МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 33845— 2016 (ISO 13003:2003)

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Метод определения характеристик усталости в условиях циклического нагружения

(ISO 13003:2003,
Fibre-reinforced plastics — Determination of fatigue properties under cyclic loading conditions,
MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены в ГОСТ 1.0—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Центр нормирования, стандартизации и классификации композитов» при участии Объединения юридических лиц «Союз производителей композитов» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

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

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 28 июня 2016 г. № 49)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	Минэкономики Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 ноября 2016 г. № 1560-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 33845—2016 (ISO 13003:2003) введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2017 г.

5 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ISO 13003:2003 «Пластмассы с волоконным усилением. Определение усталостных свойств в условиях циклического нагружения» («Fibre-reinforced plastics — Determination of fatigue properties under cyclic loading conditions», MOD) путем модификаций различного типа:

- изменения содержания положений, элементов;
- исключения раздела 11, пункта 10.2.2 и отдельных положений раздела 4 международного стандарта,
- внесения дополнительных нормативных ссылок.

Официальные экземпляры международного стандарта, на основе которого разработан настоящий межгосударственный стандарт, и международных стандартов, на которые даны ссылки, имеется в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии.

Текст измененных положений, элементов выделен вертикальной линией, расположенной на полях напротив соответствующего текста.

Положения примененного международного стандарта, которые приняты в настоящем стандарте с модификацией их содержания, приведены в дополнительном приложении ДБ.

Положения, разделы и пункты примененного международного стандарта, не включенные в основную часть настоящего стандарта, приведены в дополнительном приложении ДВ.

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

Ссылки на международные стандарты, которые приняты в качестве межгосударственных стандартов, заменены в разделе «Нормативные ссылки» и тексте стандарта ссылками на соответствующие модифицированные межгосударственные стандарты.

Дополнительные нормативные ссылки приведены в разделе 2 и выделены курсивом. Дополнительные ссылки на нормативные документы даны в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5 (пункт 3.8.1). Дополнительная ссылка на ГОСТ 25.602 заменяет ссылку на ИСО 14126 «Композиты из армированного волокном пластика. Определение свойств при сжатии в плоскости», которая встречается по тексту международного стандарта.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования международного стандарта в целях соблюдения принятой терминологии.

Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДД.

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «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

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

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 2
4 Сущность метода . . . 2
5 Оборудование . . . 2
6 Подготовка к проведению испытаний . . . 2
7 Проведение испытаний . . . 3
8 Обработка результатов . . . 3
9 Протокол испытаний . . . 4
Приложение ДА (обязательное) Методы определения механических характеристик при изгибе (данное приложение заменяет ссылку на международный стандарт ISO 14125, не принятый в качестве международного) . . . 5
Приложение ДБ (справочное) Положения ISO 13003:2003, которые приняты в настоящем стандарте с модификацией их содержания . . . 12
Приложение ДВ (справочное) Положения ISO 13003:2003, которые исключены в настоящем стандарте . . . 19
Приложение ДГ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта . . . 23
Приложение ДД (справочное) Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте . . . 24
Библиография . . . 25

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

КОМПОЗИТЫ ПОЛИМЕРНЫЕ

Метод определения характеристик усталости в условиях циклического нагружения

Polymer composites.
Test method for fatigue properties under cyclic loading conditions

Дата введения — 2017—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на армированные полимерные композиты и устанавливает метод определения характеристик усталости в условиях циклического нагружения с постоянной амплитудой и частотой.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 25.602—80 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах

ГОСТ 12423—2013 (ISO 291:2008) Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб)

ГОСТ 23207—78 Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения

ГОСТ 32656—2014 (ISO 527-4:1997, ISO 527-5:2009) Композиты полимерные. Методы испытаний. Испытания на растяжение

ГОСТ 33346—2015 (ISO 1268—2:2001) Композиты полимерные. Производство пластин контактным формованием и напылением для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33347—2015 (ISO 1268—3:2000) Композиты полимерные. Производство пластин прессованием для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33348—2015 (ISO 1268—4:2005) Композиты полимерные. Производство пластин из препрегов для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33349—2015 (ISO 1268—5:2001) Композиты полимерные. Производство пластин намоткой для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33350—2015 (ISO 1268—7:2001) Композиты полимерные. Производство пластин литьевым прессованием для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33351—2015 (ISO 1268—10:2005) Композиты полимерные. Изготовление образцов для испытаний литьем под давлением длинноволокнистых пресс-материалов

ГОСТ 33367—2015 (ISO 1268—8:2004) Композиты полимерные. Производство пластин прямым прессованием препрегов и премиксов для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33371—2015 (ISO 1268—6:2002) Композиты полимерные. Производство пластин пултрузией для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33372—2015 (ISO 1268—9:2003) Композиты полимерные. Производство пластин прямым прессованием для изготовления образцов для испытаний

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства

Издание официальное

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 ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом, следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ 23207*.

4 Сущность метода

Сущность метода заключается в том, что к образцу для испытаний с определенной частотой прикладывают заданную непрерывную переменную нагрузку или циклически деформируют на заданную величину.

Испытания проводят при постоянной амплитуде напряжений (нагрузки) или постоянной амплитуде деформаций (перемещения).

5 Оборудование

5.1 В зависимости от вида циклической нагрузки, применяют оборудование по ГОСТ 32656 — для растягивающей нагрузки, по *ГОСТ 25.602* — для сжимающей нагрузки, в соответствии с [1]* — для изгибающей нагрузки или универсальную испытательную машину.

5.2 Испытательная машина должна обеспечивать циклическое нагружение образцов для испытаний при любом задаваемом цикле: симметричном, ассиметричном, знакопостоянном или знакопеременном.

Захваты испытательной машины должны исключать изгибные деформации и потерю устойчивости образцов для испытаний при сжатии, если не предусмотрены специальные испытания с изгибом.

5.3 Погрешность измерения нагрузки, деформации, перемещения должна быть не более 2 % от измеряемой величины.

6 Подготовка к проведению испытаний

6.1 Подготовка образцов для испытаний

6.1.1 Образцы для испытаний вырезают из пластин, изготовленных по ГОСТ 33346 — ГОСТ 33349, ГОСТ 33371, ГОСТ 33350, ГОСТ 33367, ГОСТ 33372, ГОСТ 33351 или из изделий, изготовленных по соответствующему нормативному документу или технической документации.

6.1.2 Форма и размеры образцов для испытаний, а также требования к ним, в зависимости от вида циклической нагрузки установлены в ГОСТ 32656 — для растягивающей нагрузки, в *ГОСТ 25.602* — для сжимающей нагрузки, по [1]* — для изгибающей нагрузки.

6.1.3 Для построения кривой усталости на каждом уровне задаваемого напряжения/деформации используют не менее пяти образцов для испытаний. Число уровней задаваемого напряжения/деформации должно быть не менее четырех.

При определении предела прочности для выбранного метода и условий испытаний используют не менее пяти образцов для испытаний.

6.2 Кондиционирование

Перед испытанием образцы для испытаний кондиционируют при температуре (23 ± 2) °С и относительной влажности (50 ± 5) % в соответствии с ГОСТ 12423, если иное не установлено в нормативной или технической документации на изделие.

---

* Перевод основных нормативных положений стандарта приведен в приложении ДА.

7 Проведение испытаний

7.1 Испытания проводят при температуре (23 ± 2) °С и относительной влажности (50 ± 5) % в соответствии с ГОСТ 12423, если иное не установлено в нормативном документе или технической документации на изделие.

7.2 Измеряют размеры образцов для испытаний, испытуемых циклической растягивающей нагрузкой — по ГОСТ 32656, образцов для испытаний, испытуемых циклической сжимающей нагрузкой — по *ГОСТ 25.602*, образцов для испытаний, испытуемых циклической изгибающей нагрузкой — в соответствии по [1].

7.3 Выбирают частоту нагружения образцов для испытаний такой, чтобы предотвратить чрезмерное повышение температуры образца для испытаний вследствие саморазогрева. Частоту измеряют с погрешностью не более ± 2 %.

Примечание — Как правило, температура поверхности образца для испытаний повышается на несколько градусов и зависит от свойств материала, размеров образца для испытаний и условий теплоотвода. Частоту нагружения рекомендуется задавать в пределах от 1 до 25 Гц.

7.4 Образец для испытаний устанавливают в захваты испытательной машины в соответствии с выбранным методом испытания.

7.5 Перед проведением испытаний в условиях циклического нагружения определяют предел прочности образцов для испытаний при статическом нагружении: для образцов для испытаний, испытуемых циклической растягивающей нагрузкой — по ГОСТ 32656, для образцов для испытаний, испытуемых циклической сжимающей нагрузкой — по *ГОСТ 25.602*, для образцов для испытаний, испытуемых циклической изгибающей нагрузкой — в соответствии с приложением ДА. Для образцов для испытаний, прочностные характеристики которых зависят от скорости нагружения, следует повторить испытания при интенсивности нагрузки, эквивалентной условиям испытания на усталость.

7.6 Выбирают диапазон напряжений/деформаций, в котором равномерно распределяют не менее четырех уровней напряжений/деформаций, в соответствии с используемым образцом для испытаний, усталостной долговечностью и пределом прочности образцов для испытаний при статическом нагружении, который определяют по 7.5.

7.7 Испытания образцов для испытаний одной серии, по результатам которых строят кривую усталости, проводят при постоянном коэффициенте асимметрии цикла. Значение коэффициента асимметрии цикла рекомендуется принимать равным 0,1.

7.8 При испытании образцов для испытаний нагружение проводят плавно с постоянной скоростью нарастания напряжений/деформаций.

7.9 Нагружение проводят в режиме постоянства амплитуды и средних напряжений/деформаций цикла в процессе всего испытания образца для испытаний.

7.10 На протяжении испытания контролируют температуру образца для испытаний на соответствие требованиям 7.3.

7.11 Испытание каждого образца для испытаний проводят до разрушения или до потери прочностных характеристик образца для испытаний на 20 %. В протокол испытаний заносят условия нагружения (температуру испытания, частоту, скорость, параметры цикла нагружения), количество циклов напряжений/деформаций до разрушения или до потери прочности и вид разрушения.

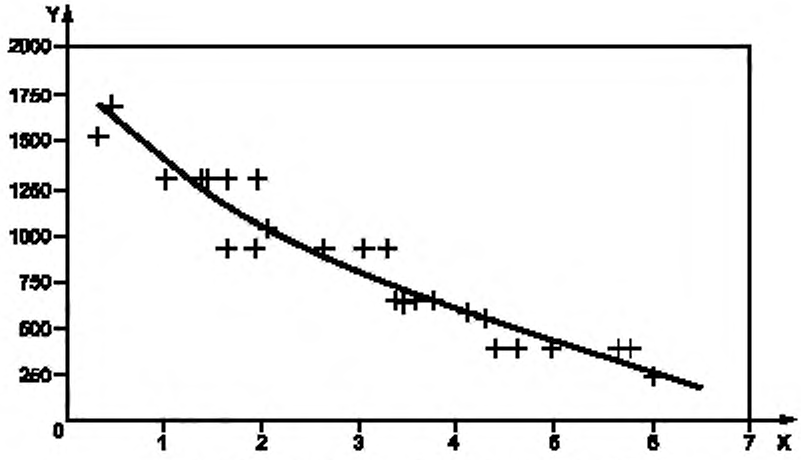
8 Обработка результатов

По результатам испытаний серии образцов для испытаний наносят экспериментальные точки на диаграмму с координатами:

- по оси ординат — величины максимальных напряжений/деформаций цикла $\sigma_{max}/\varepsilon_{max}$;
- по оси абсцисс — логарифмы числа циклов log N.

Кривую усталости строят путем графической или аналитической (по корреляционному уравнению) аппроксимации результатов испытаний образцов для испытаний одной серии.

Пример кривой усталости приведен на рисунке 1.



X — log N; Y — максимальное напряжение цикла σ_{max}, МПа

Рисунок 1 — Пример кривой усталости

9 Протокол испытаний

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

- ссылку на настоящий стандарт;
- наименование предприятия-изготовителя;
- полную идентификацию материала образцов для испытаний (свойства, сведения о смолах, армирующем наполнителе, схему укладки, код общероссийского классификатора предприятий и организаций (ОКПО) завода-изготовителя и т.д.);
- метод изготовления образцов для испытаний;
- используемый метод испытания и соответствующий стандарт;
- сведения об оборудовании;
- условия кондиционирования образцов для испытаний;
- количество образцов для испытаний;
- размеры и форму образцов для испытаний;
- условия проведения испытания (температура, влажность);
- предел прочности образцов для испытаний при статическом нагружении (растяжении, сжатии или изгибе);
- вид нагружения, форму цикла;
- диапазон напряжений/деформаций;
- амплитуды и значения средних напряжений/деформаций цикла;
- частоту нагружения;
- скорость нагружения;
- коэффициент асимметрии цикла;
- количество циклов напряжений/деформаций до разрушения или до потери прочностных характеристик;
- вид разрушения;
- кривую усталости;
- дату проведения испытания.

Приложение ДА
(обязательное)

Методы определения механических характеристик при изгибе (данное приложение заменяет ссылку на международный стандарт ISO 14125, не принятый в качестве международного)

ДА.1 Сущность метода

Метод испытания заключается в трех- или четырехточечном изгибе образца прямоугольного сечения с постоянной скоростью нагружения до момента разрушения или момента, когда деформация растяжения на внешней поверхности образца достигнет некоторого предварительно определенного значения, с определением:

- прочности при изгибе — отношение максимального изгибающего момента к моменту сопротивления сечения при изгибе до разрушения образца;
- модуля упругости при нагружении образца в пределах начального линейного участка диаграммы деформирования;
- максимальной деформации растяжения на внешней поверхности образца;
- диаграммы деформирования в координатах напряжение — прогиб.

ДА.2 Оборудование для испытаний

ДА.2.1 Испытания проводят на испытательной машине, отвечающей требованиям ISO 5893, обеспечивающей линейное перемещение активного захвата (траверсы) с заданной постоянной скоростью и измерение нагрузки с погрешностью не более ± 1 % от измеряемой величины.

ДА.2.2 Машина должна быть снабжена траверсой, по которой могут перемещаться две опоры, и нагружающим пуансоном при трехточечном нагружении (рисунок ДА.1). При четырехточечном нагружении (рисунок ДА.2) машина должна быть снабжена траверсой, по которой могут перемещаться две опоры, и двумя нагружающими пуансонами с возможностью регулирования расстояния между ними. Радиусы закругления краев опор R_1 и пуансона R_2 приведены в таблице ДА.1. Поверхности опор и пуансона должны быть обработаны не грубее R_a = 0,63 мкм и закалены. Их твердость должна быть не менее 40 HRC.

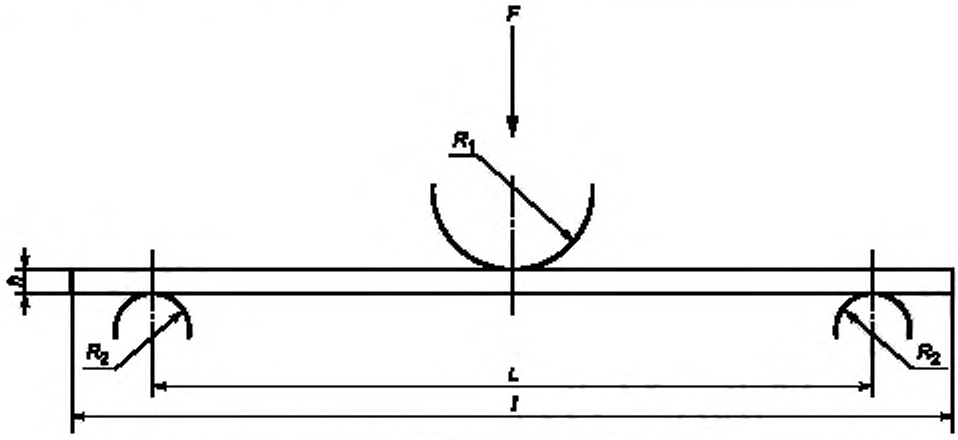


Рисунок ДА.1 — Схема трехточечного нагружения

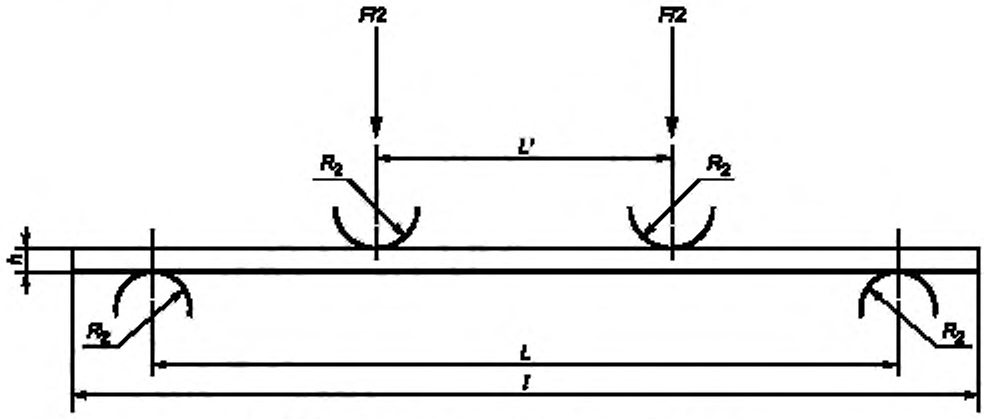


Рисунок ДА.2 — Схема четырехточечного нагружения

Пролет L (расстояние между опорами) должен быть регулируемым. $L = 3 \cdot L'$.

Таблица ДА.1 — Радиусы закругления краев опор и наконечника

Наименование радиуса	Значение, мм
R_1	5,0 ± 0,2
R_2 для толщины образца h не более 3 мм	2,0 ± 0,2
R_2 для толщины образца h не менее 3 мм	5,0 ± 0,2

ДА.2.3 Опоры должны быть закреплены неподвижно и позволять точно центрировать образец (продольная ось образца должна быть параллельна боковой плоскости траверсы, а центр симметрии образца совпадать с осью приложения нагрузки).

ДА.2.4 Допускаемые отклонения от параллельности поверхностей опор и опорной поверхности пуансона в горизонтальной плоскости — 0,05 мм.

ДА.2.5 Для измерения прогиба применяют датчики перемещения или иные приборы, обеспечивающие измерение деформации с погрешностью не более ± 1 % от базы датчика деформации.

ДА.2.6 Средства измерения ширины и толщины образца должны обеспечивать измерение с погрешностью не более ± 1 % от измеряемой величины. Для измерений следует использовать штангенциркуль с погрешностью не менее ± 0,025 мм и микрометр с погрешностью не менее ± 0,01 мм.

ДА.2.7 Все используемое оборудование должно быть поверено или иметь соответствующие сертификаты калибровки.

ДА.3 Образцы

ДА.3.1 При испытаниях на трех- и четырехточечный изгиб используют образец в виде полосы прямоугольного сечения без скругленных кромок (таблицы ДА.2—ДА.3).

Таблица ДА.2 — Рекомендуемые размеры образцов для испытания на трехточечный изгиб

Материал	Класс материала	Длина образца l, мм	Пролет между опорами L мм	Ширина b, мм	Толщина h, мм
Термопласты, армированные прерывистым волокном	I	80	64	10	4
Пластмассы, армированные войлоком, непрерывным маттированным материалом и тканью	II	80	64	15	4
Композитные материалы с E_{11}/G_{13} от 5 до 15 (например, материалы, армированные стекловолокном)	III	60	40	15	2

Окончание таблицы ДА.2

Материал	Класс материала	Длина образца *l*, мм	Пролет между опорами *L*, мм	Ширина *b*, мм	Толщина *h*, мм
Композитные материалы с E_{11}/G_{13} от 15 до 50 (например, материалы, армированные углеродным волокном)	IV	100	80	15	2
Допуски		+ 10 - 0	± 1	± 0,5	± 0,2

Таблица ДА.3 — Рекомендуемые размеры образцов для испытания на четырехточечный изгиб

Материал	Класс материала	Длина образца *l*, мм	Пролет между опорами *L*, мм	Пролет между опорами *L'*, мм	Ширина *b*, мм	Толщина *h*, мм
Термопласты, армированные прерывистым волокном	I	80	64	*L*/3	10	4
Пластмассы	II	80	64		15	4
Композитные материалы с E_{11}/G_{13} от 5 до 15 (например, стеклопластики)	III	60	40		15	2
Композитные материалы с E_{11}/G_{13} от 15 до 50 (например, углепластики)	IV	100	80		15	2
Допуски		+ 10 -0	± 1	± 1	± 0,5	± 0,2

Примечание — Для материалов с грубыми армирующими наполнителями допускается использование образцов шириной 25 мм.

Отклонение толщины и ширины образца по всей длине должно быть не более 1 % от среднего значения.

ДА.3.2 Допускается использование образцов иной геометрии, удовлетворяющей требованиям таблиц ДА.4 — ДА.5.

Таблица ДА.4 — Рекомендуемые отношения пролета между опорами *L* и длины образца *l* к толщине *h*

Класс материала	Трехточечный метод		Четырехточечный метод	
	L/*h*	*l*/*h*	*L*/*h*	*l*/*h*
I	16	20	16,5	20
II	16	20	16,5	20
III	20	30	22,5	30
IV	40	50	40,5	50

Примечание — Допускается выбирать соотношения пролета между опорами к толщине образца 60/1.

Таблица ДА.5 — Зависимость ширины образца от толщины

Толщина образца, мм	Ширина образца для материала класса I	Ширина образца для материалов классов II, III и IV
От 1 до 3 включ.	25	15
Св. 3 » 5 »	10	15
» 5 » 10 »	15	15

Окончание таблицы ДА.5

Толщина образца, мм	Ширина образца для материала класса I	Ширина образца для материалов классов II, III и IV
» 10 » 20 »	20	30
» 20 » 35 »	35	50
» 35 » 50 »	50	80

ДА.3.3 Образцы формуют или вырезают из плит в направлении главных осей ортотропии материала. Расположение армирующего наполнителя должно быть симметрично относительно срединной плоскости образца, проходящей через его ось и параллельной плоскости укладки арматуры. Способ и режим изготовления образцов указывают в нормативном документе или технической документации на материал.

ДА.3.4 Образцы должны иметь гладкую ровную поверхность без вздутий, сколов, трещин, расслоений и других дефектов, заметных невооруженным глазом.

ДА.3.5 Количество образцов, необходимое для определения одной из характеристик в заданном направлении композитного материала одной партии, должно быть не менее пяти.

ДА.4 Проведение испытания

ДА.4.1 Перед испытанием образцы кондиционируют не менее 16 ч по ISO 291 при температуре (23 ± 2) °С и относительной влажности воздуха (50 ± 5) %, если в нормативном документе или технической документации на материал нет других указаний.

ДА.4.2 При отсутствии в нормативном документе или технической документации на материал специальных указаний, время от окончания изготовления образцов до испытания должно составлять не менее 16 ч, включая кондиционирование.

ДА.4.3 Перед испытанием образцы маркируют, измеряют толщину и ширину рабочей части образца.

ДА.4.4 Испытания проводят в помещении или закрытом объеме при температуре и относительной влажности окружающего воздуха или другой среды, указанных в нормативном документе или технической документации на материал. Если таких указаний нет, то испытания проводят при температуре (23 ± 5) °С и относительной влажности воздуха (50 ± 10) %.

ДА.4.5 Измеряют ширину и толщину с погрешностью не более 1 % в центре каждого испытуемого образца. Рассчитывают среднее значение толщины образца в партии. Регулируют пролет между опорами в соответствии с таблицей ДА.4.

ДА.4.6 На испытательной машине устанавливают пуансон(ы) и опоры с пролетом по таблицам ДА.2 и ДА.3. На опоры кладут специально подготовленную стальную балку и по ней выравнивают опоры и пуансон, добиваясь необходимой параллельности опорных поверхностей в соответствии с ДА.2.4.

ДА.4.7 При отсутствии встроенного датчика перемещения активного захвата испытательной машины или необходимости более точного измерения прогиба устанавливают датчик перемещений в середине пролета.

ДА.4.8 Устанавливают образец на опоры широкой стороной поперек направления приложения нагрузки и приводят в соприкосновение с его верхней поверхностью нагружающий наконечник. Между нагружающим наконечником и образцом можно поместить тонкую или упругую прокладку, чтобы предотвратить разрушение от сжатия внешней поверхности образца, особенно, для материалов классов III и IV.

ДА.4.9 Устанавливают скорость перемещения активного захвата V, мм/мин, в соответствии с нормативным документом или технической документацией на материал. В случае отсутствия данной информации выбирают значение по таблице ДА.6.

Таблица ДА.6 — Рекомендуемые значения скорость перемещения активного захвата

Скорость перемещения активного захвата, мм/мин	Допустимое отклонение, %
0,5	± 20
1	
2	
5	
10	

Окончание таблицы ДА.6

Скорость перемещения активного захвата, мм/мин	Допустимое отклонение, %
20	± 10
50	
100	
200	
500	

Скорость перемещения активного захвата V, мм/мин, рассчитывают по формуле (ДА.1) для трехточечного изгиба и по формуле (ДА.2) для четырехточечного изгиба.

$$V = \frac{ZL^2}{6h}, \quad (ДА.1)$$

где h — толщина образца, мм;

Z — скорость деформирования волокна на внешней поверхности образца, равна 0,01 мин$^{-1}$.

$$V = \frac{ZL^2}{4,7h}. \quad (ДА.2)$$

ДА.4.10 Проводят испытание с регистрацией нагрузки и соответствующего прогиба испытуемого образца, используя автоматическую систему записи, которая дает полное графическое отображение кривой зависимости прогиба от нагрузки или деформации изгиба (деформации растяжения на внешней поверхности образца) от напряжения изгиба.

ДА.5 Обработка результатов испытания

ДА.5.1 Трехточечный изгиб

ДА.5.1.1 Прочность при изгибе $\sigma_{И}^{В}$, МПа, определяют по формуле

$$\sigma_{И}^{В} = \frac{1,5P_{max}L}{bh^2}, \quad (ДА.3)$$

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

b — ширина образца, мм.

ДА.5.1.2 Прочность при изгибе при пролетах опор больше, чем $16 \cdot h$ определяют по формуле

$$\sigma_{И}^{В} = \frac{1,5P_{max}L}{bh^2}\left(1 + 6\left(\frac{w}{L}\right)^2 - 4\frac{hw}{L^2}\right). \quad (ДА.4)$$

где w — прогиб образца, мм.

ДА.5.1.3 В случае больших прогибов, составляющих более $0,1 \cdot L\sigma_{И}^{В}$, МПа, определяют по формуле

$$\sigma_{И}^{В} = \frac{3P_{max}L}{2bh^2}\left(1 + 6\left(\frac{w}{L}\right)^2 - 3\frac{hw}{L^2}\right). \quad (ДА.5)$$

ДА.5.1.4 Деформацию на внешней поверхности образца ε_{max}, определяют по формуле

$$\varepsilon_{max} = \frac{6wh}{L^2}. \quad (ДА.6)$$

ДА.5.1.5 В случае больших прогибов, составляющих более $0,1 \cdot L$, ε_{max} определяют по формуле

$$\varepsilon_{max} = \frac{h}{L}\left[6\frac{w}{L} - 24,37\left(\frac{w}{L}\right)^3 + 62,17\left(\frac{w}{L}\right)^5\right]. \quad (ДА.7)$$

ДА.5.1.6 Прогибы w'_f и w''_f, мм, которые соответствуют значениям деформации изгиба $\varepsilon'_f = 0,0005$ и $\varepsilon''_f = 0,0025$, определяют по формулам

$$w'_f = \frac{\varepsilon'_f L^2}{6h}, \quad (ДА.8)$$

$$w''_f = \frac{\varepsilon''_f L^2}{6h}. \quad (ДА.9)$$

ДА.5.1.7 Модуль упругости при поперечном изгибе $E_{И}^{П}$, МПа, определяют по формуле

$$E_{И}^{П} = \frac{\Delta P L^3}{4bh^3 \Delta w}, \quad (ДА.10)$$

где Δw — разность прогибов w' и w'', мм;

ΔP — приращение нагрузки на упругом участке нагружения, соответствующее изменению прогиба Δw, Н.

ДА.5.2 Четырехточечный изгиб

ДА.5.2.1 Прочность при изгибе $\sigma_{И}^{В}$, МПа, определяют по формуле

$$\sigma_{И}^{В} = \frac{P_{max} L}{bh^2}. \quad (ДА.11)$$

ДА.5.2.2 Прочность при изгибе при пролетах опор больше, чем $16 \cdot h$, определяют по формуле

$$\sigma_{И}^{В} = \frac{1{,}5 P_{max} L}{bh^2}\left(1 + 6\left(\frac{w}{L}\right)^2 - 4\frac{hw}{L^2}\right). \quad (ДА.12)$$

ДА.5.2.3 В случае больших прогибов, составляющих более $0{,}1 \cdot Lo_{И}^{В}$, МПа, определяют по формуле

$$\sigma_{И}^{В} = \frac{P_{max} L}{2bh^2}\left(1 + 8{,}78\left(\frac{w}{L}\right)^2 - 7{,}04\frac{wh}{L^2}\right). \quad (ДА.13)$$

ДА.5.2.4 Деформацию на внешней поверхности образца ε_{max}, определяют по формуле

$$\varepsilon_{max} = \frac{4{,}7wh}{L^2}. \quad (ДА.14)$$

ДА.5.2.5 В случае больших прогибов, составляющих более $0{,}1 \cdot L$, ε_{max} определяют по формуле

$$\varepsilon_{max} = \frac{h}{L}\left[4{,}7\frac{w}{L} - 14{,}39\left(\frac{w}{L}\right)^3 + 27{,}7\left(\frac{w}{L}\right)^5\right]. \quad (ДА.15)$$

ДА.5.2.6 Прогибы w' и w'', мм, которые соответствуют значениям деформации изгиба $\varepsilon'_f = 0{,}0005$ и $\varepsilon''_f = 0{,}0025$, определяют по формулам

$$w' = \frac{\varepsilon'_f L^2}{4{,}7h}, \quad (ДА.16)$$

$$w'' = \frac{\varepsilon''_f L^2}{4{,}7h}. \quad (ДА.17)$$

ДА.5.2.7 Модуль упругости при поперечном изгибе $E_{И}^{П}$, МПа, определяют по формуле

$$E_{И}^{П} = \frac{0{,}21 \Delta P L^3}{bh^3 \Delta w}. \quad (ДА.18)$$

ДА.5.3 Округление вычислений результатов испытаний проводят в соответствии с таблицей ДА.7.

Таблица ДА.7

Характеристика	Интервал значений характеристики	Округление
Прочность при изгибе	до 100 МПа	до 1 МПа
	св. 100 до 500 МПа	до 5 МПа
	св. 500 МПа	до 10 МПа
Модуль упругости	до 10,0 ГПа	до 0,1 ГПа
	до 100 ГПа	до 1 ГПа
	свыше 100 ГПа	до 5 ГПа
Деформация на внешней поверхности образца	-	до 0,1 %

ДА.5.4 Проводят анализ типа разрушения в соответствии с таблицей ДА.8. Допустимыми являются разрушения, вызванные растяжением и сжатием на поверхностях образцов. Разрушения, вызванные межслойным сдвигом, являются недопустимыми.

Таблица ДА.8 — Возможные типы разрушения

Трехточечный изгиб	Четырехточечный изгиб
Разрушение от напряжений растяжения	
	
Разрушение наружного слоя от напряжений растяжения	
	
Разрушение на внешней поверхности от напряжений сжатия	
	
Разрушение наружного слоя от напряжений растяжения (включая межслойный сдвиг)	
	
Разрушение на внешней поверхности от напряжений сжатия (включая межслойный сдвиг)	
	
Разрушение от межслоевого сдвига	
	

ДА.6 Протокол испытаний

Результаты испытаний заносят в протокол испытаний, который должен содержать:

- наименование материала;
- наименование предприятия-изготовителя;
- метод изготовления;
- количество образцов, их маркировку и геометрические размеры;
- способ кондиционирования и условия испытания;
- тип средств измерений и испытаний, заводской номер;
- способ измерений прогиба и нагрузки (класс точности датчика перемещений, датчика силы);
- скорость перемещения активного захвата;
- значения определяемых показателей для каждого образца;
- дату проведения испытаний;
- ссылку на настоящий стандарт.

Дополнительно протокол может содержать диаграммы деформирования и фотографии разрушенных образцов.

Приложение ДБ
(справочное)

Положения ISO 13003:2003, которые приняты в настоящем стандарте с модификацией их содержания

ДБ.1

1 Область применения

Настоящий международный стандарт определяет общие процессы для проведения испытаний композитов из армированного волокном пластика на усталость в условиях циклических нагрузок с постоянной амплитудой и постоянной частотой. Несмотря на то, что эти общие процессы применимы ко всем методам испытаний и контроля испытательных установок, особое внимание следует уделить их применению в каждом конкретном случае. Предыдущий опыт основан преимущественно на усталостных испытаниях на растяжение и изгиб на базе методов испытаний при эквивалентной статической (монотонной) нагрузке. Испытания на усталость однонаправленных армированных углеволокном систем по траектории выкладки волокна проводить особенно сложно.

В некоторых случаях, например при определении характеристик трещиностойкости, существуют специальные испытания, которые следует проводить с учетом настоящего международного стандарта.

Примечание — Данный раздел изменен в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5 (п. 3.7).

ДБ.2

3 Термины и определения

В настоящем документе применяются следующие термины и определения.

3.1 **напряжение (воздействующее на испытуемый образец) σ**: Номинальное напряжение, вычисленное при помощи соответствующей формулы, указанной в используемом монотонном (статическом) методе испытаний, из значения измеренной нагрузки.

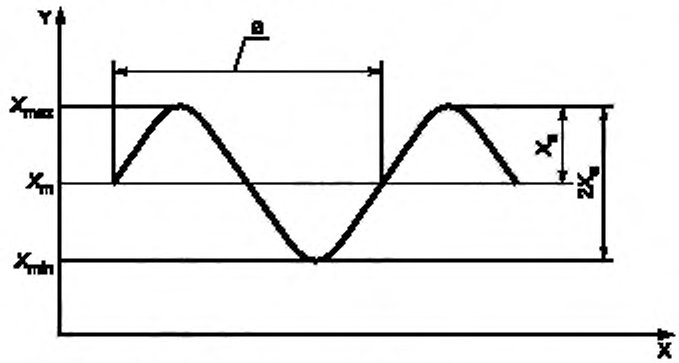
Примечание — Выражается в МПа.

3.2 **деформация (воздействующая на испытуемый образец) ε**: Относительное удлинение максимально нагруженной части испытуемого образца (например, наружной поверхности образца, испытуемого на изгиб)

Примечание — Вычисляется при помощи соответствующей формулы, указанной в используемом методе испытаний, и выражается в безразмерном коэффициенте.

3.3 **форма цикла:** Форма циклического изменения приложенного напряжения (нагрузки) или деформации (перемещения) между постоянными максимальными и минимальными значениями.

Примечание — Стандартной формой цикла является синусоидальная форма. На рисунке 1 представлен пример синусоидальной формы цикла с постоянной амплитудой и постоянной частотой. Также используют иные формы цикла, например прямоугольную, треугольную и пилообразную.



X — время, Y — приложенное напряжение или деформация X. X_{max} — максимальное (или предельное) значение X; X_m — среднее значение X [$X_m = (X_{max} + X_{min})/2$]; X_{min} — минимальное (низшее) значение X; X_a — амплитуда X, $2X_a$ — размах напряжений или деформаций,

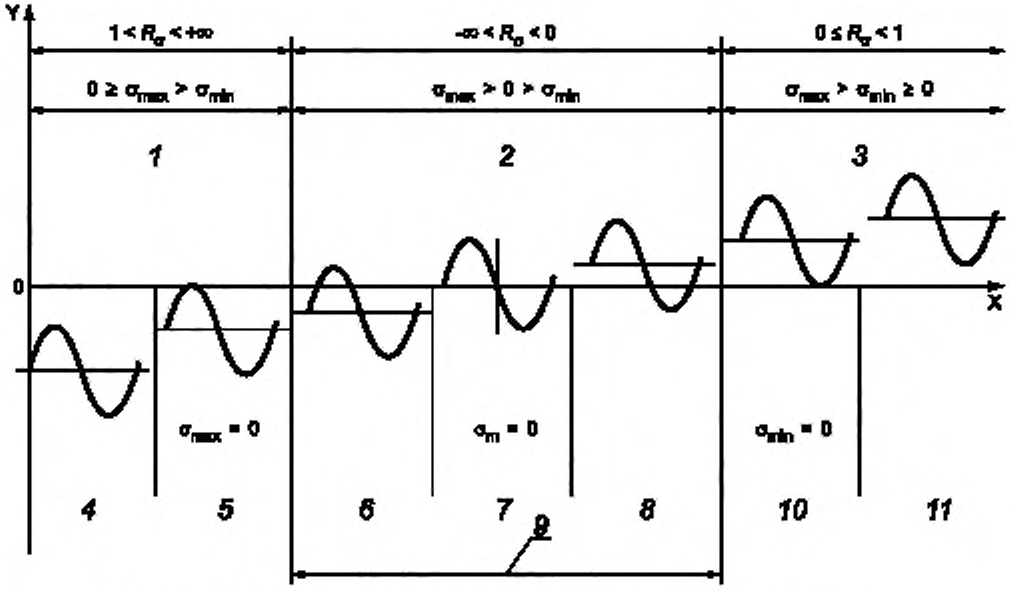
а — 1 цикл

Рисунок 1 — Пример синусоидальной формы цикла

3.4 **цикл**: Единичная завершенная форма волны от любой точки волны (например, средней, максимальной) до следующего появления такой же точки.

3.4.1 **тип цикла**: Тип цикла определяется положением сигнала по отношению к нулевому напряжению (нагрузке) или деформации (перемещению).

Примечание — На рисунке 2 представлен пример циклов напряжения. Для циклов деформации (перемещения) условия деформации (перемещения) заменяют условия напряжения.



X — время t; Y — напряжение σ (или деформация ε); *1* — область пульсирующего сжатия; *2* — область растяжения-сжатия; *3* — область пульсирующего растяжения; *4* — цикл пульсирующего сжатия, *5* — отнулевой цикл сжатия; *6* — знакопеременный цикл с преобладанием сжатия; *7* — симметричный или завершенный знакопеременный цикл; *8* — знакопеременный цикл с преобладанием растяжения, *9* — знакопеременные циклы; *10* — отнулевой цикл растяжения; *11* — цикл пульсирующего растяжения

Рисунок 2 — Примеры типов цикла

3.5 **частота *f***: Количество циклов, или частей цикла, завершенных за 1 секунду, выражаемое в герцах.

3.6 **значения напряжения, деформации и перемещения**

3.6.1 **максимальное напряжение σ_{max}, максимальная деформация ε_{max}, максимальное перемещение d_{max}**: Максимальное значение, периодически достигаемое при напряжении, выраженном в мегапаскалях, либо при деформации, выраженной в процентах, либо при перемещении, выраженном в миллиметрах.

3.6.2 **минимальное напряжение σ_{min}, минимальная деформация ε_{min}, минимальное перемещение d_{min}**: Минимальное значение, периодически достигаемое при напряжении, выраженном в мегапаскалях, либо при деформации, выраженной в процентах, либо при перемещении, выраженном в миллиметрах.

3.6.3 **среднее напряжение σ_m, средняя деформация ε_m, среднее перемещение d_m**: Алгебраическое среднее значение максимальных и минимальных напряжений, деформаций и перемещений

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_{max} + \varepsilon_{min}}{2}; \quad (2)$$

$$d_m = \frac{d_{max} + d_{min}}{2}. \quad (3)$$

3.6.4 **амплитуда напряжений σ_a, амплитуда деформаций ε_a, амплитуда перемещений d_a**: Значение, равное половине разности максимальных и минимальных напряжений, деформаций и перемещений:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_a = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{2}; \quad (5)$$

$$d_a = \frac{d_{max} - d_{min}}{2}. \quad (6)$$

Примечание — В некоторых случаях приводят величину двойной амплитуды колебаний напряжения, деформаций и перемещений: (т. е. удвоенное напряжение, деформация и перемещение).

3.6.5 **коэффициент асимметрии цикла напряжения R_σ, коэффициент асимметрии цикла деформации R_ε, коэффициент асимметрии цикла перемещения R_d**: Отношение минимального напряжения, деформации или перемещения к максимальному напряжению, деформации или перемещению в пределах одного цикла:

$$R_\sigma = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}; \quad (7)$$

$$R_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{min}}{\varepsilon_{max}}; \quad (8)$$

$$R_d = \frac{d_{min}}{d_{max}}. \quad (9)$$

Примечание — Например, $R = -1$ — симметричное растяжение и сжатие равной величины, а $R = 0{,}1$ — пульсирующий цикл растяжения, минимальное значение которого равно 0,1 от максимального значения.

3.7 **нагрузка F**: Нагрузка на образец, измеряемая датчиком нагрузки.

Примечание — Максимальное и минимальное значение для каждого цикла нагрузки — F_{max} и F_{min}, выраженные в Н.

3.7.1 **начальная нагрузка F_i**: Абсолютное значение максимальной амплитуды нагрузки, измеренное до окончания первых 100 циклов или после достижения устойчивого режима.

Примечание — Данное значение может быть получено путем отдельных измерений или путем отбора за несколько циклов. Выражается в Н.

3.7.2 **коэффициент нагрузки R_F**: Отношение минимальной нагрузки к максимальной нагрузке в пределах одного цикла

$$R_F = \frac{F_{min}}{F_{max}}.$$

3.8 **начальное напряжение σ_i**: Напряжение, вычисляемое из начальной нагрузки (пункт 3.7.1).

Примечание — Выражается в МПа.

3.9 **усталостная долговечность N_f**: Количество циклов, которым подвергается испытуемый образец до момента разрушения или окончания испытания.

Примечания:

1 Для испытаний с регулируемым смещением, где разрушение не происходит путем разделения образца на две части или более, либо путем чрезмерных общих разрушений (т.е. так, чтобы образец более не подвергался нагрузке), окончание испытаний определяется как степень разрушения (или интенсивность разрушения), связанная с уменьшением прочности испытуемого образца (например, с 5 % до 20 %). За степень разрушения, как правило, принимается уменьшение на 20 % в абсолютном значении.

2 Когда испытание завершается до достижения критериев разрушения либо ограничений по прочности (т.е. продолжительность испытания для достижения разрушения считается чрезмерной), усталостная долговечность не определяется, однако она считается больше, чем продолжительность испытания. Подобные испытания называются «выбеги», и точки данных на графиках напряжения или деформации часто указываются напротив количества циклов путем добавления стрелки, указывающей на максимальную продолжительность испытания (например, x →, o →).

3.10 **предельные свойства**

3.10.1 **предел прочности при растяжении/изгибе при статической (стандартной) скорости нагрузки UTS^S/UFS^S**: Параметр, заданный используемым методом испытаний, например:

- UTS^S для предела прочности при растяжении согласно ISO 527-4 или ISO 527-5;
- UFS^S для предела прочности при изгибе согласно ISO 14125.

3.10.2 **предел прочности при растяжении/изгибе при интенсивности усталостных нагрузок UTS^F/UFS^F**: Параметр, заданный испытаниями при интенсивности усталостных нагрузок, например, UTS^F для предела прочности при растяжении и UFS^F — для предела прочности при изгибе.

Примечания

1 За интенсивность усталостных нагрузок принимается результат разрушения за время, равное 0,5 периода цикла, например:

длительность испытания (с) = 0,5/частоту (Гц).

2 Он может быть настроен на ту же частоту, что и испытания на усталость при помощи циклического нагружения с треугольной формой цикла и нарастающей амплитудой, достаточной для разрушения. Важно: для материалов, зависящих от скорости, таких как пластмассы, полностью армированные стекловолокном, он может быть значительно выше (> 40%) статического предела прочности.

Примечание — Данный раздел изменен, так как данные термины и определения стандартизированы на межгосударственном уровне в ГОСТ 23207.

ДБ.3
5 Оборудование

5.1 Испытательная установка

Следует использовать испытательную установку, подходящую для выбранного режима испытаний (например, растяжение, изгиб). Оборудование должно быть подходящим для применения необходимого количества циклов для нескольких испытаний (например, $\geq 10^8$ циклов) в необходимой форме цикла (например, синусоидальная, прямоугольная, треугольная, пилообразная). Количество применяемых циклов должно быть вычислено или получено из известной применяемой частоты и продолжительности испытания.

5.2 Датчики и соответствующая электроника

Данное оборудование должно непрерывно измерять изменение нагрузки, перемещения или других параметров, например деформацию с точностью до 2% диапазона измерений, в зависимости от используемого режима управления.

Примечание — Выбор датчика силы и его диапазона измерений связан с необходимой чувствительностью измерения и характеристиками подвижной части датчика (т.е. его размеры и масса могут повлиять на частотную характеристику и магнитуду инерционных воздействий).

Рекомендуется использование датчиков усталостной прочности.

Примечание — Данный раздел изменен в целях соблюдения технического стиля изложения и в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5 (п. 7.9.6).

ДБ.4
6 Подготовка и проверка испытуемых образцов

6.1 Подготовка испытуемых образцов

Испытуемые образцы, как установлено в стандарте, должны быть вырезаны из испытательных пластин, подготовленных согласно соответствующей части ISO 1268, или из плоских участков испытуемых изделий.

Механические свойства компонентов или подкомпонентов непосредственно связаны со структурой материала и напрямую зависят от режима обработки. Рекомендуется проводить испытания на образцах, которые, если не взяты из фактических компонентов или подкомпонентов, изготовлены в условиях, приближенных к фактическим условиям производства.

6.2 Форма и размеры

Образцы должны соответствовать формам и размерам, указанным в стандарте для выбранного метода испытаний.

6.3 Проверка

Образцы проверяют в соответствии со стандартом для выбранного метода испытаний. Особое внимание следует уделить хорошему качеству образцов, не содержащих технологических дефектов, которые могут вызвать преждевременное разрушение.

Примечание — Данный раздел изменен в целях соблюдения технического стиля изложения и в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5 (п. 7.9.7).

ДБ.5
7 Количество испытуемых образцов

Для определения диаграммы усталости следует испытать пять образцов минимум на четырех уровнях воздействующего напряжения/деформации и т.д., если не оговорено иное (см. примечание 1).

Для измерения статического (монотонного) предела прочности для выбранного метода испытаний следует выполнить монотонное испытание пяти образцов на разрушение. Рекомендуется повторить испытания при интенсивности усталостных нагрузок для материалов, зависимых от интенсивности нагрузки.

Примечания:

1 Для статистического анализа результатов рекомендуется увеличить количество испытуемых образцов [например, для кривых разрушения по Вейбуллу или для получения расчетных данных (предпочтительно от 24 до 30 штук)]. Для сокращения затрат на предварительное и экспериментальное изучение может быть достаточно 6 образцов, для исследования материалов — 12 образцов, в зависимости от разброса результатов испытания.

2 Для материалов, чувствительных к интенсивности нагрузки (например, для систем, армированных стекловолокном), также рекомендуется измерять предел прочности при интенсивности нагрузки, эквивалентной условиям испытания на усталость (см. пункт 3.10.2).

Примечание — Данный раздел изменен в целях соблюдения технического стиля изложения и в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5 (п. 7.9.7).

ДБ.6

9.3 Проведение испытания

9.3.3 Монотонные испытания

Испытания проводят на пяти образцах и определяют средние статические (стандартные) свойства в соответствии со стандартом для используемого метода испытаний. Для материалов, зависимых от скорости нагрузки, следует повторить испытания при интенсивности усталостных нагрузок.

9.3.4 Испытания на усталость

Выбирают четыре уровня усталости в соответствии с испытуемым материалом и необходимой максимальной усталостной долговечностью или необходимым диапазоном напряжения/деформации.

Примечание 1 — Данные уровни, как правило, распределяются поровну в пределах усталостной долговечности или ряду соответствующих прилагаемых нагрузок/напряжений. Пробные испытания могут проводиться для подтверждения ряда используемых условий при проведении испытания. Дальнейшие указания представлены в приложениях А и В.

Выбранные условия применяют плавно, как установлено для используемой системы управления оборудованием. Соотношения между максимальной, минимальной и пиковой амплитудой представлены в разделе 3.

Примечание 2 — Пользователи должны убедиться в том, что программное обеспечение системы управления использует те же соотношения при известной амплитуде, а также настроить контрольные значения, если необходимо.

Записывают применимые условия при их стабилизации. Они могут несколько отличаться от требуемых условий вследствие ограничений управления установкой и прочности образца. Не перенастраивать.

Записывают данные пиковой нагрузки, деформации и/или перемещения, если они известны. Данные показатели могут быть использованы для непрерывного наблюдения за снижением прочности (коэффициента прочности) образца в течение испытания.

Примечание 3 — Запись кривой гистерезиса полной нагрузки периодически предоставляет важную информацию об изменениях в характеристиках образца (см. приложения А и В).

Температуру следует контролировать, по меньшей мере, по одному образцу на каждом уровне испытания согласно 9.2.

Записывают количество циклов до разрушения либо до потери прочности, определяемой как критерий окончания испытания (см. пункт 3.9). Режим разрушения должен быть применим для используемого монотонного метода испытаний, обращают особое внимание на разрушения, вызванные в точке приложения нагрузки или в месте опоры. Утилизируют образцы с неправильным разрушением и повторяют испытания.

Записывают режим разрушения.

Примечание — Данный раздел изменен в целях соблюдения технического стиля изложения и в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5 (п. 7.9.8).

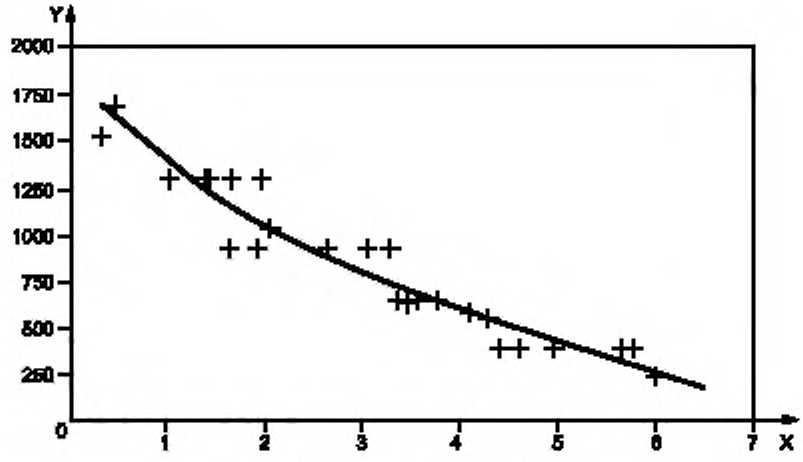
ДБ.7

10 Представление результатов испытания

10.1 Построение графика результатов усталостной долговечности

Результаты выражены на графике (см. рисунок 3):

- по оси Y (линейная шкала): пиковые напряжения или деформации;
- по оси X (логарифмическая шкала): количество циклов.



X — log N; Y — напряжение (МПа)

Рисунок 3 —Пример диаграммы усталости

Данный метод представления данных изображен на диаграмме по Вёлеру (или типа S—N). Если данные предела прочности представлены на одном и том же графике, то для материалов, зависимых от скорости нагрузки, должны быть использованы данные предела прочности при интенсивности нагрузки, эквивалентной условиям испытания на усталость. Точка данных обозначена на графике при 0,5 цикла.

10.2 Анализ результатов

10.2.1 Проведение кривой по точкам

Обозначают на графике результаты, полученные из проведенных испытаний, как показано на рисунке 3. Строят кривую усталости, используя процессы создания криволинейной траектории, например метод наименьших квадратов (особенно, если данные расположены почти по прямой).

Для получения полной информации о данных, полученных в результате испытания, рекомендуется включить экспериментальные точки данных в протокол испытания (см. рисунок 3).

Примечание — Данный раздел изменен в целях соблюдения технического стиля изложения и в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5 (п. 7.9.10).

ДБ.8
12 Протокол испытания

Протокол испытания должен включать:

a) ссылку на настоящий международный стандарт;

b) полную идентификацию испытуемого