытании по схеме 1 (см. перечисление б), 6.1.3), Н;
S_1 — длина пролета при испытании по схеме 1 (см. перечисление б), 6.1.3) (при условии, что $S_1 < S_2$), мм;
S_2 — длина пролета при испытании по схеме 2 (см. перечисление б), 6.1.3), мм;
Δ_1 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_1, при испытании по схеме 1 (см. перечисление б), 6.1.3), мм;
Δ_2 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_2, при испытании по схеме 2 (см. перечисление б), 6.1.3), мм;
P_2 — нагрузка при испытании по схеме 2 (см. перечисление б), 6.1.3), Н.

7.2.7.2 Поперечную жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции U, Н, вычисляют по формуле

$$U = \frac{P_1S_1\left[\frac{S_1^2}{S_2^2} - 1\right]}{4\Delta_1\left[\frac{P_1S_1^3\Delta_2}{P_2S_2^3\Delta_1} - 1\right]}, \quad (11)$$

Модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции G, МПа, вычисляют по формуле (9).

7.2.8 Испытание образцов в соответствии с комбинацией схем нагружения, указанной в перечислении в), 6.1.3

7.2.8.1 Жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции D, Н·мм^2, вычисляют по формуле

$$D = \frac{P_1S_1^3\left[1 - \frac{11S_2^2}{8S_1^2}\right]}{48\Delta_1\left[1 - \frac{2P_1S_1\Delta_2}{P_2S_2\Delta_1}\right]}, \quad (12)$$

где P_1 — нагрузка, при испытании по схеме 1 (см. перечисление в), 6.1.3), Н;

S_1 — длина пролета при испытании по схеме 1 (см. перечисление в), 6.1.3), мм;
S_2 — длина пролета при испытании по схеме 2 (см. перечисление в), 6.1.3), мм;
Δ_1 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_1, при испытании по схеме 1 (см. перечисление в), 6.1.3), мм;
Δ_2 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_2, при испытании по схеме 2 (см. перечисление в), 6.1.3), мм;
P_2 — нагрузка, при испытании по схеме 2 (см. перечисление в), 6.1.3), Н.

7.2.8.2 Поперечная жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции U, Н, вычисляют по формуле

$$U = \frac{P_1 S_1 \left(\frac{8S_1^2}{11S_2^2} - 1\right)}{4\Delta_1 \left(\frac{16P_1 S_1^3 \Delta_2}{11P_2 S_2^3 \Delta_1} - 1\right)}, \quad (13)$$

Модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции G, МПа, вычисляют по формуле (9).

7.2.9 Испытание образцов в соответствии с комбинацией схем нагружения, указанной в перечислении г), 6.1.3

7.2.9.1 Жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции D, Н·мм^2, вычисляют по формуле

$$D = \frac{P_1 S_1^3 \left(1 - \frac{23S_2^2}{18S_1^2}\right)}{48\Delta_1 \left(1 - \frac{3P_1 S_1 \Delta_2}{2P_2 S_2 \Delta_1}\right)}, \quad (14)$$

где P_1 — нагрузка при испытании по схеме 1 (см. перечисление г), 6.1.3), Н;
S_1 — длина пролета при испытании по схеме 1 (см. перечисление г), 6.1.3), мм;
S_2 — длина пролета при испытании по схеме 2 (см. перечисление г), 6.1.3), мм;
Δ_1 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_1, при испытании по схеме 1 (см. перечисление г), 6.1.3), мм;
Δ_2 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_2, при испытании по схеме 2 (см. перечисление г) 6.1.3), мм;
P_2 — нагрузка при испытании по схеме 2 (см. перечисление г) 6.1.3), Н.

7.2.9.2 Поперечную жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции U, Н, вычисляют по формуле

$$U = \frac{P_1 S_1 \left(\frac{18S_1^2}{23S_2^2} - 1\right)}{4\Delta_1 \left(\frac{27P_1 S_1^3 \Delta_2}{23P_2 S_2^3 \Delta_1} - 1\right)}, \quad (15)$$

7.2.9.3 Модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции G, МПа, вычисляют по формуле (9).

7.2.10 Испытание образцов в соответствии с комбинацией схем нагружения, указанной в перечислении д), 6.1.3

7.2.10.1 Жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции D, Н·мм^2, вычисляют по формуле

$$D = \frac{99P_1 S_1^3 \left(1 - \frac{92S_2^2}{99S_1^2}\right)}{6912\Delta_1 \left(1 - \frac{3P_1 S_1 \Delta_2}{4P_2 S_2 \Delta_1}\right)}, \quad (16)$$

где P_1 — нагрузка при испытании по схеме 1 (см. перечисление д), 6.1.3), Н;
S_1 — длина пролета при испытании по схеме 1 (см. перечисление д), 6.1.3), мм;

S_2 — длина пролета при испытании по схеме 2 (см. перечисление д), 6.1.3), мм;

Δ_1 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_1, при испытании по схеме 1 (см. перечисление д), 6.1.3), мм;

Δ_2 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_2, при испытании по схеме 2 (см. перечисление д), 6.1.3), мм;

P_2 — нагрузка при испытании по схеме 2 (см. перечисление д) 6.1.3), Н.

7.2.10.2 Поперечная жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции U, Н, вычисляют по формуле

$$U = \frac{P_1 S_1 \left(\frac{99 S_1^2}{92 S_2^2} - 1 \right)}{2\Delta_1 \left(\frac{297 P_1 S_1^3 \Delta_2}{368 P_2 S_2^3 \Delta_1} - 1 \right)}. \quad (17)$$

7.2.10.3 Модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции G, МПа, вычисляют по формуле (9).

