ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 57047— 2016

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Метод определения характеристик сопротивления усталости ламинатов

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации материалов и технологий» (ФГУП «ВНИИ СМТ») совместно с Открытым акционерным обществом «НПО Стеклопластик» (ОАО «НПО Стеклопластик») при участии Объединения юридических лиц «Союз производителей композитов» (Союзкомпозит) и Автономной некоммерческой организацией «Центр нормирования, стандартизации и классификации композитов» (АНО «Стандарткомпозит») и на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 сентября 2016 г. №1057-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту АСТМ Д 6873/Д 6873М—08 (2014) «Стандартный метод определения усталостной стойкости слоистых композитов с полимерной матрицей» (ASTM D 6873/D 6873M—08 (2014) «Standard Practice for Bearing Fatigue Response of Polymer Matrix Composite Laminates», MOD) путем внесения технических отклонений, изменения структуры, дополнения отдельных пунктов, исключения отдельных разделов (подразделов, пунктов).

При этом дополнительные слова, фразы, включенные в текст настоящего стандарта для учета потребностей национальной экономики Российской Федерации и особенностей российской национальной стандартизации, выделены в тексте курсивом.

Из раздела 2 исключены нормативные ссылки на стандарты АСТМ Д883, АСТМ Д3878, АСТМ Е6, АСТМ Е177, АСТМ Е456 и АСТМ Е1823 в связи с применением в тексте настоящего стандарта терминов по ГОСТ 32794.

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

Пункты, не включенные в основную часть настоящего стандарта, приведены в дополнительном приложении ДА.

Отдельные структурные элементы изменены в целях соблюдения норм русского языка и технического стиля изложения, а также в соответствии с требованиями ГОСТ Р 1.5.

Оригинальный текст модифицированных структурных элементов приведен в дополнительном приложении ДБ.

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов стандартам АСТМ, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте АСТМ, приведены в дополнительном приложении ДВ.

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2016

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Сущность метода 1
4 Оборудование 2
5 Подготовка к проведению испытаний 2
6 Проведение испытаний 2
7 Обработка результатов 4
8 Протокол испытания 6
Приложение ДА (справочное) Оригинальный текст невключенных структурных элементов 7
Приложение ДБ (справочное) Оригинальный текст модифицированных структурных элементов . . . 12
Приложение ДВ (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов стандартам АСТМ, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте АСТМ 14
Приложение ДГ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ 15

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Метод определения характеристик сопротивления усталости ламинатов

Polymer composites. Method for determination of the characteristics of fatigue resistance of laminates

Дата введения — 2017— 03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на полимерные композиты и устанавливает метод определения характеристик сопротивления усталости ламинатов.

Метод применим для полимерных композитов, армированных непрерывными волокнами, в которых слои симметричны в обоих направлениях и сбалансированы по отношению к направлению приложения нагрузки.

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 33498—2015 Композиты полимерные. Метод испытания на смятие

ГОСТ Р 56762—2015 Композиты полимерные. Метод определения влагопоглощения и равновесного состояния

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

3 Сущность метода

Испытание образца проводят по *ГОСТ 33498*, но с нагружением с постоянной амплитудой и одноосным приложением нагрузки. Образец с заданной частотой подвергают воздействию минимальной и максимальной осевых нагрузок. Периодически определяют расширение отверстия путем непосредственного измерения или косвенно по диаграмме зависимости деформации от нагрузки при квазистатическом нагружении образца в одиночном цикле растяжения — сжатия. Определяют количество циклов нагружения до разрушения или достижения заданного расширения отверстия образца, подвергаемого воздействию нагрузки с заданным отношением и размахом.

Издание официальное

4 Оборудование

4.1 Оборудование — по *ГОСТ 33498*.

4.2 Микрометр по *ГОСТ 6507* или штангенциркуль по *ГОСТ 166* с точностью измерений ± 0,008 мм.

4.3 Испытательная машина, соответствующая требованиям *ГОСТ 33498*.

Скорость перемещения активного захвата (траверсы) следует регулировать в условиях циклического приложения нагрузки.

Конструкция приспособления для испытания образцов должна соответствовать требованиям *ГОСТ 33498, приложение Б.*

4.4 Термопара или другой прибор для измерения температуры, обеспечивающие измерение температуры с точностью ± 0,5 °С.

5 Подготовка к проведению испытаний

5.1 Для определения характеристик сопротивления используют не менее пяти образцов, если иное не установлено в нормативном документе или технической документации на изделие.

5.2 Образцы для испытаний должны соответствовать требованиям *ГОСТ 33498*, используют образцы с одним или двумя отверстиями. При использовании крепежнных приспособлений длина накладок для каждого образца должна обеспечивать передачу нагрузки на образец.

5.3 Подготовка образцов — по *ГОСТ 33498*. Края образцов не должны иметь видимых дефектов.

5.4 Образцы кондиционируют по *ГОСТ Р 56762, если иное не установлено в нормативной или технической документации на изделие.*

6 Проведение испытаний

6.1 Микрометром или штангенциркулем определяют размеры образца.

6.2 Образец устанавливают в приспособлении по *ГОСТ 33498*.

6.3 Устройство для измерения температуры устанавливают на крепеж, т.к. во время испытания крепеж нагревается сильнее, чем испытуемый образец. При использовании пружинных зажимов их изолируют от устройства измерения температуры. Контролируют температуру образца.

6.4 Частоту нагружения образца устанавливают согласно требованиям *нормативных документов или технической документации на испытуемый материал.*

6.5 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.

6.6 Приспособление с образцом устанавливают в испытательную машину по *ГОСТ 33498.*

6.7 Устанавливают экстензометры по *ГОСТ 33498.*

6.8 Квазистатическое нагружение

При использовании диаграмм зависимости деформации от приложенной нагрузки выполняют начальный цикл квазистатического нагружения.

6.8.1 Квазистатическая нагрузка

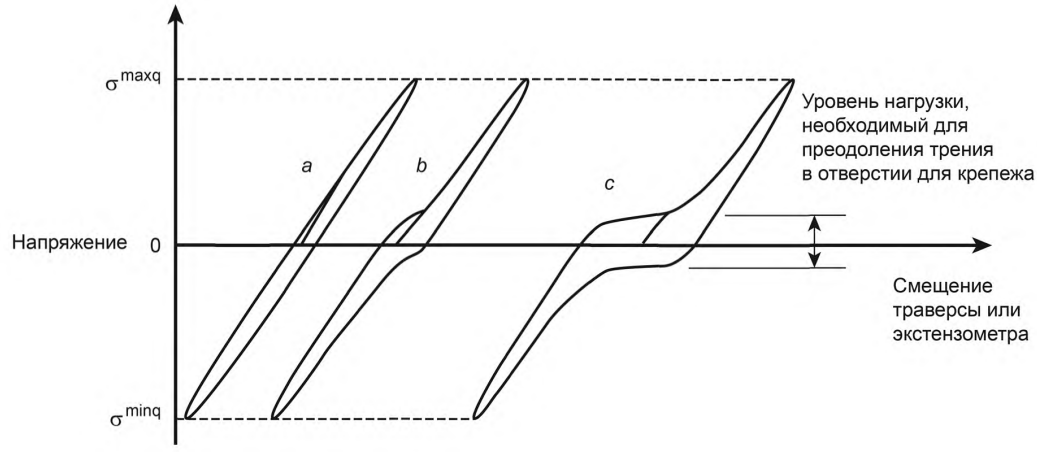
Квазистатические растяжение и сжатие должны соответствовать уровням:

- σ^{maxq} — значение напряжения, соответствующее максимальной нагрузке (напряжению) при квазистатическом нагружении для измерения расширения отверстия, рассчитанное по максимальным абсолютным значениям σ^{max} и $0{,}5\cdot\sigma^{min}$;
- σ^{minq} — значение напряжения, соответствующее минимальной (впадине) нагрузке (напряжению) при квазистатическом нагружении для измерения расширения отверстия, рассчитанное по максимальным абсолютным значениям σ^{min} и $0{,}5\cdot\sigma^{max}$.

6.8.2 Нагружение

В ненагруженном состоянии к образцу квазистатически прикладывают растягивающую нагрузку до достижения значения σ^{maxq}, после чего нагрузку снижают до нуля. Затем к образцу прикладывают сжимающую нагрузку до достижения значения σ^{minq}, после чего нагрузку снижают до нуля. В процессе приложения квазистатической нагрузки регистрируют зависимость смещения траверсы и смещения экстензометра от нагрузки (напряжения). На диаграмме зависимости деформации от приложенной нагрузки (напряжения) наблюдают петлю гистерезиса (рисунок 1). Квазистатическое нагружение проводят

с контролем нагрузки и небольшой скоростью нагружения (продолжительность полного цикла гистерезиса — примерно от 20 до 30 с). Рекомендуемая частота измерений — от 2 до 3 измерений в секунду с минимальным количеством точек для петли гистерезиса не менее 50.



σ^{maxq} — растягивающая нагрузка; σ^{min} — сжимающая нагрузка; *a* — исходный малый зазор в отверстии для крепежа; *b* — отверстие(я) начинает(ют) расширяться; *c* — петля гистерезиса растягивается по мере расширения отверстия

Рисунок 1 — Типичная петля гистерезиса на диаграмме зависимости смещения от нагрузки

6.8.3 Снятие экстензометра

Экстензометр снимают с образца перед усталостным испытанием.

6.9 Усталостное нагружение

6.9.1 Метод А (амплитудное нагружение)

Данный метод нагружения образца заключается в квазистатическом увеличении нагрузки до достижения требуемого среднего значения нагрузки (напряжения) и медленном повышении амплитуды нагрузки (напряжения) до достижения требуемых максимального (пика) и минимального (впадины) значений. В данном методе выход на режим при нагружении происходит до достижения требуемых максимальных (пиков) и минимальных (впадин) значений. В протоколе указывают количество циклов нагрузки для выхода на режим.

6.9.2 Метод В (прямое нагружение)

Данный метод нагружения образца заключается в квазистатическом увеличении нагрузки на образец до максимума или минимума с последующим немедленным циклированием между максимумом и минимумом с гаверсинусоидальной характеристикой [для которой минимумы (впадины) будут не ниже минимальной нагрузки]. В данном методе отсутствует выход на режим, имеющийся при амплитудном нагружении.

6.9.3 Контроль нагрузки

После выхода на режим максимумы (пики) и минимумы (впадины) нагрузки контролируют периодически. В протоколе указывают случаи, в которых нагрузка не была в пределах 2 % требуемых значений максимума и минимума.

6.10 Измерение расширения отверстия

6.10.1 Подготовка к измерению

После выполнения указанного количества циклов нагружения испытание прекращают и образец разгружают до нуля. Образец извлекают из испытательной машины.

6.10.2 Измерение момента затяжки и удаление крепежа

Для повторного использования крепежных изделий на них указывают направление нагружения. Усилие затяжки крепежа перед удалением определяют первой затяжкой гайки (с удержанием шпильки/

болта в неподвижном состоянии) до преодоления сопротивления и начала вращения гайки. Величина момента увеличивается на 0,25 Н·м, и полученный результат заносят в протокол. От измеренного значения вычитают 0,25 Н·м, и полученный результат заносят в протокол как усилие затяжки при удалении крепежа. Крепежные изделия снимают с образца.

6.10.3 Удаление отложений

Осуществляют очистку отверстий образцов с удалением порошкообразных отложений.

6.10.4 Измерение отверстия

Если для определения расширения отверстия используют непосредственное измерение, диаметр отверстия в направлении приложения нагрузки измеряют микрометром или другим измерительным прибором, *точность измерения которого не менее указанной в 4.2.*

6.10.5 Повторная установка крепежного изделия

Отверстие для крепежа и окружающую зону тщательно очищают. Стержни и резьба крепежных изделий/шпилек должны быть чистыми. При замене крепежных изделий во время испытания измеряют диаметры крепежных изделий/штифтов в зоне нагружаемой поверхности. В соответствии с *ГОСТ 33498* крепежные изделия закручивают с моментом наименьшим из следующих: первоначальной затяжки и затяжки при удалении, как описано в 6.8.2.

6.10.6 Повторная установка образца

Образец (или образец в крепежном приспособлении) повторно устанавливают в испытательную машину, как указано в 6.6, и крепят экстензометр, как указано в 6.7.

6.10.7 Квазистатическое нагружение

При использовании для определения расширения отверстия диаграммы зависимости деформации от нагрузки выполняют начальный цикл квазистатического нагружения, как указано в 7.8.

6.10.8 Повторное нагружение

Начинают нагружение образца, как указано в 6.9.

6.11 Разрушение

6.11.1 Регистрируют количество циклов нагружения до разрушения, достижение заданного расширения отверстия или выработку.

6.11.2 Вид разрушения и местоположение очага разрушения на образце заносят в протокол испытаний в соответствии с *ГОСТ 33498*.

7 Обработка результатов

7.1 Рассчитывают максимальный размах напряжения σ^{brm}, МПа, по формуле (1), среднее значение напряжения при испытании на усталостную стойкость σ^{mean}, МПа, по формуле (2) и переменное напряжение при испытании на усталостную стойкость σ^{alt}, МПа, по формуле (3):

$$\sigma^{brm} = \frac{P^{max}}{kDh}; \quad (1)$$

$$\sigma^{mean} = \frac{(P^{max} + P^{min})}{2kDh}; \quad (2)$$

$$\sigma^{mean} = \frac{(P^{max} - P^{min})}{2kDh}, \quad (3)$$

где P^{max} — большее из абсолютных значений максимумов (пиков) и минимумов (впадин) нагрузки, Н;

k — коэффициент нагрузки для расчета отверстия, равный 1,0 для одного крепежного изделия или шпильки и 2,0 — для двух крепежных изделий;

D — диаметр отверстия номинальный или измеренный до начала испытания, мм;

h — толщина образца, мм;

P^{min} — меньшее из абсолютных значений максимумов (пиков) и минимумов (впадин) нагрузки, Н.

Результаты измерений указывают с точностью до трех значащих цифр.

7.2 Расширение отверстия, прямое измерение

Для каждого заданного интервала усталостного нагружения рассчитывают расширение отверстия Δ_N, мм, после N циклов нагружения по формуле

$$\Delta_N = D_N - D_i, \tag{4}$$

где D_N — измеренный диаметр отверстия после N циклов нагружения, мм;

D_i — измеренный диаметр отверстия до начала испытания, мм.

Результаты измерения указывают с точностью до трех значащих цифр.

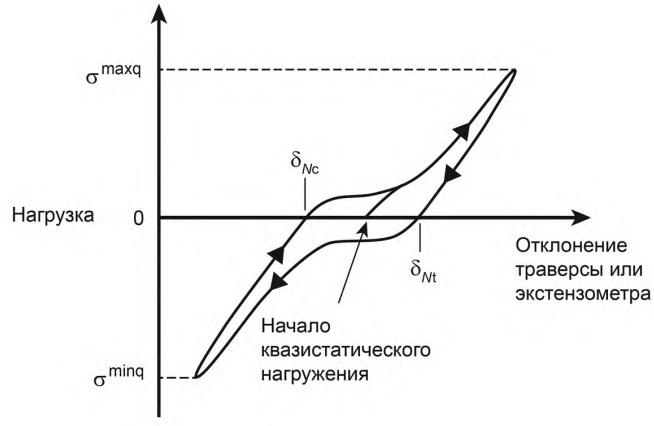
7.3 Расширение отверстия, диаграмма зависимости деформации от нагрузки

Для получения кривых гистерезиса, аналогичных приведенным на рисунке 2, строят диаграммы зависимости смещения траверсы от приложенной нагрузки (напряжения) и показаний экстензометра от приложенной нагрузки (напряжения). Для каждого набора данных в заданных интервалах усталостного нагружения рассчитывают смещение крепежного изделия при нулевом усилии δ_N после N циклов нагружения, мм, по формуле

$$\delta_N = \delta_{Nt} - \delta_{Nc}, \tag{5}$$

где δ_{Nt} — отклонение траверсы или экстензометра при нулевом усилии после квазистатического растяжения, мм;

δ_{Nc} — отклонение траверсы или экстензометра при нулевом усилии после квазистатического сжатия, мм.



σ^{maxq} — растягивающая нагрузка; σ^{min} — сжимающая нагрузка

Рисунок 2 — Параметры петли гистерезиса для расчета смещения крепежа в зависимости от количества циклов нагружения

Расширение отверстия после N циклов нагружения Δ_N, мм, при каждом заданном интервале нагружения рассчитывают по формуле

$$\Delta_N = \delta_N - \delta_i, \tag{6}$$

где δ_N — смещение крепежного изделия после N циклов нагружения, мм;

δ_i — смещение крепежного изделия до нагружения, мм.

7.4 Распределение Вейбулла

Для представления данных об усталостной стойкости в условиях нагружения с постоянной амплитудой обычно используют двухпараметрическое распределение Вейбулла. Функцию плотности двухпараметрического распределения Вейбулла для усталостной стойкости $f(N)$ выражают следующим образом:

$$f(N)=\frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{N}{\alpha}\right)_{\beta-1}\exp\left[-\left(\frac{N}{\alpha}\right)\right]_{\beta}, \quad (7)$$

где β — коэффициент формы;

α — коэффициент масштаба;

N — количество циклов нагружения.

Кумулятивную функцию двухпараметрического распределения Вейбулла для усталостной стойкости выражают следующим образом:

$$F(N)=1-\exp\left[-\left(\frac{N}{\alpha}\right)_{\beta}\right]. \quad (8)$$

Одним из способов определения параметров масштаба и формы Вейбулла, α и β, является метод максимального подобия.

8 Протокол испытания

Протокол испытания должен содержать:

- ссылку на настоящий стандарт;
- любые отклонения от настоящего метода испытаний;
- описание процесса нагружения, включая значения минимума и максимума нагрузки, отношения нагрузок, частоту, динамику нагружения (форма волны), среднее количество циклов нагружения до перехода, способ использования крепежного изделия (повторное использование или замена), момент затяжки при установке и удалении крепежа, момент затяжки при повторной установке крепежа, ситуации, при которых нагрузка была вне 2 %-ного допуска от максимального и минимального значений;
- диаграмму зависимости расширения отверстия от количества циклов нагружения, диаграмму *S*—*N* (если применимо). Типичная зависимость расширения отверстия от количества циклов нагружения приведена на рисунке 3;

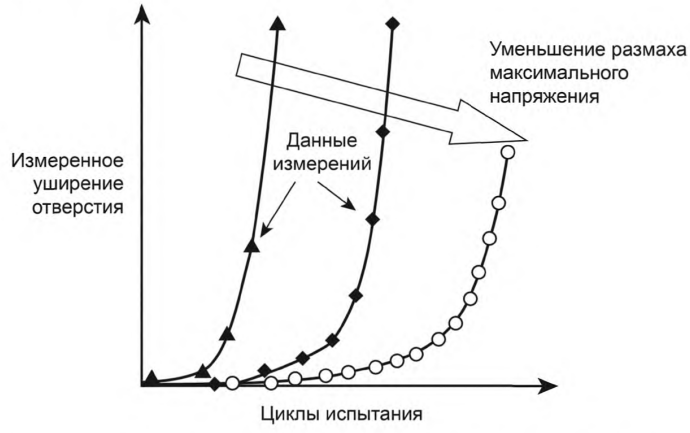


Рисунок 3 — Типичная зависимость расширения отверстия от количества циклов нагружения

- количество циклов до разрушения, заданное предельное расширение отверстий или выработку;
- виды разрушения образца. Если используют такие критерии разрушения, как утрата жесткости, чрезмерная ползучесть, краевое расслоение и т. п., их тоже указывают;
- сведения об испытуемом материале;
- дату проведения испытания.

Приложение ДА
(справочное)

Оригинальный текст невключенных структурных элементов

ДА.1

2 Нормативные ссылки

2.1 Стандарты ASTM :

D883 Пластмассы. Термины и определения

D3878 Композиты. Термины и определения

D5229/D5229M Метод определения влагопоглощающих свойств и равновесного кондиционирования композитных материалов с полимерной матрицей

D5961/D5961M Метод определения усталостного поведения слоистых композитов с полимерной матрицей

E4 Практические указания по проверке испытательных стендов для создания и измерения нагрузок

E6 Методы механических испытаний. Термины и определения

E122 Практические указания по расчету размера выборки для оценки с заданной точностью среднего значения характеристики партии или процесса

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

E456 Качество и статистика. Термины и определения

E467 Практические указания по проверке динамических нагрузок с постоянной амплитудой в испытательных системах с осевым нагружением

E739 Практические указания по статистическому анализу линейных или линеаризованных диаграмм нагрузка — стойкость (S—N) и деформация — стойкость (ε—N)

E1309 Руководство по идентификации волоконно-армированных композитов с полимерной матрицей в базах данных

E1434 Руководство по регистрации данных механических испытаний волоконно-армированных композитов с полимерной матрицей в базах данных

E1823 Испытания на разрушения и долговечность. Термины и определения

ДА.2

3 Термины и определения

3.1 Термины и определения. Термины и определения по высокомодульным волокнам и композитам на их основе приведены в ASTM D3878. Термины и определения, относящиеся к пластмассам, приведены в ASTM D883. Термины и определения, относящиеся к механическим испытаниям, приведены в ASTM E6. Термины и определения, относящиеся к усталостным испытаниям, приведены в ASTM E1823. Термины и определения математической статистики приведены в ASTM E456 и способе ASTM E177. В случае несоответствия терминологии стандарт ASTM D 3878 имеет приоритет над другими документами;

Примечание 1 — Если термин представляет физическое количество, его размерность приводится сразу за термином (или обозначением термина) в квадратных скобках с использованием стандартных обозначений ASTM для основных физических величин: [M] — для массы, [L] — для длины, [T] для времени, [Θ] — для термодинамической температуры и [nd] — для безразмерных параметров. Использование данных обозначений в скобках указывает на размерность. При использовании без скобок обозначения могут иметь другое значение.

3.2 Определения терминов, используемых в настоящем стандарте:

3.2.1 воспринимаемая нагрузка (bearing force) P [MLT^{-2}] — суммарная нагрузка, воздействующая непосредственно на испытуемый образец.

3.2.2 нагружение с постоянной амплитудой (constant amplitude loading) — в усталостных испытаниях нагружение, при котором все максимумы (пики) и минимумы (впадины) нагрузки (напряжения) одинаковы.

3.2.3 выход на режим при нагружении (fatigue loading transition) — в усталостных испытаниях количество циклов нагружения до достижения требуемых значений максимумов и минимумов нагрузки (напряжения).

3.2.4 отношение нагрузок (напряжений) (force (stress) ratio) R [nd] — в усталостных испытаниях отношение минимума приложенной нагрузки (напряжения) к максимуму

3.2.5 частота (frequency) f [T^{-1}] — в усталостных испытаниях количество циклов нагружения, выполняемых за 1 с (Гц).

3.2.6 расширение отверстия (hole elongation) Δ [L] — необратимое увеличение диаметра отверстия в испытуемом купоне, вызванное повреждением материала и равное разнице между диаметром отверстия в направлении приложения нагрузки после и до нагружения.

3.2.7 номинальное значение (nominal value) — значение, существующее только виртуально и присваиваемое измеряемому поазателю для удобства обозначения. К номинальному значению могут применяться допуски с целью установления для показателя допустимого диапазона.

3.2.8 пик (максимум) (peak) — в усталостных испытаниях точка на диаграмме нагружения, в которой первая производная нагрузки (напряжения) по времени изменяет знак с положительного на отрицательный; точка максимума нагрузки (напряжения) при нагружении с постоянной амплитудой.

3.2.9 остаточная прочность (residual strength), [ML-1T-2] — величина нагрузки (напряжения), необходимая для разрушения образца в условиях квазистатического нагружения после завершения усталостных испытаний образца.

3.2.10 выработка (run-out) — в усталостных испытаниях используемый верхний предел количества циклов нагружения.

3.2.11 широкодиапазонное нагружение (spectrum loading) — в усталостных испытаниях нагружение, при котором максимумы (пики) нагрузки не одинаковы или минимумы (впадины) нагрузки не одинаковы (другие наименования — нагружение с переменной амплитудой, немонотонное нагружение).

3.2.12 впадина (минимум) (valley) — в усталостных испытаниях точка на диаграмме усталостного нагружения, в которой первая производная нагрузки (напряжения) по времени изменяет знак с отрицательного на положительный, точка минимума нагрузки (напряжения) при нагружении с постоянной амплитудой.

3.2.13 характеристика нагружения (wave form) — форма диаграммы зависимости нагрузки (напряжения) от времени, от пика до пика.

3.3 Обозначения:

d — диаметр крепежного изделия или шпильки;

D — диаметр отверстия образца;

h — толщина образца;

k — расчетный коэффициент, используемый в формулах для расчета нагрузки для отличия испытаний с одиночным соединением от испытаний с двойным соединением;

L_g — длина чувствительного элемента экстензометра;

N — количество циклов с постоянной амплитудой;

P — усилие, приложенное к образцу;

δ — смещение траверсы;

Δ — расширение отверстия;

σ^{alt} — знакопеременное напряжение в процессе нагружения при испытании;

σ^{brm} — максимальный размах напряжения, рассчитанный по максимумам абсолютных значений σ^{max} и σ^{min};

σ^{max} — значение напряжения, соответствующее максимуму нагрузки (напряжения) при нагружении с постоянной амплитудой;

σ^{maxq} — значение напряжения, соответствующее максимуму нагрузки (напряжения) при квазистатическом нагружении для измерения расширения отверстия, рассчитанное по максимумам абсолютных значений σ^{max} и $0{,}5 \cdot \sigma^{min}$;

σ^{mean} — среднее значение напряжения в процессе усталостных испытаний;

σ^{min} — значение напряжения, соответствующее минимуму (впадине) нагрузки (напряжения) при нагружении с постоянной амплитудой;

σ^{minq} — значение напряжения, соответствующее минимуму (впадине) нагрузки (напряжения) при квазистатическом нагружении для измерения расширения отверстия, рассчитанное по максимумам абсолютных значений σ^{min} и $0{,}5 \cdot \sigma^{max}$.

ДА.3

5 Значение и применение

5.1 Настоящий стандарт содержит дополнительные указания по использованию метода испытания ASTM D5961/D5961M для получения данных по усталостной стойкости материалов для спецификаций при проведении испытаний в процессе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), определения допусков при разработке материалов, проверке качества. Основная определяемая характеристика — усталостная стойкость испытуемого образца при воздействии специфической нагрузки и окружающих условий. Повторные испытания могут использоваться для получения данных о разбросе усталостной стойкости материалов разных типов, с различной укладкой слоев у слоистых пластиков и при отличающихся условиях нагружения. Практические указания по статистическому анализу данных усталостных испытаний, например построение линеаризованных S—N-диаграмм усталостной стойкости, приведены в ASTM E739.

5.2 Данные указания могут использоваться для изучения усталостных повреждений образцов композитов с полимерной матрицей. Потеря прочности из-за усталостного разрушения может определяться по прекращению циклического нагружения для обеспечения неизменной нагрузки по методу стандарта ASTM D5961/D5961M.

Примечание 2 — Данные практические указания могут использоваться в качестве руководства по проведению спектрального нагружения. Данная информация может быть полезной для понимания усталостного поведения композитных конструкций в условиях широкодиапазонных нагрузок. Но данный вопрос находится за рамками настоящего стандарта.

5.3 Факторы, влияющие на усталостную стойкость и, следовательно, подлежащие указанию в протоколе испытания, приведены ниже: материал, методы изготовления материала, точность укладки слоев, последовательность слоев и общая толщина, геометрия образца, подготовка образца (особенно отверстия), зазор между крепежным соединением и стенкой отверстия, тип крепежного изделия, геометрия крепежного изделия, способ установки крепежного изделия, момент затяжки крепежного изделия (если применимо), глубина зенкования (если применимо), порядок кондиционирования образцов, условия испытания, временно-температурные интервалы, тип материала накладок, количество крепежных изделий, тип зажима, выравнивание и зажим образца, частота испытания, отношение нагрузок, размах нагрузок, пористость образцов, объемная доля армирования в процентах. С помощью описанного метода определяются следующие характеристики:

5.3.1 Диаграммы расширения отверстия в зависимости от усталостной стойкости для заданных значений напряжения.

5.3.2 Расширение отверстий в зависимости от воспринимаемого напряжения в заданном интервале частот.

5.3.3 Диаграммы усталостной стойкости в зависимости от воспринимаемого напряжения для выбранных значений расширения отверстий.

ДА.4

6 Влияющие факторы

6.1 Отношение нагрузок (напряжений). Результаты зависят от отношения нагрузок, при котором проводится испытание. У образцов, нагружаемых в знакопостоянном режиме растяжение — растяжение или сжатие — сжатие, развиваются повреждения, связанные с расширением отверстий в одну сторону. У образцов, нагружаемых в режиме растяжение — сжатие, развиваются повреждения обеих сторон отверстия. Экспериментальные данные показали, что отношение знакопеременных нагрузок (особенно растяжение — сжатие) является критичным для расширения отверстий, вызванного усталостными испытаниями. Равноамплитудная знакопеременная нагрузка (растяжение — сжатие) ($R = -1$) является наиболее критичной.

6.2 Частота нагружения. Результаты зависят от частоты нагружения, при которой проводят испытание. При высокочастотном нагружении из-за трения в соединении будет выделяться тепло, которое может привести к изменению температуры образца и свойств композита. Изменение частоты в процессе испытания обычно не рекомендуется, поскольку стойкость может зависеть от используемой частоты и термической истории образца.

6.3 Затяжка предварительного натяжения крепежного изделия. Результаты зависят от предварительного натяжения (давления) установленного крепежного изделия. Слоистые композиты могут демонстрировать существенное различие в характере расширения отверстий и разрушения из-за изменений предварительного натяжения крепежного изделия при растягивающей и сжимающей нагрузках. Экспериментальные данные показали, что низкий момент затяжки крепежных изделий, как правило, является критическим фактором для расширения отверстий, вызванного усталостными испытаниями (1, 2, 4). Необходимо отметить, что в некоторых случаях малый момент затяжки образцов, испытываемых на одиночный срез, доказал неэффективность из-за раскручивания гайки/шайбы в процессе нагружения из-за деформации болта/шпильки.

6.4 Образование отложений. Результаты зависят от отложений волокон и материала матрицы, вызванных повреждениями, связанными с расширением отверстия. Отложения могут маскировать степень фактического расширения отверстия и увеличивать трение и температуру образца в процессе испытания. Экспериментальные данные показали, что приложение знакопостоянной нагрузки (особенно сжатие — сжатие) приводит к образованию больших отложений, чем при знакопеременной. Кроме того, было показано, что расширение отверстий определяется наиболее точно при удалении отложений до проведения измерений (1, 2, 4). Поэтому для обеспечения надежности результатов измерения рекомендуется очищать отверстия образцов перед измерением.

6.5 Условия. Результаты зависят от условий, в которых проводится испытание. Слоистые композиты (ламинаты), испытанные в различных условиях, продемонстрировали существенное различие в характере расширения отверстий и разрушения. Экспериментальные данные показали, что повышенные температуры, влажная атмосфера, в общем, являются критическими факторами для расширения отверстий, вызываемого нагрузками (1—4). Тем не менее критические условия должны рассматриваться независимо для каждого испытанного материала, укладки и момента затяжки.

6.6 Зазор между крепежным изделием и отверстием. Результаты испытаний на усталостную стойкость зависят от зазора, определяемого разницей диаметров отверстия и крепежного изделия. Небольшие изменения зазоров могут привести к изменению количества циклов нагружения до расширения отверстия и сказаться на характере распространения повреждения (1). По данной причине диаметры отверстия и крепежного изделия должны быть точно измерены и запротоколированы. В аэрокосмической промышленности типичный допуск зазора крепежное изделие — отверстие составляет + 75/-0 мкм [+ 0,003/-0,000 дюйма] для отверстий для конструкционного крепежа.

6.7 Вид крепежного изделия/подготовка отверстия. Результаты зависят от геометрии и вида используемого крепежного изделия (например, крепежный болт, заглушка) и способа его установки. Порядок подготовки отверстий также оказывает влияние на результаты.

6.8 Метод измерения расширения отверстий. Результаты зависят от метода контроля расширения отверстий. Непосредственное измерение позволяет точно установить степень расширения и разрушения локально к поверхности отверстия. Однако измеренное расширение может быть неоднородным по толщине слоистого композита и по поверхности отверстия. Кроме того, удаление крепежных изделий, таких как заглушки и крепежные болты, в процессе усталостных испытаний не практично. Поэтому использование таких крепежных изделий делает невозможным непосредственное измерение расширения отверстий. Диаграмма зависимости деформации от нагрузки позволяет определить среднее значение расширения отверстия по всей толщине, а также служит индикатором деградации жесткости материала из-за возникновения очагов разрушения. Однако на точность таких измерений оказывают влияние такие факторы, как погрешность измерительного прибора, фоновый шум в сигнальной линии, проскальзывание, проскальзывание в зажиме (для данных смещения траверсы), трение в соединении с образцом, деформация крепежного изделия, деформация опорных плит и т. п.

6.9 Повторное использование или замена крепежного изделия. Результаты зависят от того, используется ли крепежное изделие повторно или оно заменяется после очистки и измерения расширения отверстия. В промышленности используются оба способа, но способ с повторным использованием применяется шире. Повторное использование требует меньше затрат и гарантирует постоянство диаметра крепежного изделия. Удаление резьбовой смазки в процессе периодического нагружения может уменьшить предварительное нагружение при заданном моменте затяжки. А поскольку более низкие значения предварительного натяжения дают большее расширение отверстий, повторное использование крепежа дает более надежные результаты. Кроме того, деградация крепежного изделия является частью процесса усталостных испытаний и его замена может считаться неприемлемой. Если крепежные изделия деформируются в процессе испытаний, при повторном использовании их следует устанавливать в то же «деформированное» положение, что и перед удалением. Кроме того, при замене необходимо следить за тем, чтобы в испытании использовались постоянные моменты затяжки и уровни предварительного нагружения. Способ использования крепежных изделий (повторное использование или замена) указывают в протоколе испытания. Рекомендуется изменять интервалы контроля отверстия с целью определения степени влияния удаления и повторной установки крепежного изделия на расширение отверстия.

6.10 Прочее. Дополнительные источники потенциального разброса данных описаны в стандарте ASTM D5961/D5961M.

ДА.5

9 Калибровка

9.1 Все используемое оборудование должно быть аттестовано и иметь соответствующие сертификаты поверки или калибровки.

ДА.6

11.1 Параметры, устанавливаемые перед испытанием:

11.1.1 Способ отбора образцов, тип и геометрические параметры образцов, минимум σ^{min} и максимум σ^{max} прилагаемой нагрузки для каждого испытания, отношение нагрузок для каждого испытания, частота нагружения и характеристика нагружения. Для построения S—N-диаграммы все образцы испытывают при одинаковой частоте и характеристике нагружения, за исключением случаев, когда данные факторы являются предметом изучения.

11.1.2 Указывают количества циклов нагружения до измерения расширения отверстия, способ измерения расширения, максимум и минимум квазистатического нагружения для измерения расширения отверстий (если применимо), уровень расширения отверстий, достигнутый при завершении усталостного испытания, и количество циклов выработки. Испытания обычно прекращают, если расширение отверстия достигло 10 % — 25 % от первоначального диаметра.

11.1.3 Все остальные параметры приведены в ASTM D5961/D5961M.

ДА.7

11.2 Общие указания:

11.2.1 Любые отклонения от данного порядка, намеренные или нет, указывают в протоколе.

11.2.2 Кондиционирование, измерение, чистку, сборку и затяжку крепежа проводят в соответствии с ASTM D5961/D5961M.

ДА.8

11.3 Порядок проведения испытания:

11.3.1 Установка образца в крепежном приспособлении. При испытании в крепежном приспособлении образец крепят, как описано в ASTM D5961/D5961M.

11.3.2 Контроль температуры. Устройство для измерения температуры крепят так, чтобы не оказывать влияния на динамику отклика образца. Рекомендуется устанавливать его на крепежное изделие, поскольку в процессе испытания обычно происходит больший нагрев крепежа, чем слоистого композита. Устройство допускается крепить на крепежное изделие с помощью клея, клейкой ленты, пружинного зажима. Контролируют температуру образца. Частота нагружения должна быть небольшой для предотвращения значительных колебаний температуры, за исключением случаев, когда изучается именно данный фактор. Высокочастотное нагружение может привести к

колебаниям температуры образца и изменению свойств композита. У некоторых материалов при изменении температуры на 10°С [18°F] наблюдалось измеримое ухудшение свойств.

Примечание 4 — При испытании кондиционированного образца при повышенной температуре без контроля влажности потерю влаги образцом в процессе испытания оценивают установкой кондиционированного холостого образца известной массы в испытательную камеру одновременно с испытуемым образцом. По завершении испытания холостой образец извлекают из камеры, взвешивают, рассчитывают процент потерь и полученный результат заносят в протокол. Потеря образцом влаги может отличаться от холостого образца из-за нагрева, вызываемого циклическим нагружением.

11.3.3 Установка образца. Образец или образец в крепежном приспособлении (для фиксируемых образцов) устанавливают в испытательную машину в соответствии с ASTM D5961/D5961M.

Примечание 5 — Необходимо контролировать образцы на наличие следов ползучести или растрескивания в результате крепления или зажима. Если такие дефекты приведут к преждевременному разрушению образца, полученные для него данные считаются недействительными и не заносятся в протокол.

11.3.4 Установка экстензометра. Экстензометр(ы) крепится к краям образца, как указано в ASTM D5961/D5961M.

ДА.9

12 Оценка результатов

12.1 Усталостные характеристики не рассчитывают для образцов, разрушение которых произошло из-за очевидных дефектов, за исключением случаев, когда данные дефекты являются предметом изучения. Повторному испытанию подлежат любые образцы, значения для которых не были рассчитаны.

12.2 Значительная доля разрушений образцов, происходящих вне отверстий для крепежных изделий, является веской причиной для пересмотра способа нагружения материала. При пересмотре особое внимание необходимо уделить следующим факторам: выравниванию образца, выравниванию крепежного приспособления, давлению зажима, выравниванию зажима, разделению половин зажима, перепаду толщины (конусности) образца и неравномерной обработке концов образца.

ДА.10

15 Точность и систематическая погрешность

15.1 Точность. Данные, необходимые для определения точности описания этих методов, отсутствуют.

15.2 Погрешность. Определение погрешности для этих методов невозможно, так как отсутствуют эталонные стандарты.

Приложение ДБ
(справочное)

Оригинальный текст модифицированных структурных элементов

ДБ.1

1 Цель

1.1 Настоящий стандарт содержит указания по адаптации методов усталостных испытаний статической нагрузкой для определения усталостной стойкости композитных материалов при циклических нагрузках. Метод применим только к полимерным материалам, армированным непрерывными волокнами, слои которых симметричны в обоих направлениях и сбалансированы по отношению к направлению приложения испытательной нагрузки. Допустимые слоистые композиты (ламинаты) и диапазоны толщин указаны в 8.2.

1.2 Данный стандарт дополняет метод ASTM D5961/D5961M указаниями по испытанию образцов циклическим нагружением. Некоторые параметры образцов для испытаний (например, вид крепежного изделия, способ установки крепежного изделия и отношение нагрузок/напряжений) не установлены в данном стандарте. Однако для получения сопоставимых результатов необходимы задание и протоколирование указанных параметров.

1.3 Настоящий стандарт предусматривает одноосное нагружение образцов с постоянной амплитудой. Испытательную машину настраивают на обеспечение данного нагружения образцов. В качестве переменной усталостного испытания с постоянной амплитудой может использоваться условное напряжение или приложенная нагрузка. Циклическая нагрузка может быть растягивающей, сжимающей или знакопеременной в зависимости от используемых образцов и методики.

1.4 Значения, указанные в системе СИ или британской системе мер, следует рассматривать по отдельности как стандартные. В настоящем стандарте значения в британских единицах приводятся в скобках. Значения в обеих системах измерения не являются абсолютно эквивалентными. Поэтому каждую систему следует использовать независимо от другой. Комбинирование значений величин из двух систем может привести к несоответствию настоящему стандарту.

1.5 В настоящем стандарте не рассматриваются все вопросы безопасности, связанные с его применением. Перед использованием стандарта следует утвердить правила техники безопасности при проведении работ и определить нормативные ограничения.

ДБ.2

7 Оборудование

7.1 Основное оборудование. Основное оборудование должно соответствовать ASTM D5961/D5961M. Для измерения необходимо использовать микрометр или другой измерительный прибор, способный измерять отверстия с точностью ± 8 мкм [± 0,0003 дюйма].

7.2 Испытательная машина. Дополнительно к требованиям ASTM D5961/D5961M испытательная машина должна соответствовать ASTM E467 и отвечать следующим требованиям:

7.2.1 Механизм привода и контроллер. Скорость подвижной головки должна регулироваться в условиях циклического приложения нагрузки. Механизм привода и контроллер должны обеспечивать передачу на образец нагрузки с синусоидальной характеристикой (формой кривой нагружения). Необходимо минимизировать дрейф максимумов (пиков) и минимумов (впадин) нагрузки в процессе усталостного испытания. Достижение такой точности необходимо для получения надежных данных по усталостной стойкости, так как небольшие погрешности при нагружении могут вносить существенные погрешности в определение усталостной стойкости. Рекомендуется оснастить испытательный контроллер вспомогательным испытательным контроллером амплитуды, способным контролировать значение нагрузки не реже одного раза в три цикла.

7.2.2 Индикатор нагрузки. Индикатор нагрузки должен отвечать требованиям рекомендаций ASTM E4. Предел шкалы индикатора нагрузки должен быть больше нагрузки, используемой в испытании.

7.2.3 Зажимы. Зажимы должны иметь надлежащую усталостную стойкость при уровне нагрузок, используемых в испытании.

7.3 Крепежное приспособление. При приложении сжимающей нагрузки в процессе усталостного испытания или квазистатического нагружения для определения расширения отверстия для фиксации образца следует использовать крепежное приспособление. Крепежное приспособление для образца должно соответствовать приведенному в ASTM D5961/D5961M, процедура B.

7.4 Термопара и регистратор температуры, способные измерять температуру образца с точностью ± 0,5 °C [61,0 °F].

ДБ.3

8 Отбор образцов

8.1 Отбор образцов. Для получения статистически значимых данных следует руководствоваться положениями ASTM E122. По группе выбранных испытаний можно получить статистически значимое распределение данных для определенного материала, укладки слоев, условий испытания и нагружения.

8.1.1 Размер выборки для построения S—N-диаграммы. Рекомендуемое минимальное количество образцов для получения достоверных S—N-диаграмм приведено в таблице 1. Для построения S—N-диаграммы рекомендуется использовать не менее трех различных уровней нагрузки (напряжения). Для получения дополнительной информации следует ознакомиться с ASTM E739.

8.2 Геометрические параметры. В дополнение к изложенному в ASTM D5961/D5961M образец должен удовлетворять следующим требованиям:

8.2.1 Укладка слоев. Из-за краевых эффектов необходимо учитывать укладку слоев для уменьшения рисков краевого расслоения.

8.2.2 Конфигурация образца. Конфигурация испытуемого образца должна соответствовать приведенной в ASTM D5961/ D5961M со следующими ограничениями:

8.2.2.1 Нагружение только растяжением. Применяют конфигурации для методики А (двойной срез) и методики В (одиночный срез). По методике В могут использоваться образцы с одним или двумя отверстиями для крепежа. При использовании крепежного приспособления длина накладок для каждого образца должна обеспечивать адекватную передачу нагрузки на образец. Для определения расширения отверстий следует измерять их диаметр.

8.2.2.2 Нагружение сжатием. Используют конфигурацию для процедуры В (одиночный срез). Используют образцы с одним или двумя отверстиями для крепежа. Длина накладок для каждого образца должна обеспечивать адекватную передачу нагрузки на образец. Расширение отверстия определяют путем непосредственного измерения либо косвенным способом по квазистатическому нагружению.

8.2.3 Клей. Для образцов с приклеиваемыми накладками клей должен обладать достаточной прочностью для выдерживания нагрузок в течение всего времени испытания.

8.3 Подготовка образцов. Образцы изготовляют в соответствии с ASTM D5961/D5961M. Края образцов не должны иметь видимых дефектов. Такие дефекты могут привести к преждевременному разрушению из-за краевого расслоения.

Приложение ДВ
(справочное)

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

Таблица ДВ.1

Обозначение ссылочного национального, межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного стандарта ASTM
ГОСТ 33498—2015	NEQ	ASTM D5961/D5961M—10 «Стандартный метод испытаний на подшипниковый отклик на основе полимерной матрицы композитных ламинатов»
ГОСТ Р 56762—2015	MOD	ASTM D5229/D5229M—12 «Стандартный метод испытания свойств влагопоглощения и равновесного состояния композитных материалов с полимерной матрицей»

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

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

Приложение ДГ
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ

Таблица ДГ.1

Структура настоящего стандарта	Структура стандарта ASTM D6873/D6873M—08 (2014)
1 Область применения (1)	1 Область применения
2 Нормативные ссылки (2)	2 Ссылочные документы
*	3 Термины и определения
3 Сущность метода (5)	4 Сущность метода
*	5 Значение и применение
*	6 Влияющие факторы
4 Оборудование (7)	7 Оборудование
5 Подготовка к проведению испытаний (8, 10)	8 Отбор образцов
	9 Калибровка
	10 Кондиционирование
6 Проведение испытаний (11)	11 Порядок
*	12 Оценка
7 Обработка результатов (13)	13 Расчеты
8 Протокол испытаний (14)	14 Протокол
**	15 Точность и погрешность
***	16 Ключевые слова
*	Литература
Приложение ДА Оригинальный текст невключенных структурных элементов	
Приложение ДБ Оригинальный текст модифицированных структурных элементов	
Приложение ДВ Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов стандартам АСТМ, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте АСТМ	
Приложение ДГ Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем стандарта АСТМ	

* Данный раздел исключен, т. к. носит поясняющий характер.

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

*** Данный раздел приведен в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5 (пункт 5.6.2).

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

УДК 678.5.001.4:006.354 ОКС 83.120

Ключевые слова: полимерные композиты, композитные материалы, характеристики сопротивления усталости ламинатов, стойкость под нагрузкой, болтовые соединения, испытание сжатием, крепежное изделие, расширение отверстия, испытание растяжением

Редактор *А.С. Кузьмина*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 12.09.2016. Подписано в печать 15.09.2016. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,10. Тираж 31 экз. Зак. 2205.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru