ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56680— 2015

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Определение механических характеристик при изгибе материала внешнего слоя «сэндвич»-конструкций методом испытания длинной балки на изгиб

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «НПО Стеклопластик» совместно с Объединением юридических лиц «Союз производителей композитов» на основе официального перевода на русский язык англоязычной версии указанного в пункте 4 стандарта, который выполнен ТК 497 «Композиты, конструкции и изделия из них»

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 30 октября 2015 г. № 1679-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту ASTM D7249/D7249M—12 «Стандартный метод определения свойств наружных поверхностей многослойных структур путем изгибания длинной балки» (ASTM D7249/D7249M—12 «Standard Test Method for Facing Properties of Sandwich Constructions by Long Beam Flexure») путем изменения его структуры для приведения в соответствие с правилами, установленными в ГОСТ Р 1.5 (подраздел 3.1), путем изменения содержания отдельных структурных элементов, которые выделены вертикальной линией, расположенной на полях этого текста, а также невключения отдельных структурных элементов, ссылок и/или дополнительных элементов.

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

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

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных стандартов АСТМ соответствующие им национальные и межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в приложении ДГ

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 (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2016

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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Определение механических характеристик при изгибе материала внешнего слоя «сэндвич»-конструкций методом испытания длинной балки на изгиб

Polymer composites.
Determination facing's mechanical flexural properties of sandwich construction by long beam flexure method

Дата введения — 2017—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на полимерные композиты и устанавливает требования к определению механических характеристик при изгибе материала внешнего слоя «сэндвич»-конструкции методом испытания длинной балки на изгиб.

В качестве материалов внутреннего слоя «сэндвич»-конструкций используют пробковое дерево, пенопласты, а также материалы с сотовой конструкцией.

В качестве материалов внешнего слоя «сэндвич»-конструкций используют сбалансированно армированные многослойные полимерные композиты (ламинаты), структура которых симметрична относительно их срединной плоскости.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76) Штангенциркули. Технические условия

ГОСТ 6507—90 Микрометры. Технические условия

ГОСТ 7338—90 Пластины резиновые и резинотканные. Технические условия

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

ГОСТ 28840—90 Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования

ГОСТ 33519—2015 Композиты полимерные. Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах (ASTM D3410/D3410M—03(2008) «Стандартный метод определения характеристик при сжатии композитных материалов с полимерной матрицей методом сдвиговой нагрузки», MOD)

ГОСТ Р 56762—2015 Композиты полимерные. Метод определения влагопоглощения и равновесного состояния (ASTM D5229/D5229M—12 «Стандартный метод определения влагопоглощения и равновесного состояния композитных материалов с полимерной матрицей», MOD)

ГОСТ Р 56798—2015 Композиты полимерные. Метод определения жесткости при изгибе и жесткости в поперечном направлении «сэндвич»-конструкции (ASTM D7250/D7250M—06(12) «Стандартный метод определения жесткости на изгиб и сдвиг «сэндвич»-конструкции», 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.

Издание официальное

3 Сущность метода

Сущность метода заключается в том, что образец, свободно лежащий на двух опорах, подвергают трех- или четырехточечному изгибу до разрушения материала внешнего слоя образца.

4 Оборудование

4.1 Микрометры по ГОСТ 6507, имеющие плоские измерительные поверхности, или штангенциркули по ГОСТ 166 обеспечивающие измерение толщины с точностью 0,025 мм, длины и ширины с точностью 0,25 мм.

4.2 Машина для испытаний по ГОСТ 28840, обеспечивающая нагружение образца с заданной постоянной скоростью перемещения активного захвата, измерение нагрузки с погрешностью не более ± 1 % измеряемой величины, а также возможность регулирования скорости нагружения образца.

4.2.1 Машина для испытаний должна быть снабжена траверсой, по которой могут перемещаться две опоры и/или наконечник, создающие нагрузку в случае испытания на трехточечный изгиб, как показано на рисунке А.1 приложения А. При испытании на четырехточечный изгиб машина для испытаний должна быть обеспечена двумя траверсами, на каждой из которых могут перемещаться по две опоры, как показано на рисунке А.2 приложения А.

Пример нестандартной схемы нагружения на четырехточечный изгиб показан на рисунке А.3 приложения А.

4.2.2 Траверса должна обеспечивать неподвижность опор при испытаниях и иметь шкалу с ценой деления 1 мм, позволяющую устанавливать опоры на заданном расстоянии.

4.2.3 Опоры и/или наконечник для нагружения образцов, соединенные с нагружающими блоками через цилиндрические шарниры (см. рисунок А.2 приложения А), или опоры клинообразные и/или наконечник и нагружающие пластины с V-образным пазом (см. рисунок А.2 приложения А).

Ширина нагружающих блоков или нагружающих пластин должна быть 25 мм.

Радиус закругления клинообразных опор и/или наконечника должен быть не менее 3 мм. Радиус паза нагружающей пластины должен быть больше радиуса клинообразных опор и/или наконечника, а угол раствора паза должен быть таким, чтобы стороны клинообразных опор и/или наконечника не соприкасались со сторонами паза во время испытания.

Допускается использовать в качестве опор и/или наконечника стальные цилиндры диаметром 25 мм.

Длина нагружающих блоков, нагружающих пластин и ширина опор и/или наконечника, должна быть не менее ширины образца.

4.2.4 Пластины резиновые по ГОСТ 7338 шириной 25 мм, толщиной 3 мм, твердостью по Шору А 60.

4.3 Прибор для измерения прогиба образца с погрешностью не более ± 1 % измеряемой величины.

4.4 Прибор для регистрации деформаций, обеспечивающий измерение деформаций с погрешностью не более ± 1 % предельного значения измеряемой величины. Могут быть использованы тензопреобразователи сопротивления, параметры которых должны отвечать следующим требованиям: напряжение 1 В или 2 В, сопротивление не менее 350 Ом.

4.5 Камеры климатические для испытания и кондиционирования образцов в заданных условиях, обеспечивающей поддержание заданной температуры с точностью ± 3 °С и воздействие других климатических факторов.

4.6 Пила дисковая, оснащенная алмазным отрезным кругом.

5 Подготовка к проведению испытаний

5.1 Подготовка образцов

5.1.1 Для определения механических характеристик при изгибе используют не менее пяти образцов, если иное не установлено в нормативном документе или технической документации на изделие.

5.1.2 Материал, толщина, порядок выкладки и направление армирующего наполнителя верхней и нижней грани образца должны быть одинаковыми.

Примечания

1 Под верхней гранью образца в настоящем стандарте понимают боковую поверхность образца, образованную материалом внешнего слоя образца, на которую воздействует нагрузка, под нижней гранью — боковую поверхность образца, образованную материалом внешнего слоя образца, противоположенную нагружаемой.

2 При расчетах делают допущение о том, что жесткость верхней и нижней грани образца равны. Однако, данное допущение может оказаться неверным по отношению к некоторым материалам внешнего слоя «сэндвич»-конструкций (например, к композитам, армированным арамидным волокном), у которых значительно различаются модули упругости при растяжении и сжатии или которые демонстрируют практически нелинейную зависимость напряжения от деформации.

5.1.3 Образцы изготавливают механической обработкой из изделий или полуфабрикатов либо путем склеивания исходных материалов, образующих материалы внутреннего и внешнего слоев «сэндвич»-конструкции.

Условия и метод изготовления образцов, механическая обработка, место и направление их вырезки указывают в нормативном документе или технической документации на испытуемое изделие.

Механическую обработку осуществляют при помощи дисковой пилы (см. 4.6) с применением воды для охлаждения.

5.1.4 Перед изготовлением образцов «сэндвич»-конструкций путем склеивания, микрометром измеряют толщину материала внешнего слоя образца с точностью 0,025 мм в трех местах: по краям и в середине.

При изготовлении образцов механической обработкой, толщину материала внешнего слоя образца рассчитывают исходя из толщины отдельного слоя, либо принимают значение, указанное в нормативной или технической документации на испытуемое изделие.

5.1.5 Образцы должны иметь ровные поверхности, без сколов, трещин, расслоений и других дефектов, заметных невооруженным глазом.

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

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 стандартной схеме нагружения используют прямоугольные образцы длиной (600 ± 1) мм, шириной (75 ± 0,5) мм и толщиной равной толщине изделия.

Примечание — Под стандартной схемой нагружения в настоящем стандарте понимают четырехточечное нагружение, при котором длина пролета S равна 560 мм, а длина нагружаемого пролета L — 100 мм.

5.1.8 При нестандартной схеме нагружения используют образцы, которые должны соответствовать следующим требованиям:

5.1.8.1 Ширину образца $W_{обр}$, мм, выбирают из условий:

$$2\,T < W_{обр} < 6 \cdot T, \quad (1)$$

где T — толщина испытуемого изделия, мм;

$$3\,a < W_{обр} < \frac{1}{4} S\,, \quad (2)$$

где S — длина пролета, мм;

a — размер соты материала внутреннего слоя образца, мм.

5.1.8.2 Длину образца $L_{обр}$, мм, вычисляют по формуле

$$L_{обр} = S + 50, \quad (3)$$

где S — длина пролета, мм.

Если $0{,}5T > 50$ мм, длину образца $L_{обр}$, мм, вычисляют по формуле

$$L_{обр} = S + 0{,}5 \cdot T, \quad (4)$$

где S — длина пролета, мм;

T — толщина испытуемого изделия, мм.

5.1.9 Толщина внешних слоев образца должна быть одинакова и удовлетворять условию

$$\frac{t}{c} \le 0{,}1\,, \quad (5)$$

где t — толщина материала внешнего слоя образца, мм;

c — толщина материала внутреннего слоя образца, мм.

5.1.10 Предел прочности при сдвиге материала внутреннего слоя образца F_s, МПа, должен удовлетворять условию (6)

$$F_s \geq \frac{2\,\sigma\,t}{k\,(S-L)}, \qquad (6)$$

где σ — предел прочности при изгибе материала внешнего слоя образца, МПа;
k — коэффициент запаса прочности на сдвиг материала внутреннего слоя образца (k = 0,75);
L — длина нагружаемого пролета, мм.

5.1.11 Предел прочности при сжатии материала внутреннего слоя F_c, МПа, должен удовлетворять условию

$$F_c \geq \frac{2\,(c+t)\,\sigma\,t}{(S-L)\,L_{пл}}, \qquad (7)$$

где $L_{пл}$ — ширина нагружающего блока или нагружающей пластины, мм.

5.2 Условия кондиционирования

5.2.1 Кондиционируют образцы по ГОСТ Р 567622 (метод С), если иное не установлено в нормативном документе или технической документации на изделие.

5.2.2 Образцы хранят при тех же условиях окружающей среды, при которых проводилось кондиционирование.

6 Проведение испытаний

6.1 Микрометром или штангенциркулем (см. 4.1) измеряют длину, ширину и толщину образцов в трех местах: по краям и в середине. Вычисляют среднее значение длины, ширины и толщины.

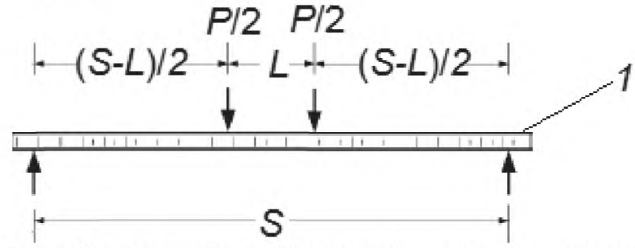
6.2 Испытания проводят в помещении или закрытом объеме при температуре (23 ± 2) °С или при той же влажности, при которых проводилось кондиционирование, если иное не установлено в нормативном документе или технической документации на испытуемое изделие.

Испытания при повышенных и пониженных температурах проводят в специально предусмотренных климатических камерах. Температуру испытания и допускаемые ее колебания определяют в соответствии с нормативным документом или технической документацией на испытуемое изделие.

6.3 При проведении испытаний в условиях повышенных и пониженных температур время, необходимое для полного прогрева или охлаждения образца до его испытания, устанавливают в нормативном документе или технической документации на испытуемое изделие.

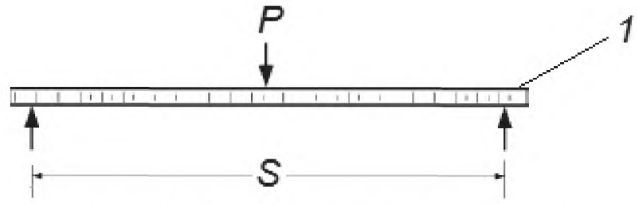
6.4 В зависимости от схемы нагружения, и вида изгиба устанавливают расстояние между опорами в соответствии с таблицей 1.

Схема приложения нагрузки для четырехточечного изгиба показана на рисунке 1 и для трехточечного изгиба на рисунке 2.



1 — образец; *P* — нагрузка; *S* — длина пролета; *L* — длина нагружаемого пролета

Рисунок 1 — Схема приложения нагрузки при четырехточечном изгибе



1 — образец; *P* — нагрузка; *S* — длина пролета

Рисунок 2 — Схема приложения нагрузки при трехточечном изгибе

Таблица 1

Схема нагружения	Длина пролета *S*, мм	Длина нагружаемого пролета *L*, мм
Стандартная: четырехточечный изгиб	560	100
Нестандартная: трехточечный изгиб	*S*	0
Нестандартная: четырехточечный изгиб	*S*	*S*/2
Нестандартная: четырехточечный изгиб	*S*	*S*/3

Длина пролета *S*, мм, должна удовлетворять условию

$$S \geq \frac{2\sigma t}{k F_s} + L, \qquad (8)$$

где F_s — предел прочности при сдвиге материала внутреннего слоя, МПа.

Примечание — При трехточечном нагружении значение *L* равно нулю.

Устанавливают и закрепляют приборы для измерения прогиба в середине пролета.

6.5 Для регистрации деформации при четырехточечной схеме нагружения посередине на верхней и нижней гранях образца устанавливают тензопреобразователи сопротивления. Тензопреобразователи сопротивления должны быть установлены вдоль продольной оси образца.

При трехточечном изгибе тензопреобразователи сопротивления не используют.

6.6 Устанавливают образец на опоры таким образом, чтобы плоскость материала внешнего слоя «сэндвич»-конструкции была перпендикулярна к направлению нагружения. Приводят в соприкосновение с верхней гранью образца наконечник или две опоры в зависимости от вида изгиба и регулируют их таким образом, чтобы допускаемое отклонение от параллельности поверхностей не превышало 1°. Между наконечником/опорами и образцом прокладывают резиновые пластины (см. 4.2.4).

6.7 Устанавливают скорость перемещения наконечника/опор в соответствии с нормативным документом или технической документацией на изделие. При отсутствии этих данных скорость перемещения наконечника/опор устанавливают такой, чтобы разрушение образца происходило в течение 3—6 мин. Рекомендуемые значения:

- скорость деформации — 0,01 мин$^{-1}$;
- скорость перемещения наконечника/опор — 6 мм/мин.

6.8 Нагружают образец с заданной постоянной скоростью и записывают значения смещения наконечника/опор, деформации и прогибов и соответствующих нагрузок.

Значения регистрируют непрерывно или через регулярные интервалы таким образом, чтобы при проведении испытания было записано не менее 100 значений.

6.9 При возникновении первичных разрушений образца: расслоение материала внешнего слоя, отслоение материала внутреннего слоя от материала внешнего слоя, частичное разрушение материала внутреннего слоя и местное раздробление материала внутреннего слоя — записывают нагрузку, значение смещения наконечника/опор и характер первичного разрушения.

6.10 При возникновении разрушения образца записывают максимальную нагрузку, деформацию и прогиб, предшествующие разрушению образца.

6.11 Для описания характера участка и места разрушения используют обозначения в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Первый символ		Второй символ		Третий символ	
Характер разрушения	Шифр	Участок разрушения	Шифр	Место разрушения	Шифр
Отслоение материала внутреннего слоя от материала внешнего слоя	D	У наконечника	A	Нижняя грань	B
Разрушение армирующего наполнителя	F	Датчик	G	Верхняя грань	T
Сквозная трещина	H	Несколько участков	M	Обе грани (верхняя и нижняя)	F
Нестабильность слоя	L	Снаружи от датчика	O	Материал внутреннего слоя	C
Местный залом	W	Различные	V	Граница соединения материала внутреннего слоя и материала внешнего слоя	A
Несколько видов разрушения	M(xyz)	Неизвестен	U	Различные	V
Дробление материала внутреннего слоя	C			Неизвестно	U
Продольное расщепление	P				
Растяжение	N				
Поперечный сдвиг	S				
Взрывной тип	X				
Прочее	O				

6.12 Результаты испытаний не учитывают, если разрушение произошло за границами нагружаемого пролета при четырехточечном изгибе, или в радиусе более чем 12 мм при трехточечном изгибе, или у которых в процессе испытания обнаружены дефекты.

7 Обработка результатов

7.1 Предельное напряжение при растяжении или сжатии материала внешнего слоя F^u, МПа, вычисляют по формуле

$$F^u = \frac{P_{max}\,(S-L)}{2\,(d+c)\,b\,t}, \qquad (9)$$

где P_{max} — максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н;
d — толщина образца, мм;
b — ширина образца, мм.

При разной толщине верхней и нижней грани образца предельное напряжение при растяжении или сжатии рассчитывают для каждой грани.

Предельное напряжение при сжатии верхней грани образца F_1^u, МПа, вычисляют по формуле

$$F_1^u = \frac{P_{max}\,(S-L)}{2(d+c)\,b\,t_1}, \qquad (10)$$

где t_1 — толщина верхней грани образца, мм.

Предельное напряжение при растяжении нижней грани образца F_2^u, МПа, вычисляют по формуле

$$F_2^u = \frac{P_{max}\,(S-L)}{2\cdot(d+c)\,b\,t_2}, \quad (11)$$

где t_2 — толщина нижней грани образца, мм.

Толщину материала внутреннего слоя образца c, мм, вычисляют по формуле

$$c = d - 2t. \quad (12)$$

При разной толщине верхней и нижней грани образца толщину материала внутреннего слоя образца c, мм, вычисляют по формуле

$$c = d - t_1 - t_2. \quad (13)$$

7.2 Хордовый модуль при сжатии верхней грани E_{f1}, Па, вычисляют по формуле

$$E_{f1} = \frac{\sigma_{1_3000} - \sigma_{1_1000}}{\left(\varepsilon_{1_3000} - \varepsilon_{1_1000}\right)\cdot\dfrac{c + t_1/2 + t_2/2}{c + t_1 + t_2}}, \quad (14)$$

где σ_{1_3000} — напряжение при сжатии верхней грани образца, при нагрузке соответствующей относительной деформации при сжатии ε_{1_3000} = 3000, Па;

σ_{1_1000} — напряжение при сжатии верхней грани образца, при нагрузке соответствующей относительной деформации при сжатии ε_{1_1000} = 1000, Па.

Напряжение при сжатии верхней грани образца вычисляют по формуле (10).

Хордовый модуль при растяжении нижней грани E_{f2}, Па, вычисляют по формуле

$$E_{f2} = \frac{\sigma_{2_3000} - \sigma_{2_1000}}{\left(\varepsilon_{2_3000} - \varepsilon_{2_1000}\right)\cdot\dfrac{c + t_1/2 + t_2/2}{c + t_1 + t_2}}, \quad (15)$$

где σ_{2_3000} — напряжение при растяжении нижней грани образца, при нагрузке соответствующей относительной деформации при растяжении ε_{2_3000} = 3000, Па;

σ_{2_1000} — напряжение при растяжении нижней грани образца, при нагрузке соответствующей относительной деформации при растяжении ε_{2_1000} = 1000, Па.

Результат округляют до третьей значащей цифры.

7.3 Жесткость при изгибе «сэндвич»-конструкции $D^{F,nom}$, Н·мм^2, вычисляют по формуле

$$D^{F,nom} = \frac{(S-L)\cdot d}{4}\cdot\left(\frac{P^{3000} - P^{1000}}{\left(\varepsilon_{1_3000} - \varepsilon_{1_1000}\right) + \left(\varepsilon_{2_3000} - \varepsilon_{2_1000}\right)}\right), \quad (16)$$

где P^{3000} — нагрузка, соответствующая относительной деформации при сжатии ε_{1_3000} = 3000, Н;

P^{1000} — нагрузка, соответствующая относительной деформации при сжатии ε_{1_1000} = 1000, Н.

Примечание — Формула (16) применима только тогда, когда упругостью балки под действием сдвига можно пренебречь. Метод определения жесткости при изгибе и жесткости при сдвиге в поперечном направлении «сэндвич»-конструкции, когда упругостью нельзя пренебречь, приведен в ГОСТ Р 567983.

7.4 Среднеарифметическое значение предельного напряжения при растяжении или сжатии материала внешнего слоя $\overline{F}^u$, МПа, хордового модуля при сжатии верхней грани образца или при растяжении нижней грани образца $\overline{E}_f$, Па, жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции $\overline{D}^{F,nom}$, Н·мм^2, вычисляют по ГОСТ 14359 (подпункт 4.3).

Результат округляют до третьей значащей цифры.

7.5 Стандартное отклонение предельного напряжения при растяжении или сжатии материала внешнего слоя S_{F^u}, МПа, хордового модуля при сжатии верхней грани образца или при растяжении нижней грани образца S_{E_f}, Па, жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции $S_{D^{F,nom}}$, Н·мм^2, вычисляют по формуле

$$S_{F^u}, S_{E_f}, S_{D^{F,nom}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(F_i^u, E_{fi}, D_i^{F,nom}\right)^2 - n\left(\overline{F}^u, \overline{E}_f, \overline{D}^{F,nom}\right)^2}{n-1}}, \quad (17)$$

где $F_i^u, E_{fi}, D_i^{F,nom}$ — единичное значение предельного напряжения при растяжении или сжатии материала внешнего слоя, МПа, хордового модуля при сжатии верхней грани образца или при растяжении нижней грани образца, Па, жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции, Н·мм^2;

n — число наблюдений;

$\overline{F}^u, \overline{E}_f, \overline{D}^{F,nom}$ — среднее арифметическое значение предельного напряжения при растяжении или сжатии материала внешнего слоя, МПа, хордового модуля при сжатии верхней грани образца или при растяжении нижней грани образца, Па, жесткости при изгибе «сэндвич»-конструкции, Н·мм^2.

7.6 Коэффициент вариации K_B, %, вычисляют по ГОСТ 14359 (подпункт 4.6).

7.7 Строят график зависимости нагрузки от смещения наконечника/опор (см. ГОСТ 33519) и определяют по нему:

- переходную область;
- тангенс угла наклона в графике нагрузка — смещение до точки перехода и после точки перехода;
- точку перехода.

8 Протокол испытаний

Результаты проведения испытаний оформляют в виде протокола, содержащего:

- ссылку на настоящий стандарт;
- описание «сэндвич»-конструкции, включая: тип, обозначение, присвоенное изготовителем, номер партии, дата изготовления, нормативную или техническую документацию на изделие, материал внешнего слоя, материал внутреннего слоя, клеящее вещество;
- процедуру изготовления образца;
- длину, ширину, толщину образца, толщину материала внешнего слоя образца;
- схему нагружения, длину нагружаемого пролета, длину пролета;
- сведения об используемом оборудовании для испытания;
- условия кондиционирования, хранения и испытания;
- количество образцов;
- скорость испытания;
- предельное напряжение при растяжении или сжатии, его среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации;
- хордовый модуль при сжатии верхней грани и при растяжении нижней грани, его среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации;
- жесткости при изгибе, ее среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации;
- зависимость нагрузки от смещения наконечника/опор для каждого образца;
- зависимость нагрузки от прогиба для каждого образца;
- зависимость нагрузки от деформации для каждого образца;
- характер разрушения и место разрушения;
- дату проведения испытания.

Приложение А
(справочное)

Примеры оснастки испытательной машины

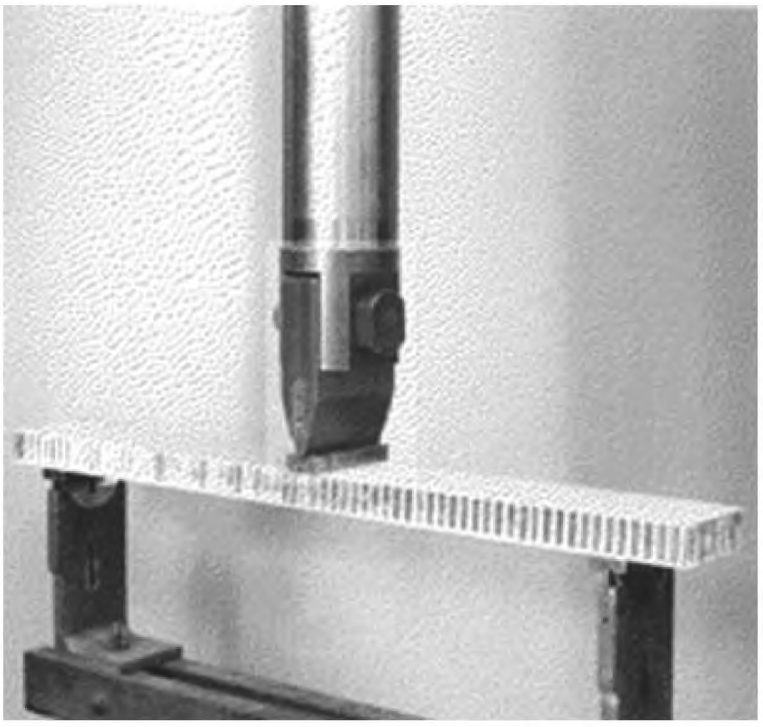


Рисунок А.1 — Оснастка испытательной машины при трехточечном изгибе (нестандартная схема нагружения)

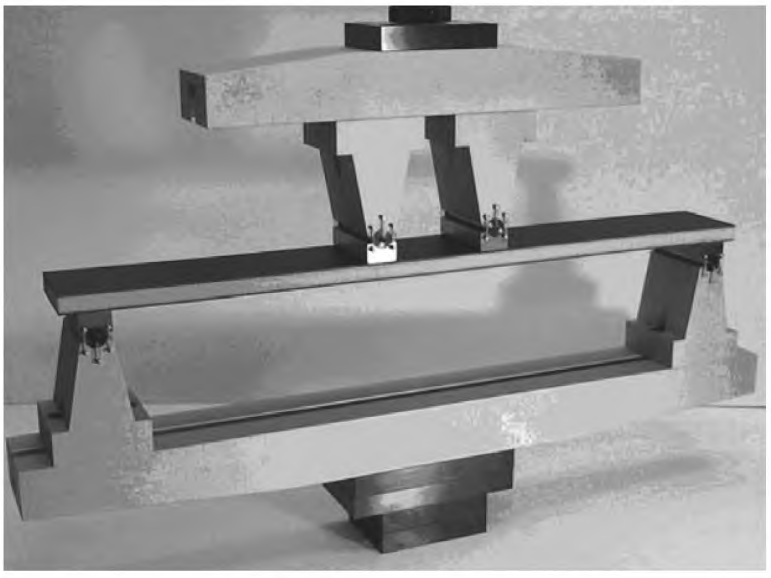


Рисунок А.2 — Оснастка испытательной машины при четырехточечном изгибе (стандартная схема нагружения)

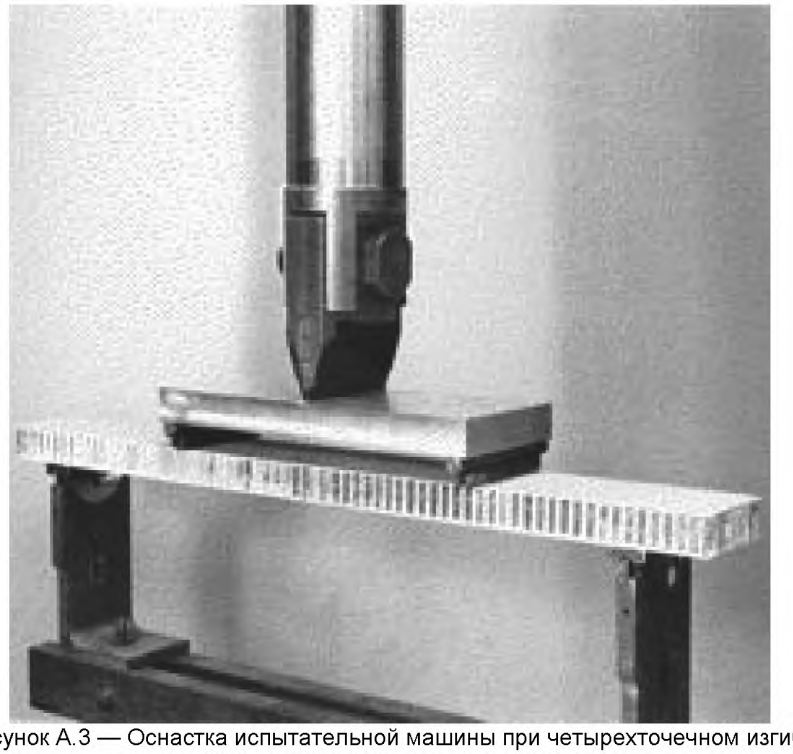


Рисунок А.3 — Оснастка испытательной машины при четырехточечном изгибе (нестандартная схема нагружения)

Приложение ДА
(справочное)

Оригинальный текст невключенных структурных элементов

ДА.1

3. Терминология

3.1 Определения — терминология стандарта D3878 включает термины, касающиеся высокомодульных волокон и их композитов. Терминология документа C274 содержит термины, касающиеся многослойных структур конструкционного назначения.

Терминология стандарта C393 включает термины, касающиеся пластиков.

Терминология стандарта E6 включает термины, касающиеся механических испытаний.

Терминология стандарта E456 и практических указаний E177 включает термины, относящиеся к статистике. В случае расхождения в определениях терминов, стандарт D3878 имеет приоритет в части терминологии.

3.2 Обозначения:

b — ширина образца;

c — толщина заполнителя;

CV — коэффициент вариации данного свойства, статистически репрезентативный для выборочной совокупности, %;

d — общая толщина слоистого изделия;

$D^{F,nom}$ — эффективная жесткость слоистого изделия при изгибе;

E^f — эффективный определяемый по хорде модуль упругости наружной поверхности;

ε — деформация, измеренная в наружной поверхности;

F^u — предел прочности наружной поверхности (на растяжение или сжатие);

F_s — допустимая прочность заполнителя на сдвиг;

F_c — допустимая прочность заполнителя на сжатие;

k — коэффициент запаса прочности заполнителя на сдвиг, обеспечивающий достижение разрушения наружной поверхности;

l — длина нагружаемого участка;

L — длина расстояния между опорами;

$l_{пластины}$ — длина нагружающей пластины;

n — количество образцов;

P — приложенная сила;

P_{max} — максимальная сила, передаваемая испытываемому образцу перед разрушением;

S_{n-1} — стандартное отклонение данного свойства, статистически репрезентативное для выборочной совокупности;

σ — напряжение наружной поверхности;

t — толщина наружной поверхности;

x_1 — результаты испытаний для одного образца из выборочной совокупности для данного свойства;

$\bar{x}$ — усредненное или среднее значение (расчетное среднее) из выборочной совокупности для данного свойства.

ДА.2

5. Значимость и применение

5.1 Испытания на изгиб плоских слоистых структур могут проводить для определения жесткости слоистого изделия на изгиб, прочности заполнителя на сдвиг и модуля сдвига заполнителя, а также для определения прочности наружных поверхностей на сжатие и растяжение. Кроме того, оценку прочности заполнителя на сдвиг можно использовать для оценки сопряжения заполнителя с наружной поверхностью.

5.2 Данная методика испытаний ограничена получением величин прочности и жесткости наружных поверхностей многослойных панелей, а также получением данных о зависимости упругой деформации от нагрузки, которые необходимы для расчета жесткости многослойной балки при изгибе и сдвиге методом, описанным в стандарте D7250/D7250M. По причине кривизны испытываемого образца, изогнутого под нагрузкой, прочность грани на сжатие, полученная в ходе данного испытания, не является аналогом прочности на сжатие грани слоистой структуры, испытывающей сжатие при воздействии исключительно на ребра (в одной плоскости).

5.3 Прочность заполнителя на сдвиг и модуль сдвига заполнителя наилучшим образом определяются в соответствии с методикой испытаний C273, при условии, что материал заполнителя не имеет примесей. Кроме того, для определения прочности заполнителя на сдвиг можно пользоваться методикой испытаний C393. Для расчета жесткости при изгибе и сдвиге многослойных балок допустимо использование стандартного метода D7250/D7250M.

5.4 Данную методику испытаний можно использовать для получения данных о прочности наружной поверхности для вывода допустимых значений величин при расчете на прочность, для составления технических условий на материалы, а также для исследований и разработок; кроме того, допустимо использование данной методики в рамках испытаний для контроля качества клееных слоистых панелей.

5.5 К факторам, влияющим на величину прочности наружной поверхности и, соответственно, подлежащим отражению в протоколе, относятся следующие: материал наружной поверхности, материал заполнителя, материал клея, методы изготовления материалов, технология наложения наружной поверхности и общая

толщина, геометрические параметры заполнителя (размер соты), плотность заполнителя, толщина клеящего слоя, геометрические параметры образца, подготовка образцов, температурно-влажностный режим образца, лабораторная среда, выравнивание образца, процедура нагружения, скорость проведения испытания, скрытая пористость наружной поверхности, скрытая пористость клеящего слоя, а также объемный процент армирования в наружной поверхности.

Следует отметить, что прочность наружной поверхности может быть различной у одного и того же материала для случая предварительно отвержденных/склеенных граней и для случая одновременного отверждения граней.

Примечание 2 — Концентрация сил, действующих на балки, имеющие тонкую наружную поверхность и заполнитель низкой плотности, может приводить к результатам, которые сложно интерпретировать, особенно вблизи точки разрушения. Более широкие нагружающие блоки и резиновые прижимающие пластины могут способствовать распределению сил.

Примечание 3 — Для того чтобы убедиться в том, что теория расчета балок на изгиб работает для элементарной многослойной балки, хорошим эмпирическим правилом для испытаний на изгиб в четырех точках состоит в том, что длина нагружаемого участка, деленная на толщину слоистого изделия, должна быть больше 20 ($L/d > 20$), при этом отношение толщины наружной поверхности к толщине заполнителя не должно превышать 0,1 ($t/c < 0,1$).

ДА.3

6. Мешающие воздействия

6.1 *Подготовка материалов и образцов* — к известным причинам разброса в данных, касающихся композитов и многослойных структур, относятся, как правило, ненадлежащие технологии изготовления материалов и повреждения при ненадлежащей механической обработке образца. Изменчивость коэффициента запаса прочности конкретных материалов в составе слоистых заполнителей влияет на плотность заполнителя.

Важными аспектами при подготовке образцов слоистого заполнителя, оказывающими влияние на разброс данных, являются наличие в заполнителе стыков, пористости и прочих неоднородностей, а также кривизна (отклонение от плоскости) и шероховатость поверхности.

6.2 *Геометрические параметры* — к особым геометрическим факторам, влияющим на прочность наружной поверхности слоистого изделия, относятся толщина наружной поверхности, геометрия соты заполнителя и плоскостность наружной поверхности (поверхность при сжатии со стороны оснастки или со стороны вакуумного мешка при формовании).

6.3 *Среда* — на результаты влияют условия среды, при которых производят поддержание температурно-влажностного режима образцов, а также условия, при которых проводят испытания. Образцы, подвергаемые испытаниям в различных средах, могут демонстрировать значительные различия как в показателях прочности, так и в режиме разрушения. Для критических сред потребуется независимое оценивание каждого конкретного сочетания испытываемых материала заполнителя, материала наружной поверхности и клея в сопряжении заполнителя с наружной поверхностью (в случае использования).

6.4 *Материал заполнителя* — если прочность на сдвиг или прочность на сжатие материала заполнителя недостаточны, существует вероятность местного раздробления заполнителя в точках нагружения или в окрестности таких точек, что в свою очередь приводит к разрушению грани по причине возникновения местных напряжений. В прочих случаях, разрушения наружной поверхности могут служить причиной местного раздробления заполнителя. Если в окрестности одной из точек нагружения возникает как разрушение наружной поверхности, так и разрушение заполнителя, определение механизма разрушения при последующем осмотре образца может представлять сложность, так как разрушенные образцы в значительной степени выглядят аналогично в обоих случаях.

ДА.4

9. Калибровка

9.1. Точность всех единиц измерительного оборудования должна быть подтверждена соответствующими калибровочными сертификатами, которые должны быть действительными на момент использования оборудования.

ДА.5

12. Повторное испытание

12.1 Значение максимально допустимых параметров не подлежат расчету применительно ко всем образцам, которые разрушаются при определенном очевидном дефекте, если только такой дефект не представляет собой исследуемую переменную. Если расчеты таких значений по данному образцу не проводятся, проводят повторные испытания.

12.2 Если существенный процент разрушений в выборке приходится на заполнитель или сопряжение заполнителя с наружной поверхностью, необходимо повторно проанализировать регламент нагружения и геометрические параметры образца.

ДА.6

15. Точность и систематическая погрешность

15.1 Точность — данные, требуемые для подготовки документального подтверждения точности, отсутствуют для данной методики испытаний.

15.2 Систематическая погрешность — определение систематической погрешности для данного метода испытаний не представляется возможным по причине отсутствия эталонных данных.

Приложение ДБ
(справочное)

Оригинальный текст модифицированных структурных элементов

ДБ.1

1.1 Данная методика испытаний касается определения свойств наружных поверхностей плоских многослойных структур, которые изгибают таким образом, чтобы приложенные моменты приводили к кривизне наружных плоскостей многослойной структуры и возникновению в наружных поверхностях сжимающих и растягивающих сил. К допустимым типам материалов заполнителей относятся материалы со сплошными поверхностями сопряжения (например, пробковое дерево и пены) и прерывистыми поверхностями сопряжения (например, сотовый заполнитель).

1.2 Значения, указанные в метрических единицах (единицах СИ), и значения в дюйм-фунтовых единицах, должны по отдельности рассматриваться как стандартные. Значения, указанные в каждой из систем, могут не быть точными эквивалентами; в связи с этим обе системы должны использоваться независимо одна от другой. Объединение значений из двух систем может явиться причиной несоответствия стандарту.

1.2.1 В тексте стандарта дюйм-фунтовые единицы даны в скобках.

1.3 Данный стандарт не предполагает освещения всех положений касательно безопасности, если таковые имеются, которые сопряжены с его использованием. Организация мероприятий по обеспечению надлежащей безопасности и гигиены труда, и определение применимости нормативных ограничений перед использованием данного стандарта является ответственностью пользователя данного стандарта.

Примечание 1 — Дополнительные варианты процедур для определения прочности на сжатие композитных материалов с однонаправленной полимерной матрицей в составе многослойной балки можно найти в методике испытаний D5467/D5467M.

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

ДБ.2

2.1 *Стандарты ASTM:*

C274 Терминология, касающаяся многослойных структур конструкционного назначения.

C393 Методика испытания свойств при изгибе многослойных структур.

D3878 Композитные материалы. Термины.

D5229/D5229M Метод определения влагопоглощения и достижения равновесного состояния композитных материалов с полимерной матрицей.

D5467/D5467M Метод испытания свойств под сжимающей нагрузкой у композитных материалов с полимерной матрицей одного направления посредством испытания составной слоистой балки.

D7250/D7250M Практические указания для определения жесткости многослойной балки при изгибе и сдвиге.

E6 Методика механических испытаний. Термины.

E122 Метод расчета размера выборки для оценки, с заданной точностью, среднего значения характеристики партии или процесса.

E177 Практические указания по использованию терминов точность и систематическая погрешность в методиках испытаний ASTM.

E251 Методики определения рабочих характеристик металлических склеенных тензодатчиков сопротивления.

E456 Терминология, касающаяся качества и статистики.

E1309 Руководство по идентификационному обозначению композитных материалов с полимерной матрицей, армированных волокном, в базах данных.

E1434 Руководство по занесению в базы данных результатов механических испытаний композитных материалов, армированных волокном.

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

ДБ.3

4.1 Концепция данной методики испытаний состоит в том, чтобы подвергнуть длинную балку (представляющую собой слоистую структуру), изгибающему моменту, действующему по нормали к плоскости слоистого изделия, при помощи приспособления для создания нагружения в 4 точках. Необходимо зафиксировать зависимость упругой деформации и деформации от измеренных значений силы.

4.2 К единственным приемлемым видам разрушения вследствие потери прочности гранью слоистого изделия относятся виды разрушений, отличающиеся внутренним расположением по отношению к одной из граней. Разрушение заполнителя слоистого изделия и разрушение сопряжения заполнителя с гранью, которые произошли до разрушения одной из граней, классифицируются как недопустимый вид разрушения. После проведения испытания необходим тщательный осмотр образца, поскольку разрушение наружной поверхности, возникшее в непосредственной близости к точкам нагружения, может быть вызвано местным разрушением, обусловленным действующим по нормали сжатием или сдвигом заполнителя и произошедшим ранее, чем разрушение наружной поверхности.

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

ДБ.4

7.1 Микрометры и штангенциркули — используют микрометр с плоскими контактными элементами или штангенциркуль соответствующего размера. Точность прибора(ов) должна соответствовать величине ±25 мкм [±0,001 дюйма] при измерениях толщины и величине ±250 мкм [±0,010 дюйма] при измерениях длины и ширины.

Примечание 4 — Приведенные величины точности соответствуют точности измерений в пределах 1 % от длины, ширины и толщины образца.

7.2 Приспособления для нагружения

7.2.1 Стандартная схема — стандартное нагружающее приспособление должно состоять из схемы нагружения в 4 точках с двумя опорными стержнями, расположенными по ширине образца ниже образца, а также двух нагружающих стержней, расположенных по ширине образца сверху от образца (рис. 1). Сила должна быть приложена в вертикальном направлении при помощи нагружающих стержней в то время как опорные стержни остаются закрепленными по месту в испытательной установке. В стандартном нагружающем приспособлении оси опорных стержней должны быть разнесены на расстояние 560 мм [22,0 дюймов], а оси нагружающих стержней — на расстояние 100 мм [4,0 дюйма].

7.2.2 Нестандартные схемы — все прочие схемы нагружающего приспособления (см. рис. 2) считаются нестандартными. Сведения о геометрических параметрах таких приспособлений должны быть задокументированы в протоколе испытаний. На рисунках 3–5 показаны типовые приспособления для испытаний. Нестандартные схемы нагружения в трех и четырех точках сохранены в данном стандарте a) в целях поддержания исторической взаимосвязи с прежними редакциями методики испытаний C393, b) по причине того, что при определенных вариантах конструктивного исполнения многослойных панелей необходимо использовать нестандартные схемы нагружения для получения определенных видов разрушения граней. Кроме того, c) данные о зависимости упругой деформации от нагрузки могут использоваться для расчета жесткости многослойной балки при изгибе и сдвиге методом, описанным в стандарте D7250/D7250M.

7.2.3 Стержни опирания и нагружения — стержни должны быть сконструированы таким образом, чтобы образец мог свободно вращаться в точках нагружения и опирания. Жесткость стержней должна быть достаточной, чтобы не допустить существенного прогиба стержней под нагрузкой; любое очевидное выгибание стержней, или же образование зазоров между стержнями и испытываемым образцом во время действия нагрузки должны классифицироваться как существенный прогиб. Нагружение плоского стального нагружающего блока шириной 25 мм [1,0 дюйм], контактирующего с образцом (через резиновые прижимные пластины), проводят в рекомендуемой схеме либо посредством цилиндрического шарнира (см. рис. 3), либо при помощи *V*-образного стержня, входящего в *V*-образный паз в верхней части стальной нагружающей пластины с плоским основанием. Минимальный радиус наконечников *V*-образных нагружающих стержней — 3 мм [0,12 дюйма]. Радиус *V*-образного паза в нагружающей пластине должен превышать радиус наконечника нагружающего стержня, а угол раствора паза должен быть таким, чтобы стороны нагружающих стержней не соприкасались со сторонами *V*-образного паза во время испытания. Кроме того, можно использовать нагружающие стержни в виде стальных цилиндров диаметром 25 мм [1,0 дюйм], но при этом риск местного раздрабливания образца цилиндрическими стержнями повышается. Кроме того, при такой ситуации обычно приходится увеличивать длину нагружаемого участка и расстояние между опорами, так использование нагружающих стержней цилиндрической формы без нагружающих пластин с *V*-образным пазом (например, роликовые опоры) приводит к образованию прогибов в образце.

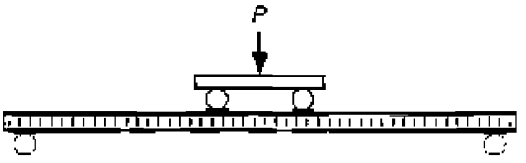


Рисунок 1 — Испытываемый образец и приспособление для проведения испытания

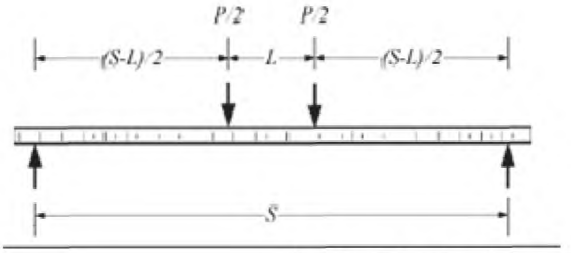


Схема нагружения		Расстояние между опорами *S*	Нагружаемый участок *L*
Стандартная	с нагружением в 4 точках	560 мм [22,0 дюйма]	100 мм [4,0 дюйма]
Нестандартная	с нагружением в 3 точках (серединный участок)	S	0,0
	с нагружением в 4 точках (участок в виде квадранта)	S	S/2
	с нагружением в 4 точках (участок в виде третьей части)	S	S/3

Рисунок 2 — Схемы нагружения

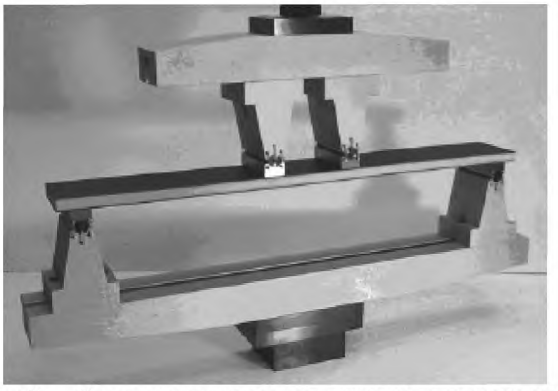


Рисунок 3 — Стандартная схема нагружения в четырех точках

7.2.4 Прижимные пластины — резиновые прижимные пластины, обладающие твердостью по Шору. С целью недопущения местного повреждения наружных поверхностей между нагружающими стержнями и образцом необходимо установить твердомер 60, шириной 25 мм [1,0 дюйм] и номинальной толщиной 3 мм [0,125 дюйма], по всей ширине образца.

7.3 Установка для испытаний — установка для испытаний должна соответствовать практическим указаниям Е4 и удовлетворять следующим требованиям:

7.3.1 Комплектация установки для испытаний — в установке для испытаний должны присутствовать неподвижная и подвижная головки.

7.3.2 Приводной механизм — приводной механизм установки для испытаний должен позволять передавать подвижной головке контролируемую скорость относительно неподвижной головки. Скорость подвижной головки должна регулироваться как указано в пункте 11.4.

7.3.3 Индикатор силы — прибор для определения силы (динамометр) в составе установки для испытаний с функцией индикации суммарной силы, действующей на испытательный образец. Устройство по сути не должно иметь инерции при заданной скорости испытания, а также должно показывать силу с погрешностью, превышающей ±1% от отображаемого значения для рассматриваемого(ых) диапазона(ов) сил.

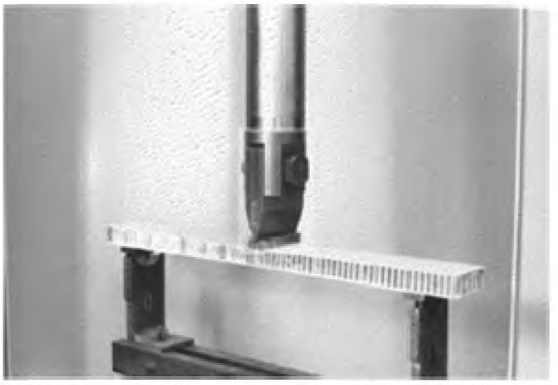


Рисунок 4 — Схема нагружения срединного участка в трех точках (нестандартная схема)

7.4 *Дефлектометр (линейный преобразователь скорости перемещения)* — необходимо измерять прогиб образца в середине отрезка между опорами при помощи должным образом откалиброванного устройства, имеющего погрешность ±1% или менее.

Примечание 5 — Смещение ползуна или исполнительного механизма в случае прогиба срединного участка балки приведет к получению неточных результатов; необходимо выполнить прямое измерение прогиба срединного участка балки при помощи соответствующего прибора.

7.5 *Прибор для индикации деформации* — потребуется при необходимости, величины деформации должны быть определены при помощи склеенных тензодатчиков сопротивления. На каждой грани по центру образца необходимо расположить по одному осевому элементу тензодатчика, при этом датчик должен быть отцентрован относительно продольной оси образца. Не допускается использование тензодатчиков в нестандартных схемах нагружения в трех точках по причине помех со стороны центрального нагружающего стержня.

7.5.1 *Выбор склеенных тензодатчиков сопротивления* — выбор тензодатчиков зависит от типа материала, который будет подвергнут испытаниям. Активная измерительная база тензодатчиков 1,5 мм [0,062 дюйма] рекомендована для композитных слоистых материалов, изготовленных из однонаправленных слоев.

Для некоторых тканных материалов тензодатчики большего размера могут оказаться более подходящими. Сертификация калибровки датчиков должна отвечать требованиям методики испытаний E251. Рекомендовано использование тензодатчиков с минимальным стандартным диапазоном величин деформации, равным приблизительно 3 %. При испытаниях слоистых материалов на основе ткани активная база выбираемого тензодатчика должна по меньшей мере соответствовать или превышать размер характерного повторяющегося элемента ткани. Далее приводятся некоторые практические рекомендации по использованию тензодатчиков применительно к композитным материалам. Ссылочный документ общего характера по данной теме — Tuttle и Brinson.

7.5.1.1 Подготовка поверхности композитов, армированных волокном, в соответствии с руководством E1237, может приводить к проникновению в материал матрицы и повреждению армирующих волокон, что в свою очередь приводит к разрушению контрольного образца по причине его несоответствия. В ходе подготовки поверхности армирующие волокна не должны подвергаться каким-либо воздействиям или повреждаться.

Для получения указаний в части подготовки поверхности и рекомендаций по выбору клеев для композитов необходимо обращаться к изготовителям тензодатчиков, отказавшись от разработки комплекса стандартных процедур, касающихся подготовки поверхности при монтаже тензодатчиков на армированные волокном композитные материалы.

7.5.1.2 При выборе тензодатчиков следует обратить внимание, что датчики большего сопротивления оказывают меньшее тепловое воздействие на материалы с низкой электропроводностью. Стандартные значения сопротивления составляют 350 Ω и выше. Кроме того, необходимо использовать минимально возможное напряжение возбуждения датчика, соответствующее требуемой погрешности (рекомендуемые значения 1 и 2 В), для уменьшения энергопотребления датчика. Нагрев контрольного образца от датчика может непосредственно влиять на характеристики материала, или же может влиять на определяемую деформацию вследствие разности между коэффициентом температурной компенсации датчика и коэффициентом теплового расширения материала контрольного образца.

7.5.1.3 Необходимо выбрать форму термокомпенсации, которая рекомендована даже при проведении испытаний в обычной лабораторной среде. Термокомпенсация может потребоваться при проведении испытаний в средах, температура которых отличается от комнатной температуры.

7.5.1.4 Необходимо оценить поперечную чувствительность выбранного тензодатчика. Для получения рекомендаций в части корректировок, связанных с поперечной чувствительностью, а также сведений о влиянии на композиты, необходимо проконсультироваться с изготовителем тензодатчиков.

7.6 *Камера поддержания температурно-влажностного режима* — при кондиционировании материалов для поддержания температурно-влажностного режима, отличного от обычной лабораторной среды, необходима камера поддержания температурно-влажностного режима, позволяющая регулировать температуру и уровень

образования паров. Такая камера должна поддерживать требуемую температуру в пределах ±3°С [±5 °F] и требуемый уровень относительной влажности в пределах ± 3 %. Требуется контролировать условия в камере либо постоянно в автоматизированном режиме, либо вручную через регулярные интервалы.

7.7 *Камера для моделирования условий окружающей среды* — Камера для моделирования условий окружающей среды требуется для таких условий проведения испытаний, которые отличаются от условий окружающей среды, имеющихся в испытательных лабораториях. Такая камера должна предусматривать возможность сохранения расчетного участка образца для испытаний в условиях требуемой среды для испытаний в ходе испытаний механических свойств.

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

ДБ.5

8.1 Отбор проб — проводят испытания не менее пяти образцов, определяя состояние испытываемых образцов, до получения приемлемых результатов посредством использования меньшего количества образцов, как в случае расчетного эксперимента. Для получения статистически значимых данных необходимо обратиться к процедурам, описанным в практических указаниях Е122. Метод отбора образцов необходимо занести в протокол.

8.2 *Геометрические параметры* — необходимо использовать образец стандартной конфигурации независимо от того, указывают ли расчетные уравнения для образца из 8.2.3 на то, что образец продемонстрирует требуемый вид разрушения наружной поверхности. В тех случаях, если при использовании образца стандартной конфигурации не удается добиться разрушения наружной поверхности, необходимо сконструировать нестандартный образец для получения разрушения наружной поверхности соответствующего вида.

8.2.1 *Стандартная конфигурация* — стандартный испытываемый образец должен представлять собой образец прямоугольного сечения, шириной 75 мм [3,0 дюйма] и длиной 600 мм [24,0 дюйма]. Глубина образца должна равняться толщине слоистой структуры.

8.2.2 *Нестандартные конфигурации* — В случае нестандартных геометрических характеристик образца его ширина должна по меньшей мере в два раза превышать общую толщину, но не превышать общую толщину более чем в шесть раз. Кроме того, ширина образца должна по меньшей мере в три раза превышать размер соты заполнителя, но не превышать одной четвертой длины нагружаемого участка. Длина образца должна равняться длине расстояния между опорами плюс 50 мм [2 дюйма] или плюс половина толщины слоистого изделия, в зависимости от того какая величина выше. Ограничения на максимальную ширину образца необходимы для того, чтобы перейти к упрощенному расчету многослойной балки; влияние изгибания пластины должны рассматриваться для образцов большей ширины, выходящих за пределы указанных выше ограничений.

8.2.3 *Конструкция образца* — определенная конструкция образца для испытания слоистой структуры на изгиб с целью определения предела прочности наружных поверхностей на сжатие или на разрыв необходима, чтобы не допустить раздробления заполнителя, сдвига заполнителя или разрушения сопряжения между заполнителем и наружной поверхностью. Наружные поверхности должны быть достаточно тонкими, а расстояние между опорами достаточно длинным, чтобы моменты, полученные в результате приложения сил, были достаточно низкими, а допустимое напряжение сдвига заполнителя не было превышено. Заполнитель должен быть достаточно толстым, чтобы не допустить избыточных прогибов. Следующие уравнения могут использоваться для определения размера испытываемого образца (в указанных уравнениях сделано допущение о том, что обе наружные поверхности имеют равную толщину и модуль, и что толщина наружной поверхности мала по сравнению с толщиной заполнителя [t/c £ ≤ ~0,10]:

Расстояние между опорами должно удовлетворять выражению

$$S \geq \frac{2\sigma t}{kF_s} + L. \quad (1)$$

Прочность заполнителя на сдвиг должна удовлетворять выражению

$$F_s \geq \frac{2\sigma t}{k(S-L)}. \quad (2)$$

Прочность заполнителя на сжатие должна удовлетворять выражению:

$$F_s \geq \frac{2(c+t)\sigma t}{(S-L))L_{\text{пластины}}} \quad (3)$$

где:

S — расстояние между опорами, мм [дюймы],

L — длина нагружаемого участка, мм [дюймы] (L — 0 для случая с нагружением в 3 точках),

σ — расчетный предел прочности наружной поверхности, МПа [фунты на кв. дюйм],

t — толщина наружной поверхности, мм [дюймы],

c — толщина заполнителя,

F_s — допустимая прочность заполнителя на сдвиг, МПа [фунты на кв. дюйм],

k — коэффициент запаса прочности заполнителя на сдвиг, обеспечивающий достижение разрушения наружной поверхности (рекомендовано k — 0,75),

$L_{\text{пластины}}$ — размер нагружающей пластины в продольном направлении образца, мм [дюймы], и

F_c — допустимая прочность заполнителя на сжатие, МПа [фунты на кв. дюйм].

8.3 Наружные поверхности

8.3.1 Боковая грань при сжатии — если заказчиком испытания не указано иного, то наружная поверхность со стороны вакуумного мешка одновременно отверждаемой композитной многослойной панели должна быть расположена сверху (наружная поверхность, нагружаемая сжатием при проведении испытаний), поскольку прочность на сжатие наружной поверхности более чувствительная к несовершенствам, характерным для поверхностей со стороны вакуумного мешка (например, внутрисотовое смятие) по сравнению с прочностью на растяжение наружной поверхности.

Примечание 6 — Разрушения при растяжении возникают достаточно редко, если только растягиваемая наружная поверхность не является более тонкой или изготовлена из материала, отличного от материала наружной поверхности, испытываемой на сжатие. Разрушение наружной поверхности при сжатии может возникать по причине фактического дробления, прогибов, вызванных слишком большой упругой деформацией, а также по причине образования морщин на наружной поверхности в заполнителе, отставания наружной поверхности от заполнителя, а также вдавливания наружной поверхности в ячейки сотового заполнителя.

8.3.2 Порядок наложения слоев — видимая прочность на изгиб, эффективные модули упругости наружной поверхности и жесткость при изгибе, полученные на основе данной методики, могут зависеть от порядка наложения наружных поверхностей, хоть и в меньшей степени по сравнению с ситуацией при изгибании слоистого материала. В случае стандартной конфигурации при проведении испытаний, наружные поверхности, состоящие из слоистого композитного материала, должны быть уравновешены и расположены симметрично относительно средней плоскости многослойной балки.

8.3.3 Жесткость — в случае стандартного образца материал, толщина и порядок наложения слоев наружных поверхностей должны быть одинаковыми. В расчетах делают допущение о том, что жесткостные характеристики верхней и нижней наружной поверхности постоянны и равны. Данное допущение может оказаться не применимым по отношению к некоторым материалам наружной поверхности (например, к композитам, армированным арамидом), у которых сильно различаются модули упругости при растяжении и сжатии или которые демонстрируют практически нелинейную зависимость напряжения от деформации.

8.3.4 Толщина наружной поверхности — точно выполняют измерение толщины наружной поверхности после склеивания или одновременного отверждения наружных граней и заполнителя достаточно сложно. Заказчик испытания должен указать значения толщины наружных граней, которые будут использоваться для расчетов в соответствии с данной методикой испытаний. Для граней металлических или предварительно отверждаемых композитных материалов, которые не сразу приклеивают к заполнителю, необходимо измерить толщину наружной грани до момента склеивания. В этих случаях заказчик испытаний может указать, какие толщины будут использоваться в расчетах: измеренные или номинальные, или и те, и другие. В случае одновременно отверждаемых наружных поверхностей композитных материалов, толщины обычно рассчитывают на основе значений номинальной толщины, приходящейся на слой.

8.4 Заполнитель — в случае испытываемых образцов с ячеистым материалом заполнителя, направление ленты заполнителя должно совпадать с продольным направлением образца, чтобы способствовать недопущению разрушений, вызываемых сдвигом заполнителя. Материал заполнителя необходимо выбирать таким образом, чтобы обеспечить достаточную местную прочность на сжатие и прочность на сдвиг под точками нагружения с целью недопущения местного раздробления заполнителя или разрушений при сдвиге, которые могут возникать ранее и быть причиной преждевременного разрушения наружной поверхности.

8.5 Подготовка и механическая обработка образцов — подготовка образцов имеет исключительно важное значение для данной методики испытаний. При вырезании образцов из крупных панелей необходимо действовать с осторожностью, чтобы не допустить образования надрезов, подрезов, неровных или шероховатых поверхностей или расслоений по причине взятия на вооружение ненадлежащих методов механической обработки. Получают окончательные размеры методом прецизионного выпиливания, фрезерования или выточки с подводом воды в качестве смазки. Применительно ко многим системам материалов была доказана чрезвычайная эффективность использования инструмента с алмазным напылением. Торцы должны быть плоскими и параллельными, а также не выходить за пределы заданных допусков. Метод подготовки (вырезания) образца фиксируют в протоколе.

8.6 Маркировка — необходимо промаркировать испытываемые образцы таким образом, чтобы они четко отличались друг от друга, и чтобы обеспечить обратную прослеживаемость происхождения панели. При этом маркировка не должна влиять на испытание и не должна пострадать при проведении испытания.

10 Поддержание температурно-влажностного режима

10.1 Рекомендуемое состояние образца перед началом испытаний должно отличаться эффективной равновесной влажностью при заданной относительной влажности в соответствии с методикой испытаний D5229/D5229M; при этом, если заказчик испытаний не требует поддержания какого-либо температурно-влажностного режима перед испытанием, кондиционирование не производят, и образцы испытывают непосредственно после подготовки.

10.2 Предварительное кондиционирование образцов, включая указанный уровень воздействия окружающей среды и результирующее влагосодержание, включают в протокол наряду с данными самих испытаний.

Примечание 7 — Термин «влажность», используемый в методе испытаний D5229/D5229M, охватывает не только пары жидкости и конденсат, но и саму жидкость в больших объемах, например, при погружении.

10.3 Если какой-либо температурно-влажностный режим не поддерживался в явном виде, то в протокол заносят следующую информацию: образец — «без кондиционирования», влагосодержание — "неизвестно".

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

ДБ 6

11.1 Параметры, которые необходимо зафиксировать до момента проведения испытания

11.1.1 Метод отбора образцов, геометрические параметры образца и условия поддержания температурно-влажностного режима подвижных элементов (если необходимо).

11.1.2 Рекомендуемый формат занесения свойств и данных в протокол.

11.1.3 Параметры поддержания температурно-влажностного режима среды при проведении испытания.

11.1.4 Номинальная толщина материалов наружной поверхности.

Примечание 8 — Определяют свойство удельного материала, погрешности, а также требования к фиксации данных до начала испытаний в целях корректного отбора КИП и аппаратуры регистрации данных. Для правильного выбора преобразователя, калибровки оборудования и определения настроек оборудования необходимо оценить прочность образца.

11.2 Общие указания:

11.2.1 Включают в протокол все случаи отхода от данной методики испытаний, независимо от того, были ли они преднамеренными или нет.

11.2.2 Проводят кондиционирование образца согласно требованиям. Образцы хранят в кондиционированной атмосфере до начала испытания в случае, если условия испытаний отличаются от условий кондиционирования.

11.2.3 Перед испытаниями необходимо выполнить измерения и запись длины, ширины и толщины образца в трех точках сечения.

Измеряют длину и ширину образца с точностью ±250 мкм [±0,010 дюйма]. Измерить толщину образца с точностью ±25 мкм [±0,001 дюйма]. Заносят в протокол размеры с точностью до трех значащих цифр в миллиметрах [дюймах].

11.2.4 Если необходимо измерить деформацию, прикрепляют по одному продольному тензодатчику к каждой наружной поверхности по центру образца.

11.3 Выполняют измерение и записывают для отрезков, соответствующих расстоянию между опорами и длине нагружаемого участка.

11.4 Скорость проведения испытания — задают скорость проведения испытания таким образом, чтобы добиться получения разрушения в течение 3—6 мин. При отсутствии возможности оценить предел прочности материала с достаточной степенью достоверности необходимо провести серию проб с использованием стандартных скоростей до тех пор, пока предел прочности материала и его соответствие системе не станут известны, таким образом, скорость проведения испытания может быть скорректирована на основании такого подхода. Предлагаемые стандартные темпы проведения испытаний:

11.4.1 Испытания при контроле деформации — стандартная скорость деформации — 0,01 мин$^{-1}$.

11.4.2 Испытания при постоянной скорости смещения головки — стандартная скорость смещения ползуна 6 мм/мин [0,25 дюйма/мин].

11.5 Лабораторная среда — по возможности испытывают образец при том же уровне воздействия жидкой среды, который имел место при обеспечении температурно-влажностного режима. И тем не менее в таких случаях, как испытания в условиях повышенной температуры в условиях влажности образца устанавливают нереалистичные требования к возможностям камер с регулируемой атмосферой обычных аппаратов для испытаний. В таких случаях может потребоваться изменения условий для проведения механических испытаний, например, при испытании в условиях повышенных температур при условии отсутствия регулировки времени воздействия рабочей жидкости, но с установленным лимитом по времени наработки на отказ, когда образец извлекают из камеры кондиционирования. Заносят в протокол все сведения об изменениях в лабораторной среде.

11.6 Монтаж приспособления — изготовляют нагружающее приспособление как показано на рисунках 1 и 2 и помещают приспособление в установку для испытаний.

11.7 Ввод и центровка образцов — помещают образец в приспособление для испытаний. Необходимо отцентрировать образец таким образом, чтобы продольная ось образца была перпендикулярна (отклонение в пределах 1°) продольным осям нагружающих стержней, а стержни были параллельны (отклонение в пределах 1°) плоскости граней образца.

11.8 Монтаж первичного преобразователя — соединяют прибор для регистрации величины деформации с тензодатчиками на образце. Присоединяют датчик упругой деформации (линейный преобразователь скорости перемещения) к приспособлению и образцу, а затем подключают к регистрирующей аппаратуре. Снимают любые остаточные вызванные нагрузкой предварительные напряжения, обнуляют тензодатчики и балансируют линейный преобразователь скорости перемещения.

11.9 Нагружение — прикладывают к образцу сжимающее усилие с заданной скоростью и одновременно вести регистрацию данных. Нагружают образец до момента разрушения.

11.10 Регистрация данных — необходимо фиксировать данные о зависимости силы от смещения головки, деформации от силы и упругой деформации по показаниям линейного преобразователя скорости перемещения

от силы. Регистрация должна вестись в непрерывном режиме или через регулярные интервалы (порядка 2-3 показаний в секунду с целевым показателем минимум 100 зарегистрированных точек данных на испытание). При обнаружении ранних разрушений фиксируют нагрузку, смещение и характер разрушения. К потенциальным первичным (некатастрофичным) разрушениям, которые необходимо зарегистрировать, относят: расслоение граней, отставание заполнителя от грани, частичное разрушение заполнителя и местное раздробление заполнителя. Заносят в протокол режим, участок и место каждого первичного разрушения. Используют идентификационные обозначения разрушений, представленные в таблице 1. Также необходимо зафиксировать метод, использованный для определения первичного разрушения (визуальный, акустической эмиссии и т.п.). Заносят в протокол максимальное значение силы, усилие разрушения, измеренные значения деформации, смещение головки, а также упругую деформацию по показаниям линейного преобразователя скорости перемещения в момент предельного разрушения или в момент максимально близкий к такому разрушению.

11.11 Виды предельных разрушений — фиксируют вид, участок и место предельного разрушения для каждого образца. Используют идентификационные обозначения разрушений, представленные в табл. 1. К приемлемым видам разрушений относятся только разрушения граней слоистой структуры при растяжении или сжатии. Разрушение заполнителя слоистого изделия и разрушение сопряжения заполнителя с гранью, которые произошли до разрушения одной из граней, классифицируют как недопустимый вид разрушения.

11.11.1 Приемлемая площадь разрушения — приемлемая площадь разрушения лежит в границах между нагружающими (верхними) стержнями в случае схемы с нагружением в четырех точках или в радиусе 12 мм [0,50 дюйма] от нагружающего стержня в случае схемы с нагружением в трех точках.

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

ДБ.7

13.1 *Зависимость силы от смещения* — строют кривую и анализируют данные о зависимости силы от смещения для выявления любых существенных расхождений и изменений (изменение наклона кривой зависимости силы от смещения, иногда именуемое переходной областью) до момента предельного разрушения (существенное изменение определяется как 10 % изменение наклона или изменение большей величины). Пример переходной области приводится в методике испытаний D3410. Определяют наклон кривой зависимости силы от смещения выше и ниже точки перехода на основании определяемых по хорде значений, лежащих вне линейных участков кривой. Строят пересечения линейных наклонов для нахождения точки перехода. Заносят в протокол силу и смещение в таких точках, а также значения смещения, используемые для определения наклонов по хорде. Заносят в протокол все виды повреждений, наблюдаемых во время испытания до момента разрушения образца.

13.2 *Предельное напряжение наружной поверхности* рассчитывают при помощи уравнения (4) и заносят результаты в протокол с округлением до трех значащих цифр. Уравнение (4) работает для образцов с наружными поверхностями равной или неравной толщины, при условии, что толщины наружных поверхностей малы по сравнению с толщиной заполнителя [t/c £ ≤ ~0,10]. В случае образцов с наружными поверхностями неравной толщины, рассчитывают и заносят в протокол отдельные значения предельного напряжения наружной поверхности для каждой грани.

$$F_1^u = \frac{P_{max}}{2}\left(\frac{S-L}{2}\right)\left(\frac{1}{c+t_1/2+t_2/2}\right)\frac{1}{bt_1} = \\ = \frac{P_{max}(S-L)}{2(d+c)bt_1} = \frac{P_{max}S(1-L/S)}{4(d-t_1/2-t_2/2)bt_1} \qquad (4)$$

$$F_2^u = \frac{P_{max}(S-L)}{2(d+c)bt_2} = \frac{P_{max}S(1-L/S)}{4(d-t_1/2-t_2/2)bt_2}$$

где: F_1^u — предельное напряжение наружной поверхности 1, МПа [фунты на кв. дюйм],

F_2^u — предельное напряжение наружной поверхности 2, МПа [фунты на кв. дюйм],

P_{max} — максимальное усилие до момента разрушения, Н [фунт],

t_1 — номинальная толщина наружной поверхности 1, мм [дюймы],

t_2 — номинальная толщина наружной поверхности 2, мм [дюймы],

d — измеренная общая толщина слоистой структуры, мм [дюймы],

c — расчетная толщина заполнителя, мм [дюймы] (для образцов с равными гранями, $c = d — 2t$, для образцов с неравными гранями, $c = d — t_1 — t_2$),

b — ширина образца, мм [дюймы],

S — расстояние между опорами, мм [дюймы] и

L — длина нагружаемого участка, мм [дюймы] (L = 0 для случая с нагружением в 3 точках).

Таблица 1 — Трехсимвольные идентификационные обозначения разрушений наружных поверхностей многослойных панелей

Первый символ		Второй символ		Третий символ	
Режим разрушения	Шифр	Участок разрушения	Шифр	Место разрушения	Шифр
Отслоение оболочки от заполнителя	D	У нагружающего стержня	A	Нижняя наружная поверхность	B
Разрушение нити	F	Датчик	G	Верхняя наружная поверхность	T
Сквозная трещина	H	Несколько участков	M	Обе наружные поверхности	F
Нестабильность слоя	L	Снаружи от датчика	O	Заполнитель	C
Местный залом	W	Различные	V	Сопряжение между заполнителем и наружной поверхностью	A
Несколько видов	M (xyz)	Неизвестен	U	Различные	V
Дробление заполнителя	C			Неизвестно	U
Продольное расщепление	P				
Растяжение	N				
Поперечный сдвиг	S				
Взрывной тип	X				
Прочее	O				

Примечание 9 — Точно выполнить измерение толщины наружной поверхности после склеивания или одновременного отверждения граней и заполнителя достаточно сложно. Заказчик испытания должен указать значения толщины наружных граней, которые будут использоваться для расчетов в соответствии с данной методикой испытаний. Для граней предварительно отверждаемых композитных материалов, которые не сразу приклеивают к заполнителю, необходимо измерить толщину наружной грани до момента склеивания. В этих случаях заказчик испытаний может указать какие толщины будут использоваться в расчетах: измеренные или номинальные, или и те и другие. В случае одновременно отверждаемых наружных поверхностей, толщины обычно рассчитываются на основе значений номинальной толщины, приходящейся на слой.

Примечание 10 — При аппроксимации первого порядка распределения напряжении при сдвиге, выраженного через толщину многослойной панели с тонкими гранями, задействовано линейное распределение напряжений при сдвиге в гранях, начиная с нуля на свободной поверхности с увеличением до значения напряжения при сдвиге заполнителя на участке сопряжения грани с заполнителем. Таким образом, эффективная площадь напряжения при поперечном сдвиге равна толщине заполнителя + 1/2 толщины каждой грани, которая равна $c + t_1/2 + t_2/2 = (d + c)/2$.

13.3 *Эффективный определяемый по хорде модуль наружной поверхности* — рассчитывают эффективный определяемый по хорде модуль для каждой грани при помощи уравнения 5 и заносят в протокол результаты с округлением до трех значащих цифр каждой наружной поверхности (учесть сжатие для верхней наружной поверхности и растяжение для нижней наружной поверхности).

$$E_{f1}=(\sigma_{1_3000} - \sigma_{1_1000})/[(\varepsilon_{1_3000} - \varepsilon_{1_1000})((c+t_1/2+t_2/2)/(c+t_1+t_2))]$$
$$E_{f2}=(\sigma_{2_3000} - \sigma_{2_1000})/[(\varepsilon_{2_3000} - \varepsilon_{2_1000})((c+t_1/2+t_2/2)/(c+t_1+t_2))], \quad (5)$$

где:

E_{f1} — эффективный определяемый по хорде модуль наружной поверхности 1, Па [фунты на кв. дюйм],

E_{f2} — эффективный определяемый по хорде модуль наружной поверхности 2, Па [фунты на кв. дюйм],

σ_{1_3000} — напряжение наружной поверхности 1, рассчитанное при помощи уравнения 4 для приложенного усилия, соответствующего ε_{1_3000}, Н [фунт-сила],

σ_{1_1000} — напряжение наружной поверхности 1, рассчитанное при помощи уравнения 4 для приложенного усилия, соответствующего ε_{1_1000}, Н [фунт-сила],

σ_{2_3000} — напряжение наружной поверхности 2, рассчитанное при помощи уравнения 4 для приложенного усилия, соответствующего ε_{2_3000}, Н [фунт-сила],

σ_{2_1000} — напряжение наружной поверхности 2, рассчитанное при помощи уравнения 4 для приложенного усилия, соответствующего ε_{2_1000}, Н [фунт-сила],

ε_{1_3000} — зарегистрированное значение (величина) деформации наружной поверхности 1, ближайшее к микро-деформации 3000,

ε_{1_1000} — зарегистрированное значение (величина) деформации наружной поверхности 1, ближайшее к микро-деформации 1000,

ε_{2_3000} — зарегистрированное значение (величина) деформации наружной поверхности 2, ближайшее к микро-деформации 3000,

ε_{2_1000} — зарегистрированное значение (величина) деформации наружной поверхности 2, ближайшее к микро-деформации 1000.

13.4 *Жесткость слоистой структуры при изгибе* — рассчитывают эффективную жесткость слоистой структуры при изгибе при помощи уравнения 6 и заносят в протокол результаты с округлением до трех значащих цифр.

$$D^{F,ном} = \frac{(S-L)\cdot d}{4}\cdot\left(\frac{P^{3000}-P^{1000}}{(\varepsilon_{1_3000}-\varepsilon_{1_1000})+(\varepsilon_{2_3000}-\varepsilon_{2_1000})}\right), \quad (6)$$

где:

ε_{1_3000} — зарегистрированное значение (величина) деформации наружной поверхности 1 (верхней поверхности), ближайшее к микро-деформации 3000,

ε_{1_1000} — зарегистрированное значение (величина) деформации наружной поверхности 1 (верхней поверхности), ближайшее к микро-деформации 1000,

P^{3000} — приложенное усилие, соответствующее деформации ε_{1_3000} наружной поверхности 1, Н [фунт-сила],

P^{1000} — приложенное усилие, соответствующее деформации ε_{1_1000} наружной поверхности 1, Н [фунт-сила],

ε_{2_3000} — зарегистрированное значение (величина) деформации наружной поверхности 2 (нижняя поверхность), соответствующее P^{3000},

ε_{2_1000} — зарегистрированное значение (величина) деформации наружной поверхности 2 (нижняя поверхность), соответствующее P^{1000}.

Примечание 11 — Уравнение 6 строго действует лишь в тех случаях, когда упругостью многослойной балки под действием сдвига можно пренебречь. Процедуры и уравнения для расчета жесткости слоистой структуры при изгибе и сдвиге по толщине в случаях, когда упругостью под действием сдвига нельзя пренебречь, можно найти в стандарте ASTM D7250/D7250M.

13.5 Статистические данные

Для каждой серии испытаний рассчитывают среднее арифметическое значение, среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации (в процентах) для предела прочности и модуля упругости:

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=L}^{n} X_i\right)/n, \quad (7)$$

$$S_{n-1} = \sqrt{\left(\sum_{i=l}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2\right)/(n-1)}, \quad (8)$$

$$CV = 100 \times S_{n-1}/\bar{x}, \quad (9)$$

где:

$\bar{x}$ — выборочное среднее (оценка среднего),

S_{n-1} — типовое отклонение образца,

CV — коэффициент вариации для образца, в %,

n — количество образцов, подвергнутых испытаниям,

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

ДБ.8

14.1 Насколько это максимально возможно, протоколируют следующее или справочные значения, которые ссылаются на иные документы, содержащие данные сведения (в зону ответственности стороны, которая подает запрос, входит протоколирование неконтролируемых параметров конкретной лаборатории испытаний, например, таких, которые могут иметь место применительно к информации о материалах или к параметрам изготовления панелей).

Примечание 12 — В руководящих документах E1309 и E1434 содержатся рекомендации по протоколированию данных применительно к композитным материалам и механическим испытаниям композитных материалов.

14.1.1 Ревизия или дата выпуска настоящего метода испытаний.

14.1.2 ФИО лиц(а), проводивших(его) испытания.

14.1.3 Любые изменения касательно данного метода испытаний, нештатные случаи, которые зафиксированы во время проведения испытаний или проблемы с оборудованием, которые имеют место во время испытаний.

14.1.4 Идентификационное обозначение всех материалов, входящих в состав образца многослойной панели, который был подвергнут испытанию (включая материалы наружной поверхности, клеящего вещества и заполнителя), включая для каждого: технические условия на материалы, тип материала, обозначение материала изготовителем, партию и номер партии у изготовителя, происхождение (при отсутствии изготовителя), дату сертификации и срок действия сертификации. Описание ориентации заполнителя.

14.1.5 Описание технологических этапов, используемых для подготовки многослойных панелей, включая: дату начала изготовления, дату окончания изготовления, технические условия на процесс изготовления (технологию), а также характеристику используемого оборудования.

14.1.6 Метод подготовки испытываемого образца, включая схему и метод маркировки образца, геометрические параметры образца, метод отбора образцов и метод вырезания образцов.

14.1.7 Результаты всех испытаний методом неразрушающего контроля.

14.1.8 Даты калибровки и методы по всем измерениям и контрольно-измерительной аппаратуре.

14.1.9 Сведения о нагружающих стержнях и аппаратуре, включая схему нагружения, размеры нагружаемого участка и расстояние между опорами, сведения о нагружающих стержней и используемом материале(ах).

14.1.10 Тип испытательной установки, результаты выверки соосности, а также периодичность регистрации показаний и тип оборудования.

14.1.11 Тип, диапазон и чувствительность линейного преобразователя скорости перемещения и всей прочей аппаратуры, используемой для измерения прогибов нагружающих пластин.

14.1.12 Измеренные для каждого образца значения длины, ширины и толщины.

14.1.13 Массу образца, при наличии запроса.

14.1.14 Параметры и результаты поддержания температурно-влажностного режима.

14.1.15 Относительная влажность и температура в лаборатории испытаний.

14.1.16 Среда в камере с регулируемой атмосферой (если применяется) испытательного агрегата, а также время выдержки в условиях окружающей среды.

14.1.17 Количество испытанных образцов.

14.1.18 Темп испытаний.

14.1.19 Толщины наружных поверхностей, используемые в расчетах.

14.1.20 Отдельные значения предельной прочности наружной поверхности, а также усредненное значение, среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации, %, для выборки.

14.1.21 Отдельные значения эффективных модулей упругости наружной поверхности при сжатии и растяжении, а также усредненное значение, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации (в процентах) для выборки.

14.1.22 Отдельные значения эффективной жесткости слоистой структуры при изгибе, а также усредненное значение, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации , %, для выборки.

14.1.23 Данные о зависимости силы от смещения ползуна для каждого образца.

14.1.24 Данные о зависимости силы от смещения линейного преобразователя скорости перемещения для каждого образца.

14.1.25 Данные о зависимости силы от деформации для каждого тензодатчика по каждому образцу.

14.1.26 Режим разрушения и место разрушения.

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

Приложение ДВ
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта ASTM

Таблица ДВ.1

Структура настоящего стандарта	Структура международного стандарта ASTM Д7249/Д7249М—12
1 Область применения (1)	1 Область применения
2 Нормативные ссылки (2)	2 Нормативные ссылки
[1)]	3 Терминология
3 Сущность метода (4)	4 Сводная информация по методу испытаний
[2)]	5 Значимость и применение
[2)]	6 Мешающие воздействия
4 Оборудование (7)	7 Аппаратура
5 Подготовка к проведению испытаний[3)] (—) 5.1 Подготовка образцов (8) 5.2 Условия кондиционирования (10)	8 Отбор образцов и испытываемые образцы
[2)]	9 Калибровка
6 Проведение испытаний (11)	10 Поддержание температурно-влажностного режима
7 Обработка результатов (13)	11 Процедура
[2)]	12 Повторное испытание
8 Протокол испытаний (14)	13 Расчет
	14 Протокол
[4)]	15 Точность и систематическая погрешность
[5)]	16 Ключевые слова
Приложение А Примеры оснастки испытательной машины	—
Приложение ДА Оригинальный текст невключенных структурных элементов	—
Приложение ДБ Оригинальный текст модифицированных структурных элементов	—
Приложение ДВ Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного международного стандарта	—

[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.

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

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

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

Приложение ДГ
(справочное)

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

Таблица ДГ.1

Обозначение ссылочного национального, межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ Р 00001—2015	MOD	ASTM D3410/D3410M—03(2008) «Стандартный метод определения характеристик при сжатии композитных материалов с полимерной матрицей методом сдвиговой нагрузки»
ГОСТ Р 00002—2015	MOD	ASTM D7250/D7250M—06(12) «Стандартный метод определения жесткости на изгиб и сдвиг «сэндвич»-конструкции»
ГОСТ Р 00003—2015	MOD	ASTM D7250/D7250M—06(12) «Стандартный метод определения жесткости на изгиб и сдвиг «сэндвич»-конструкции»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - MOD — модифицированные стандарты.		

УДК 691.419.8:006.354 ОКС 83.120

Ключевые слова: композиты полимерные, определение механических характеристик, изгиб, внешний слой «сэндвич»-конструкции, метод испытания длинной балки на изгиб

Редактор *И.А. Косоруков*

Корректор *И.А. Королева*

Компьютерная вёрстка *Е.К. Кузиной*

Подписано в печать 08.02.2016. Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 3,26. Тираж 34 экз. Зак. 4336.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

123995 Москва, Гранатный пер., 4.

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

ОКС 83.120

Изменение № 1 ГОСТ Р 56680—2015 Композиты полимерные. Определение механических характеристик при изгибе материала внешнего слоя «сэндвич»-конструкций методом испытания длинной балки на изгиб

Утверждено и введено в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07.05.2019 № 182-ст

Дата введения — 2019—06—30

Предисловие. Пункт 1 изложить в новой редакции:

«1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Центр нормирования, стандартизации и классификации композитов», Акционерным обществом «НПО Стеклопластик» совместно с Объединением юридических лиц «Союз производителей композитов» на основе официального перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4, который выполнен ТК 497 «Композиты, конструкции и изделия из них»;

пункт 4. Заменить ссылки: «ASTM D7249/D7249M—12» на «АСТМ Д7249/Д7249М—18»; «ASTM D7249/D7249M—12» на «ASTM D7249/D7249M—18».

Раздел 2. Исключить ссылки:

- «*(ASTM D3410/D3410M—03(2008) «Стандартный метод определения характеристик при сжатии композитных материалов с полимерной матрицей методом сдвиговой нагрузки», MOD)*»;

- «*(ASTM D5229/D5229M—12 «Стандартный метод определения влагопоглощения и равновесного состояния композитных материалов с полимерной матрицей», MOD)*»;

- «*(ASTM D7250/D7250M—06(12) «Стандартный метод определения жесткости на изгиб и сдвиг «сэндвич»-конструкции», MOD)*»;

ГОСТ 7338—90. В наименовании заменить слово: «резинотканные» на «резинотканевые»;

ГОСТ Р 56798—2015. Наименование изложить в новой редакции: «*Композиты полимерные. Метод определения механических характеристик при изгибе «сэндвич»-конструкций*».

Подпункт 5.1.8.1 изложить в новой редакции:

«5.1.8.1 Ширину образца b, мм, выбирают из условий:

$$2d < b < 6d, \quad (1)$$

где d — толщина образца (толщина испытуемого изделия), мм;

$$3n < b < \frac{1}{4}S, \quad (2)$$

где S — длина пролета, мм;

n — размер соты материала внутреннего слоя образца, мм».

Подпункт 5.1.8.2. Последний абзац изложить в новой редакции:

«Если $0{,}5d > 50$ мм, длину образца $L_{обр}$, мм, вычисляют по формуле

$$L_{обр} = S + 0{,}5d. \quad (4)».$$

Пункт 5.2.1. Заменить ссылку: «ГОСТ Р 567622» на «ГОСТ Р 56762».

Пункт 7.1 изложить в новой редакции:

«7.1 Предельное напряжение при растяжении или сжатии материала внешнего слоя при равной толщине верхней и нижней граней образца F^u, МПа, вычисляют по формуле

$$F^u = \frac{P_{max} \cdot S \cdot \left(1 - \frac{L}{S}\right)}{4(d-t)bt}, \quad (9)$$

где P_{max} — максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н.

При разной толщине верхней и нижней граней образца предельное напряжение при сжатии или растяжении рассчитывают для каждой грани.

Предельное напряжение при сжатии верхней грани образца F_1^u, МПа, вычисляют по формуле

$$F_1^u = \frac{P_{max} \cdot (S-L) \cdot (a-\bar{y})}{4b \cdot \left[t_1(a-\bar{y})^2 + \frac{E_2}{E_1} \cdot t_2 \cdot \bar{y}^2\right]}, \quad (10)$$

где a — расстояние между срединными плоскостями верхней и нижней граней образца, мм;

t_1 — толщина верхней грани образца, мм;

t_2 — толщина нижней грани образца, мм;

E_1 — модуль упругости верхней грани образца, МПа;

E_2 — модуль упругости нижней грани образца, МПа;

$\bar{y}$ — расстояние между срединной плоскостью нижней грани образца и нейтральной осью образца, мм.

Предельное напряжение при растяжении нижней грани образца F_2^u, МПа, вычисляют по формуле

$$F_2^u = \frac{P_{max} \cdot (S - L) \cdot (\bar{y})}{4b \cdot \left[t_1 (a - \bar{y})^2 + \frac{E_2}{E_1} \cdot t_2 \cdot \bar{y}^2 \right]}. \quad (11)$$

Расстояние между срединными плоскостями верхней и нижней граней образца a, мм, вычисляют по формуле

$$a = d - \frac{t_1}{2} - \frac{t_2}{2}. \quad (12)$$

Расстояние между срединной плоскостью нижней грани образца и нейтральной осью образца $\bar{y}$, мм, вычисляют по формуле

$$\bar{y} = \frac{a \cdot t_1}{t_1 + \frac{E_2 \cdot t_2}{E_1}}. \quad (13)».$$

Пункт 7.3. Заменить ссылку: «ГОСТ Р 567983» на «ГОСТ Р 56798».

Пункт 7.4. Заменить ссылку: «ГОСТ 14359 (подпункт 4.3)» на «ГОСТ 14359—69 (подпункт 4.3)».

Пункт 7.6. Заменить ссылку: «ГОСТ 14359 (подпункт 4.6)» на «ГОСТ 14359—69 (подпункт 4.6)».

Приложение ДА. Подраздел ДА.1. Пункт 3.1 изложить в новой редакции:

«3.1 Определения

Терминология стандарта D3878 включает термины, касающиеся высокомодульных волокон и их композитов. Терминология стандарта E6 включает термины, касающиеся механических испытаний. Терминология стандарта E456 и практических указаний E177 включает термины, относящиеся к статистике. В случае расхождения в определениях терминов стандарт D3878 имеет приоритет в части терминологии».

Приложение ДБ. Подраздел ДБ.1. Примечание. Заменить ссылки: «*ГОСТ Р 1.5 (пункт 3.1)* и *ГОСТ 1.5 (подраздел 3.7)*» на «ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.1) и ГОСТ 1.5—2001 (подраздел 3.7)»;

подраздел ДБ.2 исключить;

подраздел ДБ.3. Примечание. Заменить ссылку: «*ГОСТ 1.5 (пункт 7.9.5)*» на «ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.5)»;

подраздел ДБ.4. Пункт 7.7. Примечание. Заменить ссылку: «*ГОСТ 1.5 (пункт 7.9.6)*» на «ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.6)»;

подраздел ДБ.5. Пункт 10.3. Примечание. Заменить ссылку: «*ГОСТ 1.5 (пункт 7.9.7)*» на «ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.7)»;

подраздел ДБ.6. Пункт 11.11.1. Примечание. Заменить ссылку: «*ГОСТ 1.5 (пункт 7.9.8)*» на «ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.8)»;

подраздел ДБ.7. Пункты 13.1 и 13.2 изложить в новой редакции:

«*13.1 Зависимость силы от смещения*

Строят кривую и анализируют данные о зависимости силы от смещения для выявления любых существенных расхождений и изменений (изменение наклона кривой зависимости силы от смещения, иногда именуемое переходной областью) до момента предельного разрушения (существенное изменение определяется как 10 %-ное изменение наклона или изменение большей величины). Пример переходной области приводится в методике испытаний D3410/D3410M. Определяют наклон кривой зависимости силы от смещения выше и ниже точки перехода на основании определяемых по хорде значений, лежащих вне линейных участков кривой. Строят пересечения линейных наклонов для нахождения точки перехода. Заносят в протокол силу и смещение в таких точках, а также значения смещения, исполь-

зуемые для определения наклонов по хорде. Заносят в протокол все виды повреждений, наблюдаемых во время испытания, до момента разрушения образца.

13.2 Предельное напряжение внешнего слоя

Рассчитывают предельное напряжение внешнего слоя и заносят результаты в протокол с округлением до трех значащих цифр.

13.2.1 Образцы с равными материалами внешних слоев и толщинами

Вычисляют и записывают предельное напряжение внешнего слоя, используя формулу 4.

Таблица 1 — Трехсимвольные идентификационные обозначения разрушений внешнего слоя «сэндвич»-конструкций

Первый символ		Второй символ		Третий символ	
Режим разрушения	Шифр	Участок разрушения	Шифр	Место разрушения	Шифр
Отслоение оболочки от внутреннего слоя	D	У нагружающего стержня	A	Нижний внешний слой	B
Разрушение нити	F	Датчик	G	Верхний внешний слой	T
Сквозная трещина	H	Несколько участков	M	Оба внешних слоя	F
Нестабильность слоя	L	Снаружи от датчика		Внутренний слой	C
Местный залом	W	Различные	V	Сопряжение между внутренним и внешним слоями	A
Несколько видов	M (xyz)	Неизвестен	U	Различные	V
Дробление внутреннего слоя	C			Неизвестно	U
Продольное расщепление	P				
Растяжение	N				
Поперечный сдвиг	S				
Взрывной тип	X				
Прочее	O				

$$F^{u} = \frac{P_{max}}{2} \cdot \left(\frac{S-L}{2}\right)\left(\frac{1}{c+\frac{t}{2}+\frac{t}{2}}\right)\frac{1}{bt} = \frac{P_{max}\cdot(S-L)}{2(d+c)bt} = \frac{P_{max}\cdot S\cdot\left(1-\frac{L}{S}\right)}{4(d-t)bt}, \quad (4)$$

где b — ширина образца, мм [дюймы];

c — расчетная толщина внутреннего слоя, мм [дюймы] ($c = d - 2t$, см. рисунок 6);

d — измеренная общая толщина «сэндвич»-конструкции, мм [дюймы];

F^{u} — предельное напряжение внешнего слоя, МПа [фунты на кв. дюйм];

L — длина нагружаемого участка, мм [дюймы] ($L = 0$ для случая с нагружением в 3 точках);

P_{max} — максимальное усилие до момента разрушения, Н [фунт];

S — расстояние между опорами, мм [дюймы];

t — номинальная толщина внешнего слоя, мм [дюймы].

13.2.2 Образцы с неравными внешними слоями (нестандартные образцы для испытаний)

Вычисляют и записывают отдельные значения предельного напряжения для каждого внешнего слоя, используя формулу 4а.

Примечание 9 — Приведенные уравнения применяются, когда внешние слои выполнены из разных материалов или имеют разный порядок наложения слоев, или и то и другое. Модули внешних слоев, используемые в уравнениях, представляют собой модули ламината, в котором учитывается порядок наложения внешнего слоя. В случае асимметричного наложения внешних слоев внутренний слой обеспечивает сдерживание изгибающих экстенциональных связей, поэтому модули следует рассчитывать по инверсии матрицы жесткости [A], а не по инверсии матрицы жесткости [ADB]. Напряжение ламината через каждый внешний слой распределяется неравно-

мерно, линейно изменяясь по толщине внешнего слоя. Поскольку внешние слои считаются тонкими относительно толщины сэндвич-панели, изменение напряжения во внешнем слое и влияние тех или иных изменений модуля слоя по толщине внешнего слоя принимаются несущественными.

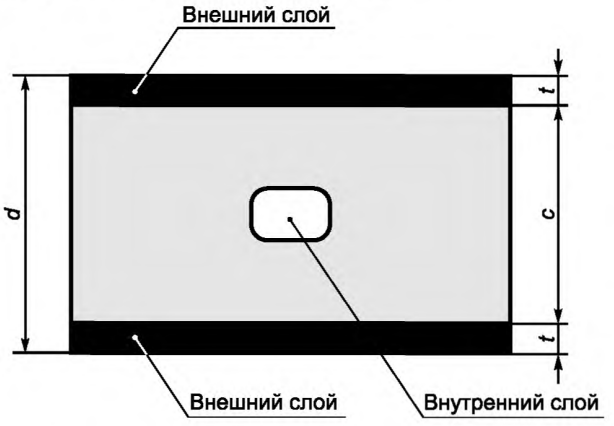


Рисунок 6 — Размеры толщин «сэндвич»-конструкции

$$F^{u1} = \frac{P_{max}(S-L)(a-\bar{y})}{4b\left[t_1(a-\bar{y})^2 + \frac{E_2}{E_1}t_2\bar{y}^2\right]},$$

$$F^{u2} = \frac{P_{max}(S-L)(\bar{y})}{4b\left[t_1(a-\bar{y})^2 + \frac{E_2}{E_1}t_2\bar{y}^2\right]}, \qquad (4а)$$

$$a = c + \frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2} = d - \frac{t_1}{2} - \frac{t_2}{2},$$

$$\bar{y} = \frac{at_1}{t_1 + \frac{E_2}{E_1}t_2},$$

где a — расстояние между средними плоскостями верхнего и нижнего внешних слоев, мм [дюйм];

b — ширина образца, мм [дюймы];

c — расчетная толщина внутреннего слоя, мм [дюймы] ($c = d - 2t$, см. рисунок 6);

d — измеренная общая толщина «сэндвич»-конструкции, мм [дюймы];

E_1 — предположительный модуль упругости верхнего внешнего слоя, МПа [фунты на кв. дюйм];

E_2 — предположительный модуль упругости нижнего внешнего слоя, МПа [фунты на кв. дюйм];

F^{u1} — предельное напряжение верхнего внешнего слоя, МПа [фунты на кв. дюйм];

F^{u2} — предельное напряжение нижнего внешнего слоя, МПа [фунты на кв. дюйм];

L — длина нагружаемого участка, мм [дюймы] ($L = 0$ для случая с нагружением в 3 точках);

P_{max} — максимальное усилие до момента разрушения, Н [фунт];

S — расстояние между опорами, мм [дюймы];

t_1 — номинальная толщина верхнего внешнего слоя, мм [дюймы];

t_2 — номинальная толщина нижнего внешнего слоя, мм [дюймы];

$\bar{y}$ — расстояние до нулевой оси «сэндвич»-конструкции относительно средней плоскости нижнего внешнего слоя, мм [дюйм]»;

пункт 13.5. Примечание. Заменить ссылку: «*ГОСТ 1.5 (пункт 7.9.9)*» на «ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.9)»;

подраздел ДБ.8. Пункт 14.1. Примечание 12 исключить;

пункт 14.1.26. Примечание. Заменить ссылку: «*ГОСТ 1.5 (пункт 7.9.10)*» на «ГОСТ 1.5—2001 (пункт 7.9.10)».

Приложение ДВ. Таблица ДВ.1. Заголовок графы. Заменить слова: «международного стандарта ASTM Д7249/Д7249М—12» на «стандарта ASTM D7249/D7249M—18»;

сноска [5]. Заменить ссылку: «ГОСТ Р 1.5 (подпункты 5.6.2)» на «ГОСТ Р 1.5—2012 (подпункт 5.6.2)».

Приложение ДГ. Таблицу ДГ.1 изложить в новой редакции:

«Таблица ДГ.1

Обозначение ссылочного национального, межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного стандарта АСТМ
ГОСТ 33519—2015	NEQ	ASTM D3410/D3410M—03(2008) «Стандартный метод испытаний для определения прочностных свойств полимерных композиционных материалов при сжатии на образцах с неподкрепленной рабочей зоной и передачей нагрузки за счет деформаций сдвига»
ГОСТ Р 56762—2015	MOD	ASTM D5229/D5229M—12 «Стандартный метод испытания свойств влагопоглощения и равновесного состояния композитных материалов с полимерной матрицей»
ГОСТ Р 56798—2015	MOD	ASTM D7250/D7250M—06(12) «Стандартный метод определения жесткости изгиба и сдвига сэндвич-балки»
Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов: - NEQ — неэквивалентные стандарты; - MOD — модифицированные стандарты.		

».

(ИУС № 7 2019 г.)

gost.e-ecolog.ru