7.2.11 Испытание образцов в соответствии с комбинацией схем нагружения, указанной в перечислении е), 6.1.3

7.2.11.1 Жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции D, Н·мм^2, вычисляют по формуле

$$D = \frac{P_1 S_1^3 \left(2538 - \frac{2783 S_2^2}{S_1^2} \right)}{5808\Delta_1 \left(22 - \frac{27 P_1 S_1 \Delta_2}{P_2 S_2 \Delta_1} \right)}, \quad (18)$$

где P_1 — нагрузка при испытании по схеме 1 (см. перечисление е), 6.1.3), Н,

S_1 — длина пролета при испытании по схеме 1 (см. перечисление е), 6.1.3), мм;

S_2 — длина пролета при испытании по схеме 2 (см. перечисление е), 6.1.3), мм;

Δ_1 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_1, при испытании по схеме 1 (см. перечисление е), 6.1.3), мм;

Δ_2 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_2, при испытании по схеме 2 (см. перечисление е), 6.1.3), мм;

P_2 — нагрузка при испытании по схеме 2 (см. перечисление е), 6.1.3), Н.

Поперечную жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции U, Н, вычисляют по формуле

$$U = \frac{9 P_1 S_1 \left(\frac{2538 S_1^2}{S_2^2} - 2783 \right)}{4\Delta_1 \left(34263 \frac{P_1 S_1^3 \Delta_2}{P_2 S_2^3 \Delta_1} - 30613 \right)}. \quad (19)$$

Модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции G, МПа, вычисляют по формуле (9).

7.2.12 Испытание образцов в соответствии с комбинацией схем нагружения, указанной в перечислении ж), 6.1.3

7.2.12.1 Жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции D, Н·мм^2, вычисляют по формуле

$$D = \frac{3 P_1 S_1^3 \left(1128 - \frac{1331 S_2^2}{S_1^2} \right)}{15488\Delta_1 \left(11 - \frac{18 P_1 S_1 \Delta_2}{P_2 S_2 \Delta_1} \right)}, \quad (20)$$

где P_1 — нагрузка при испытании по схеме 1 (см. перечисление ж), 6.1.3), Н;

S_1 — длина пролета при испытании по схеме 1 (см. перечисление ж), 6.1.3), мм;

S_2 — длина пролета при испытании по схеме 2 (см. перечисление ж), 6.1.3), мм;

Δ_1 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_1, при испытании по схеме 1 (см. перечисление ж) 6.1.3), мм;

Δ_2 — деформация образца в середине пролета, соответствующая нагрузке P_2, при испытании по схеме 2 (см. перечисление ж), 6.1.3), мм;

P_2 — нагрузка, при испытании по схеме 2 (см. перечисление ж), 6.1.3), Н.

7.2.12.2 Поперечную жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции U, Н, вычисляют по формуле

$$U = \frac{9P_1S_1\left(\frac{1128S_1^2}{S_2^2} - 1331\right)}{4\Delta_1\left(20304\frac{P_1S_1^3\Delta_2}{P_2S_2^3\Delta_1} - 14641\right)}. \quad (21)$$

Модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции G, МПа, вычисляют по формуле (9).

7.3 При известном значении модуля упругости внешнего слоя

7.3.1 Жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции D, Н·мм^2, вычисляют по формуле

$$D = \frac{E\cdot(d^3 - c^3)\cdot b}{12}. \quad (22)$$

где E — модуль упругости материала внешнего слоя «сэндвич»-конструкции, МПа;

c — толщина материала внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции, мм.

Толщину материала внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции c, мм, вычисляют по формуле

$$c = d - 2t, \quad (23)$$

где d — толщина «сэндвич»-конструкции, мм;

t — толщина внешнего слоя «сэндвич»-конструкции, мм.

7.3.2 Поперечную жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции U, Н, вычисляют по формуле

$$U = \frac{PS}{4\left[\Delta - \frac{2PS^3}{96D}\right]}. \quad (24)$$

7.3.3 Модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции G, МПа, вычисляют по формуле (9).

7.4 Среднеарифметическое значение жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции $\overline{D}$ (поперечной жесткости при сдвиге $\overline{U}$, модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции $\overline{G}$), Н·мм^2 (Н, МПа) вычисляют по формуле

$$\overline{D}(\overline{U},\overline{G}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_i(U_i,G_i)}{n}. \quad (25)$$

где $D_i(U_i, G_i)$ — значение жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции (поперечной жесткости при сдвиге, модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции), Н·мм^2 (Н, МПа);

n — число образцов.

Результат округляют до третьей значащей цифры.

7.5 Стандартное отклонение жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции S_D (поперечной жесткости при сдвиге S_U, модуля сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции S_G), Н·мм^2 (Н, МПа), вычисляют по формуле

$$S_D(S_U, S_G) = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}\left[D_i(U_i,G_i)\right]^2 - n\left[\overline{D}(\overline{U},\overline{G})\right]^2\right)}{n-1}}. \quad (26)$$

Результат округляют до третьей значащей цифры.

7.6 Коэффициент вариации $K_{B_{D(U,G)}}$, %, вычисляют по формуле

$$K_{B_{D(U,G)}} = \frac{S_D(S_U, S_G)}{D(U,G)} \cdot 100. \quad (27)$$

Результат округляют до третьей значащей цифры.

8 Протокол испытаний

Результаты проведения испытаний оформляют в виде протокола, который должен содержать:

- ссылку на настоящий стандарт;
- описание «сэндвич»-конструкции, включая: тип, обозначение, присвоенное изготовителем, номер партии, дату изготовления, нормативный документ или техническую документацию на изделие, материал внешнего слоя, материал внутреннего слоя, клеящее вещество;
- процедуру изготовления образца;
- длину, ширину, толщину образца;
- сведения об используемом оборудовании для испытания;
- условия кондиционирования и испытания;
- количество образцов;
- процедуру изготовления образца;
- жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции, ее среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации;
- поперечную жесткость при сдвиге «сэндвич»-конструкции, ее среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации;
- модуль сдвига внутреннего слоя «сэндвич»-конструкции, ее среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации;
- модуль упругости внешнего слоя;
- дату проведения испытаний.

Приложение А
(обязательное)

Внесение поправок на нижнем участке графика зависимости силы от деформации

А.1 Участок АС графика зависимости силы от деформации, представленного на рисунке А.1, не отражает истинных свойств материала, т. к. учитывает провисание и выравнивание образца, а также наличие опоры. Необходимо скомпенсировать эти погрешности, чтобы получить нулевую точку на оси деформации и правильный угол наклона графика.

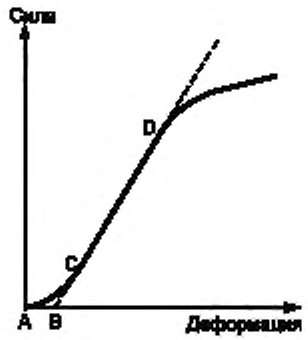


Рисунок А.1 — График зависимости силы от деформации

А.2 Для того чтобы получить точку на оси деформации, необходимо продлить линейный участок кривой «сила—деформация» до пересечения с осью. Точка В, из которой далее следует измерять деформацию, является поправкой на изначальную нелинейность (δ = 0,000).

Приложение ДА
(справочное)

Оригинальный текст невключенных структурных элементов

ДА.1

Раздел 3. Термины и определения

3.1 Определения. Терминология в стандарте D3878 определяет понятия, которые относят к волокнам с большим модулем упругости и композитным материалам на их основе. Терминологический стандарт C274 определяет понятия, которые относят к многослойным конструкция типа «сэндвич». Терминологический стандарт D883 определяет термины, имеющие отношение к пластмассам. Терминологический стандарт E6 определяет понятия, которые относят к механическим испытаниям. Терминологический стандарт E456 и Практика E177 определяют термины, имеющие отношение к статистике. В случае расхождения в определениях терминов, стандарт D3878 имеет приоритет перед другими стандартами.

3.2 Обозначения:

b — ширина сэндвича, мм (дюйм)

c — толщина внутреннего слоя, мм (дюйм)

d — толщина сэндвича, мм (дюйм)

D — жесткость при изгибе, Н·мм^2 (фунт · дюйм^2)

Δ — деформация в середине балки, мм (дюйм)

G — внутренний модуль сдвига, МПа (фунт/дюйм^2)

S — расстояние между опорами, мм (дюйм)

L — расстояние между точками нагружения, мм (дюйм) (L = 0,0 для трехточечной схемы с нагружением на середине балки)

n — количество образцов

P — общая приложенная сила, Н (фунт)

t — толщина внешнего слоя, мм (дюйм)

U — жесткость при поперечном сдвиге, Н (фунт).

ДА.2

Раздел 5. Значение и применение

5.1 Испытания на изгиб для плоских сэндвичевых конструкций проводят для определения жесткости при изгибе, предела прочности и модуля жесткости при сдвиге для внутреннего слоя и предела прочности на разрыв и при сжатии для наружного слоя. Испытания для определения предела прочности при сдвиге могут быть использованы для оценки силы связывания между внутренним и внешним слоями «сэндвича».

5.2 Эта методика основана на применении стандартного метода определения жесткости слоистого материала типа «сэндвич» при сдвиге и изгибе, внутреннего модуля жесткости при сдвиге с использованием расчетов по измеренным упругим деформациям образцов. Испытания можно проводить на коротких или длинных образцах (или на одном образце с нагрузкой в двух направлениях); жесткость при изгибе, жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости определяют путем одновременного решения полных уравнений упругой деформации для каждого пролета или при каждой нагрузке. Если известны значения модулей упругости для внешнего слоя, проводят испытания на коротком участке балки и рассчитывают деформацию изгиба, вычитая из общего модуля упругости. Это дает деформацию сдвига, с помощью которой далее определяют модуль жестокости при поперечном сдвиге.

Примечание 1 — Внутренний предел прочности при сдвиге и модуль сдвига могут быть определены в соответствии с Методом Испытаний C273, при условии, если доступен чистый материал внутреннего слоя.

Примечание 2 — Для материалов с высоким значением модуля сдвига, а деформация при сдвиге будет небольшой и ошибка измерения упругой деформации приведет к значительному разбросу значений расчетного модуля сдвига.

Примечание 3 — Если необходимо убедиться, что теория простой слоистой балки применима, руководствуйтесь следующим правилом: при четырехточечном изгибе длина пролета, деленная на толщину сэндвича, должна быть больше 20 ($L_1/d > 20$), а соотношение толщин внешнего и внутреннего слоев должно быть меньше 0,1 ($t/c < 0,1$).

ДА.3

Раздел 6. Влияющие факторы

6.1 Материал и подготовка образца. Узлы, пустоты и другие неоднородности, внеплоскостные искривления, неровности поверхности могут привести к получению неточных данных.

6.2 Геометрия. На жесткость слоистого «сэндвичевого» материала влияют: толщина внешнего слоя, геометрия элементарной ячейки и плоскостность поверхности внешнего слоя.

6.3 Окружающие условия. На результаты влияют условия хранения образцов и условия, при которых проводят испытания. У образцов, которые испытывают в различных условиях, наблюдают значительные различия в значениях жесткости. Критические внешние условия необходимо оценивать независимо для каждой конкретной комбинации внутренних и внешних материалов и межфазного клеящего вещества (если используется).

6.4 Материал внутреннего слоя — Для некоторых материалов внутреннего слоя, внутренний модуль сдвига — это функция, которая зависит от ориентации внутреннего материала относительно длины образца. К другим факторам, влияющим на жесткость внутреннего слоя «сэндвича», относят изменения плотности внутреннего слоя.

ДА.4

Раздел 9. Проверка

9.1 Не следует проводить измерения жесткости при любой приложенной силе выше точки независимого отказа образца или после точки, где начинают проявляться остаточные деформации в образце.

Приложение ДБ
(справочное)

Оригинальный текст модифицированных структурных элементов

ДБ.1

1. Область применения

1.1 Данный метод предназначен для определения жесткости при изгибе и поперечном сдвиге для плоских сэндвич-конструкций, изгиб производят таким образом, чтобы приложенный момент вызывал искривление внешнего слоя сэндвичевой структруры. Внутренний слой сэндвича может иметь непрерывную связывающую поверхность (например, пробковая древесина и пенопласты) или прерывистую связывающую поверхность (например, сотопласт). Методы обработки результатов таких испытаний ограниченно применяют к сэндвичевым панелям с линейным характером зависимости сила—сдвиг. Данный способ использует результаты испытаний, полученных по стандартным методам C393/C393M и/или D7249/D7249M.

1.2 Значения, указанные в единицах СИ или в единицах английской системы мер (дюйм/фунт), следует использовать отдельно в качестве стандартных. Значения, заданные в каждой из систем, не являются строго эквивалентными; поэтому каждую систему используют независимо от другой. Совместное использование значений, выраженных в разных системах, приведет к ошибкам.

1.2.1 В скобках указаны значения в английской системе мер.

1.3 Данный стандарт не претендует на освещение в полном объеме всех вопросов соблюдения техники безопасности (если таковые имеются), которые могут возникать в связи с его применением. В обязанности пользователя данного стандарта входит обеспечение соответствующих мер техники безопасности и охраны труда, а также решение вопроса о применимости нормативных ограничений до применения стандарта.

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

ДБ.2

2. Нормативные ссылки

2.1 Стандарты АСТМ:

C273 Метод испытания жесткости сдвига для внутреннего материала сэндвича

C274 Слоистые (сэндвичевые) материалы. Термины

C393/C393M Метод испытания внутренних характеристик жесткости при сдвиге сэндвичевых материалов изгибом балки

D883 Пластмассы. Термины

D3878 Композитные материалы. Термины

D7249/D7249M Метод испытания внешних свойств сэндвичевых материалов изгибом длинной балки

E6 Методика механических испытаний. Термины

E122 Практические указания по определению размеров образцов для расчетов, с указанной точностью, со средним значением для характеристики партии или процесса

E177 Практические указания по использованию терминов «прецизионность» и «систематическая погрешность» в методах испытаний ASTM

E456 Качество и статистика. Термины

E1309 Руководство по идентификации композитов с полимерной матрицей, армированных волокнами в базах данных

E1434 Руководство по регистрации результатов испытаний механических свойств композитов с полимерной матрицей, армированных волокнами в базах данных

Примечание — Редакция раздела изменена для приведения его в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5 (пункт 3.6) и ГОСТ 1.5 (подраздел 3.8).

ДБ.3

4. Краткое описание метода

4.1 Эта методика содержит способы расчета жесткости при изгибе, жесткости при поперечном сдвиге и внутреннего модуля упругости при сдвиге для сэндвичевых балок с применением упругой деформации и/или данные по напряжению, полученные в испытаниях на изгиб для различных нагрузок, проведенных по терминологическим стандартам C393/C393M и/или D7249/D7249M. Эта практика также содержит уравнения для расчета жесткости при сдвиге и внутреннего модуля упругости сэндвичевых балок по значениям упругой деформации с помощью единичного испытания на изгиб, проведенного по терминологическому стандарту C393/C393M при известном значении модуля упругости для наружного слоя.

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

ДБ.4

7. Отбор образцов и образцы для испытаний

7.1 Отбор образцов. Необходимо провести испытания не менее пяти образцов в каждом эксперименте. Воспользуйтесь процедурами в Практике Е122 для получения информации о статически значимых данных. Способ отбора проб необходимо внести в протокол.

7.2 Геометрические параметры. Образец для испытаний должен иметь прямоугольное поперечное сечение. Толщина образца должна быть равной толщине «сэндвича», а ширина должна составлять не менее двух общих толщин, не менее трех длин внутренней ячейки, не более половины длины пролета. Длина образца должна быть равной длине пролета плюс 50 мм [2 дюйма] или плюс половина толщины «сэндвича», в зависимости от того, что больше.

7.3 Схема нагружения, неизвестный модуль упругости внешнего слоя. В случае если внешний модуль жесткости известен, следует выбрать как минимум две схемы нагружения. Воспользуйтесь уравнениями из методик испытаний С393/С393М и D7249/D7249M для расчета длины образца и схемы нагружения (при неверном расчете образец может не выдержать нагрузки). Рекомендуют, чтобы в одной из схем нагружения использовали небольшое расстояние между опорами и короткий образец, а во второй схеме нагружения использовали большое расстояние между опорами и длинный образец. Это рекомендуют делать для получения по результатам одного теста данных сила—деформация с относительно большой деформацией при сдвиге и относительно большой деформацией при изгибе. Если используют две схемы с длинными образцами или две схемы с короткими образцами, погрешность измерений может быть большой по сравнению с разницей между деформациями изгиба и сдвига между двумя испытаниями и может привести к значительным ошибкам при расчете значений жесткости при сдвиге и жесткости при изгибе.

7.4 Схема нагружения, известный модуль упругости внешнего слоя. В случаях, если известен модуль упругости внешнего слоя для слоистой балки с одинаковыми внешними слоями, испытание схемы нагружения с небольшим расстоянием между опорами необходимо проводить по методике С393/С393М.

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

ДБ.5

8. Процедура

8.1 Неизвестный внешний модуль жесткости — Для проведения испытаний образцов слоистых балок воспользуйтесь методиками испытаний С393/С393М и/или D7249/D7249M и используйте две или больше различных схем нагружения. Для получения более точных результатов следует испытать каждый образец во всех условиях нагружения. Для этого необходимо, чтобы приложенные силы для всех, кроме последней, схем нагружения, были невысокими, чтобы избежать повреждения и остаточных деформаций образца.

8.2 Известный наружный модуль жесткости — Для проведения испытаний сэндвичевых балок воспользуйтесь методиками испытаний С393/С393М с применением схем с нагружения с небольшим расстоянием между опорами.

8.3 Запись данных. Записывают кривую «сила–деформация» для каждого образца с помощью датчика, дефлектометра или шкального индикатора для измерения прогиба в середине пролета.

Примечание 4 — Применение крейцкопфа или перемещения выходного звена привода для определения деформации середины балки дает неверные результаты; непосредственное измерение деформации середины балки следует проводить с помощью подходящего прибора.

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

ДБ.6

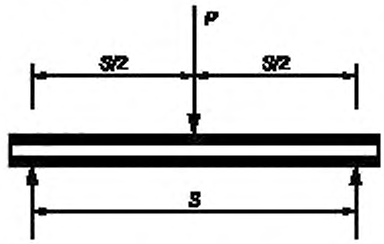
10. Обработка результатов

10.1 Общие указания, неизвестный модуль упругости внешнего слоя. Методы расчета жесткости при изгибе и жесткости при поперечном сдвиге для случаев, когда модуль упругости внешнего слоя не известен, указаны в 10.1—10.2. Методы расчета жесткости при поперечном сдвиге и внутреннего модуля сдвига, для случаев, когда модуль упругости внешнего слоя известен, указаны в 10.3.

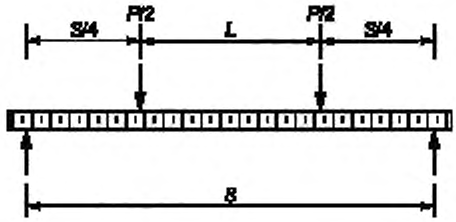
Примечание 5 — Уравнения в этом разделе даны для внутренних и внешних материалов с линейной зависимостью «сила–деформация». Если зависимость «сила—деформация» нелинейная, определить жесткость при сдвиге и изгибе гораздо сложнее и эта задача выходит за рамки данной практики.

10.1.1 Критерии линейности для зависимости «сила–деформация». Для подтверждения предположения, что «сила–деформация» имеет линейный вид, определяют максимальное отклонение от линейной кривой сила—смещение в диапазоне приложенных сил, которые будут использованы для расчета жесткости. Метод определения отклонения от линейности показан на рисунке 2. Зависимость «сила–деформация» считают линейной, если максимальное отклонение меньше 10%.

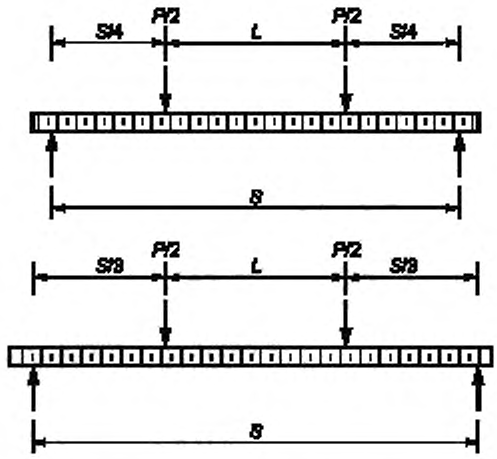
10.1.2 Результаты испытаний с приложением двух схем нагружения к одному образцу. Рассчитывают жесткость при изгибе, жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости по уравнениям в 10.2 для всех приложенных сил до наименьшего максимума приложенной силы. Необходимо использовать минимум десять значений силы, равномерно распределенных в диапазоне силы. Рассчитывают средние значения и проводят статистическую обработку результатов жесткости при изгибе, жесткость при сдвиге и внутреннего модуля жесткости, используя значения, рассчитанные для каждого уровня силы для каждого образца. В результате получают функцию сила—жесткость. Если полученная функция имеет линейный вид, рассчитывают среднее значение жесткости при изгибе, жесткости при сдвиге и внутреннего модуля жесткости, используя значения, рассчитанные для всех уровней силы. Отдельные и средние значения жесткости заносят в протокол.



(a) трехточечное нагружение (C393/C393M стандартная схема)



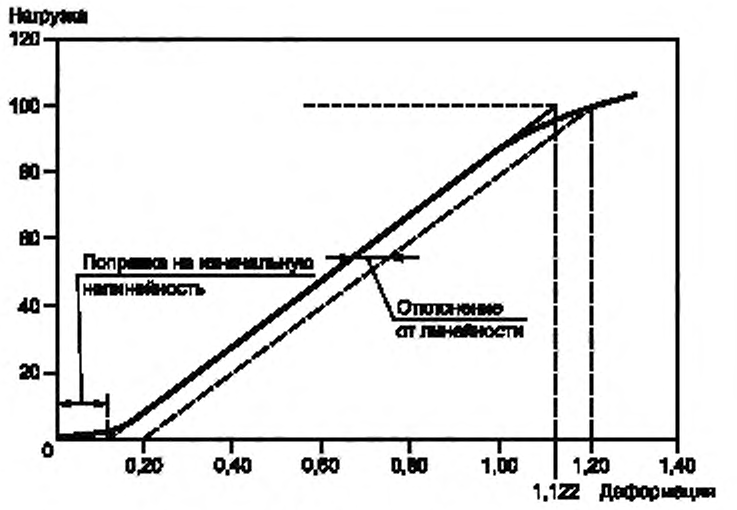
(b) четырехточечное нагружение (D7249/D7249ML стандартная схема для длинной балки)



(c) четырехточечное нагружение (C393/C393M нестандартная схема)

Рисунок 1 — Схемы нагружения

10.1.3 Результаты испытаний с применением трех и более схем нагрузки к одинаковым образцам. Для каждого образца рассчитывают жесткость при изгибе, жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости с помощью уравнений в 10.2 для каждой пары приложенных сил до наименьшего максимума приложенной силы. Необходимо использовать минимум десять значений силы, равномерно распределенных в диапазоне сил. Далее рассчитывают для каждого образца средние значения жесткости при изгибе, жесткости при сдвиге и внутреннего модуля жесткости при всех уровнях силы. Далее рассчитывают для каждой копии образца средние значения жесткости при изгибе, жесткости при сдвиге и внутренний модуль жесткости, используя значения, рассчитанные для каждого уровня силы. В результате получают функцию «сила—жесткость». Если полученная функция имеет линейный вид, рассчитывают среднее значение жесткости при изгибе, жесткости при сдвиге и внутреннего модуля жесткости, используя значения, рассчитанные для всех уровней силы. В отчет заносят все точные и усредненные значения жесткости



$$\text{Отклонение от линейности} = \frac{\text{Деформация - деформация в линейной плоскости}}{\text{Деформация - поправка на начальную нелинейность}}$$

$$\text{Пример: Отклонение от нелинейности} = \frac{1{,}200 - 1{,}122}{1{,}200 - 0{,}120} = 7{,}2\ \%$$

Рисунок 2 — Определение отклонения от линейности

10.1.4 Результаты испытаний с применением двух схем приложения нагрузки на различные образцы. В некоторых случаях невозможно испытать на одном образце несколько схем нагружения. В этом случае необходимо построить непрерывную кривую «сила—деформация» для каждой схемы нагружения таким образом, чтобы значения деформации для двух образцов можно было определить при одном и том же значении силы. Для построения непрерывной кривой «сила—деформация» выполняют линейный регрессионный анализ данных сила—деформация при всех условиях нагружения для каждого образца, используют линейную зависимость деформации в регрессионном анализе. Если полученная функция имеет нелинейный вид, регрессионный анализ и расчет жесткости следует проводить только на линейных участках. Используют полученные кривые «сила—деформация» и процедуру 10.1.1 для расчета жесткости при изгибе, жесткости при сдвиге и внутреннего модуля жесткости.

10.1.5 Результаты испытаний с применением трех и более схем нагрузки, приложенных к различным образцам. В таких случаях используют процедуры 10.1.3 и 10.1.4.

10.2 Расчет жесткости при изгибе, жесткости при поперечном сдвиге и внутреннего модуля жесткости. Деформацию середины пролета балки с одинаковыми наружными слоями определяют уравнением 1. С учетом полученных данных о деформациях и приложенных силах на одинаковые образцы сэндвичевых балок с двумя разными схемами нагрузки, жесткость при изгибе D и жесткость при поперечном сдвиге U получают путем одновременного решения уравнения деформации (ур. 1) для двух случаев нагружения. Внутренний модуль жесткости G рассчитывают по уравнению 2. Решения уравнений для общей схемы нагружения здесь не приведены, так как занимают слишком большой объем. В следующих подразделах приведены решения для типовых комбинаций условий нагружения.

$$\Delta = \frac{P(2S^3 - 3SL^2 + L^2)}{96D} + \frac{P(S - L)}{4U}, \quad (1)$$

$$G = \frac{U(d - 2t)}{(d - t)^2 b}, \quad (2)$$

где Δ — деформация балки в середине пролета, мм (дюйм);
P — общая приложенная сила, Н (фунт-сила);
S — расстояние между опорами, мм (дюйм);
L — расстояние между точками нагружения, мм (дюйм) (L = 0,0 для трехточечной схемы нагружения);
D — жесткость при изгибе, Н·мм^2 (фунт·дюйм^2);
U — жесткость при поперечном сдвиге, Н (фунт);
G — внутренний модуль жесткости, МПа (фунт/дюйм^2);
d — толщина сэндвича, мм (дюйм);
t — толщина внешнего слоя, мм (дюйм);
b — ширина сэндвича, мм (дюйм).

10.2.1 Одна четырехточечная схема нагружения по стандарту D7249/D7249M и одна трехточечная схема с нагружением на середине балки. Данный случай ($L_1 = 2S_1/11$, $L_2 = 0$, где L_1 — расстояние между точками нагружения (схема № 1), мм, L_2 — расстояние между точками нагружения (схема № 2), мм, описан уравнениями 3 и 4. Жесткость при изгибе, жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости при выбранных значениях P_1 рассчитывают по процедурам 10.1.

$$D = \frac{3P_1S_1^3\left(141 - \frac{121S_2^2}{S_1^2}\right)}{1936\Delta_1\left(11 - \frac{9P_1S_1\Delta_2}{P_2S_2\Delta_1}\right)}, \quad (3)$$

$$U = \frac{9P_1S_1\left(\frac{141S_1^2}{S_2^2} - 121\right)}{4\Delta_1\left(1269\frac{P_1S_1^3\Delta_2}{P_2S_2^3\Delta_1} - 1331\right)}, \quad (4)$$

где P_1 — общая приложенная сила, Н [фунт];
S_1 — расстояние между опорами (схема № 1), мм [дюйм];
S_2 — расстояние между опорами (схема № 2), мм [дюйм];
Δ_1 — деформация балки в середине пролета (схема № 1), мм [дюйм], соответствующая силе P_1;
Δ_2 — деформация балки в середине пролета (схема № 2), мм [дюйм], соответствующая силе P_1.

10.2.2 Две трехточечные схемы с нагружением на середине балки. Данный случай ($L_1 = L_2 = 0$) описан уравнениями (5) и (6). Жесткость при изгибе, жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости выбранных значений P_1 рассчитывают по процедурам 10.1.

$$D = \frac{P_1S_1^3\left(1 - \frac{S_2^2}{S_1^2}\right)}{48\Delta_1\left(11 - \frac{P_1S_1\Delta_2}{P_2S_2\Delta_1}\right)}, \quad (5)$$

$$U = \frac{P_1S_1\left(\frac{S_1^2}{S_2^2} - 1\right)}{4\Delta_1\left(\frac{P_1S_1^3\Delta_2}{P_2S_2^3\Delta_1} - 1\right)}. \quad (6)$$

10.2.3 Одна трехточечная схема с нагружением на середине балки и одна 4-точечная схема с нагружением на расстоянии четверти пролета балки. Данный случай ($L_1 = 0$, $L_2 = S_2/2$) описан уравнениями (7) и (8). Жесткость при изгибе, жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости при выбранных значениях P_1 рассчитывают по процедурам 10.1.

$$D = \frac{P_1 S_1^3 \left(1 - \frac{11 S_2^2}{8 S_1^2}\right)}{48 \Delta_1 \left(1 - \frac{2 P_1 S_1 \Delta_2}{P_2 S_2 \Delta_1}\right)}, \tag{7}$$

$$U = \frac{P_1 S_1 \left(\frac{8 S_1^2}{11 S_2^2} - 1\right)}{4 \Delta_1 \left(\frac{16 P_1 S_1^3 \Delta_2}{11 P_2 S_2^3 \Delta_1} - 1\right)}. \tag{8}$$

10.2.4 Одна трехточечная схема с нагружением на середине балки и одна 4-точечная схема с нагружением на расстоянии четверти пролета балки. Данный случай ($L_1 = 0$, $L_2 = S_2/3$) описан уравнениями (9) и (10). Жесткость при изгибе, жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости при выбранных значениях P_1 рассчитывают по процедурам 10.1.

$$D = \frac{P_1 S_1^3 \left(1 - \frac{23 S_2^2}{18 S_1^2}\right)}{48 \Delta_1 \left(1 - \frac{3 P_1 S_1 \Delta_2}{2 P_2 S_2 \Delta_1}\right)}, \tag{9}$$

$$U = \frac{P_1 S_1 \left(\frac{18 S_1^2}{23 S_2^2} - 1\right)}{4 \Delta_1 \left(\frac{27 P_1 S_1^3 \Delta_2}{23 P_2 S_2^3 \Delta_1} - 1\right)}. \tag{10}$$

10.2.5 Одна четырехточечная схема с нагружением на расстоянии четверти пролета балки и одна четырехточечная схема с нагружением на расстоянии одной трети пролета балки. Данный случай ($L_1 = S_1/4$, $L_2 = S_2/3$) описан уравнениями (11) и (12). Жесткость при изгибе, жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости при выбранных значениях P_1 рассчитывают по процедурам 10.1.

$$D = \frac{99 P_1 S_1^3 \left(1 - \frac{92 S_2^2}{99 S_1^2}\right)}{6912 \Delta_1 \left(1 - \frac{3 P_1 S_1 \Delta_2}{4 P_2 S_2 \Delta_1}\right)}, \tag{11}$$

$$U = \frac{P_1 S_1 \left(\frac{99 S_1^2}{92 S_2^2} - 1\right)}{2 \Delta_1 \left(\frac{297 P_1 S_1^3 \Delta_2}{368 P_2 S_2^3 \Delta_1} - 1\right)}. \tag{12}$$

10.2.6 Одна четырехточечная схема с нагружением по стандарту D7249/D7249M и одна четырехточечная схема с нагружением на расстоянии четверти пролета балки. Данный случай ($L_1 = 2S_1/11$, $L_2 = S_2/3$) описан уравнениями (13) и (14). Рассчитывают жесткость при изгибе, жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости для всех выбранных значений P_1 с помощью процедур, указанных в 10.1.

$$D = \frac{P_1 S_1^3 \left[2538 - \frac{2783 S_2^2}{S_1^2}\right]}{5808 \Delta_1 \left[22 - \frac{27 P_1 S_1 \Delta_2}{P_2 S_2 \Delta_1}\right]}, \quad (13)$$

$$U = \frac{9 P_1 S_1 \left[\frac{2538 S_1^2}{S_2^2} - 2783\right]}{4 \Delta_1 \left[34263 \frac{P_1 S_1^3 \Delta_2}{P_2 S_2^3 \Delta_1} - 30613\right]}. \quad (14)$$

10.2.7 Одна четырехточечная схема с нагружением по стандарту D7249/D7249M и одна четырехточечная схема с нагружением на расстоянии четверти пролета балки. Данный случай ($L_1 = 2S_1/11$, $L_2 = S_2/2$) описан уравнениями (15) и (16). Жесткость при изгибе, жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости для выбранных значений P_1 рассчитывают по процедурам, указанным в 10.1.

$$D = \frac{3 P_1 S_1^3 \left[1128 - \frac{1331 S_2^2}{S_1^2}\right]}{15488 \Delta_1 \left[11 - \frac{18 P_1 S_1 \Delta_2}{P_2 S_2 \Delta_1}\right]}, \quad (15)$$

$$U = \frac{9 P_1 S_1 \left[\frac{1128 S_1^2}{S_2^2} - 1331\right]}{4 \Delta_1 \left[20304 \frac{P_1 S_1^3 \Delta_2}{P_2 S_2^3 \Delta_1} - 14641\right]}. \quad (16)$$

10.3 Расчет внутреннего модуля жесткости, используя известный внешний модуль жесткости. Если внешние модули жесткости сэндвича известны и они идентичны, жесткость при поперечном сдвиге и внутренний модуль жесткости можно рассчитать по результатам единичной схемы нагружения по уравнениям (17)—(19). Сначала рассчитывают жесткость при изгибе. Далее для каждого образца рассчитывают жесткость при сдвиге и внутренний модуль жесткости для серии приложенных сил до максимального значения приложенной силы. Необходимо использовать минимум десять значений силы, равномерно распределенных в диапазоне силы. Рассчитывают среднее значение и проводят статистическую обработку данных жесткости при сдвиге и внутреннего модуля жесткости, используют рассчитанные значения для каждого уровня силы для каждой копии образца. В результате получают функцию «сила–жесткость». Если функция имеет линейный вид (по 10.1.1), то рассчитывают общее среднее значение жесткости при сдвиге, жесткости при изгибе и внутренний модуль жесткости, используя значения по всем уровням силы. Отдельные и средние значения жесткости вносят в протокол.

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12}, \quad (17)$$

$$U = \frac{P(S_1 - L_1)}{4\left(\Delta - \frac{P(2S_1^3 - 3S_1 L_1^2 + L_1^3)}{96D}\right)}, \quad (18)$$

$$G = \frac{U(d - 2t)}{(d - t)^2 b}, \quad (19)$$

где E — внешний модуль, МПа [фунт/дюйм^2];

c — толщина внутреннего слоя = $d - 2t$, мм [дюйм].

10.4 Статистика. Для каждой серии испытаний рассчитывают средние значения, стандартное отклонение и коэффициент вариации (в %) жесткости при изгибе, жесткости при поперечном сдвиге и внутреннего модуля жесткости:

$$\overline{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \tag{20}$$

$$S_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\overline{x}^2}{n-1}}, \tag{21}$$

$$CV = 100 \cdot \frac{S_{n-1}}{\overline{x}}, \tag{22}$$

где $\overline{x}$ — выборочное среднее значение;

S_{n-1} — выборочное среднеквадратическое отклонение;

CV — выборочный коэффициент вариации, %;

n — число образцов;

x_i — измеренное свойство.

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

ДБ.7

Раздел 11. Протокол испытаний

В протокол заносят информацию, указанную ниже, или, в соответствующих случаях, ссылки на документы, в которых она указана (внесение в протокол вопросов, которые лежат вне ответственности данной испытательной лаборатории, такие как параметры изготовления панели или условия эксплуатации деталей, является ответственностью заказчика).

Примечание 6 — Руководства E1309 и E1434 содержат рекомендации по составлению протоколов о композитных материалах и о испытаниях механических свойств композитных материалов.

11.1.1 Версия документа или дату издания этой методики.

11.1.2 Имя (имена) испытателей.

11.1.3 Любые изменения в методике.

11.1.4 Описание всех материалов, входящих в состав сэндвичевой балки (включая внешние, внутренние и связующие материалы), с указанием для каждого: спецификации, типа, маркировки производителя, номера или кода партии, источника (если приобретен не у производителя), даты сертификации и окончание срока сертификации.

11.1.5 Описание этапов производства: дата начала производства, дата окончания производства, спецификацию процесса и описание используемого оборудования.

11.1.6 Методики подготовки образцов, включая схему и метод маркировки, геометрическую форму образцов, способы отбора проб и нарезания образцов.

11.1.7 Результаты неразрушительных аттестационных испытаний.

11.1.8 Результаты измерения длины, ширины и толщины каждого образца.

11.1.9 Количество протестированных образцов.

11.1.10 Значение толщины внешнего слоя, использованное для расчетов.

11.1.11 Значение внешнего модуля, использованное для расчетов.

11.1.12 Рассчитанные значения жесткости при изгибе (и средние значения), стандартное отклонение и коэффициент вариации (%) для совокупности.

11.1.13 Рассчитанные значения жесткости при поперечном сдвиге (и средние значения), стандартные отклонения и коэффициент вариации (%) для совокупности.

11.1.14 Рассчитанные значения внутреннего модуля жесткости (и средние значения), стандартные отклонения, коэффициент вариации (%) для совокупности.

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

ДБ.8

Приложение А1. Введение поправок на нижнем участке кривой «сила–деформация»

А1.1 Нижний участок, АС, типичной кривой «сила–деформация» (рисунок А1.1) не соответствует истинным свойствам материала. Это явление вызвано провисанием, выравниванием образца и наличием опоры. Для того, чтобы угол наклона кривой «сила–деформация» был правильным, необходимо скомпенсировать эти погрешности для получения корректной нулевой точки на оси деформации.

А1.2 Для сэндвичевых материалов существует линейный участок на кривой, который подчиняется закону Гука (рисунок А1.1), постройте продолжение этого линейного участка до пересечения с осью деформации. Точка (В) — это поправка на нулевую деформацию (d = 0,000), из которой далее изменяют деформацию.

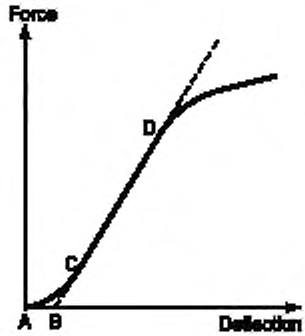


Рисунок А1.1 — Сэндвичевый материал, который подчиняется закону Гука

Приложение ДВ
(справочное)

Сравнение структуры настоящего стандарта со структурой примененного стандарта АСТМ

Таблица ДВ.1

Структура настоящего стандарта	Структура стандарта АСТМ Д7250/Д7250М - 06 (2012)
1 Область применения (1)	1 Область применения
2 Нормативные ссылки (2)	2 Нормативные ссылки
[1]	3 Термины и определения
3 Сущность метода (4)	4 Краткое описание метода
[2]	5 Значение и применение
[2]	6 Влияющие факторы
4 Оборудование[3] (–)	7 Отбор образцов и образцы для испытаний
5 Подготовка к проведению испытаний (7)	8 Процедура
[2]	9 Проверка
6 Проведение испытаний (8)	10 Обработка результатов
7 Обработка результатов (10)	11 Протокол испытаний
[4]	12 Ключевые слова
8 Протокол испытаний (11)	Приложение А1 Введение поправок на нижнем участке кривой сила—деформация
Приложение А Внесение поправок на нижнем участке графикам зависимости силы от деформации	—
Приложение ДА Оригинальный текст невключенных структурных элементов	—
Приложение ДБ Оригинальный текст модифицированных структурных элементов	—
Приложение ДВ Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного стандарта АСТМ	—

[1] Данный раздел исключен, т. к. носит справочный характер.
[2] Данный раздел исключен, т. к. носит поясняющий характер.
[3] Включение в настоящий стандарт данного раздела обусловлено необходимостью приведения его в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5 (пункт 7.9).
[4] Данный раздел приведен в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5 (пункт 5.6.2).

Примечание — После заголовков разделов (подразделов) настоящего стандарта приведены в скобках номера аналогичных им разделов стандарта АСТМ.

УДК 691.419.8:006.354 ОКС 83.120

Ключевые слова: композиты полимерные, жесткость при изгибе, поперечное направление, «сэндвич»-конструкция

Редактор *В.М. Костылева*
Технический редактор *В.Ю. Фотиева*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *К.Л. Чубанова*

Сдано в набор 28.03.2016. Подписано в печать 07.04.2016. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3.26. Уч.-изд. л. 2,80. Тираж 33 экз. Зак. 975.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru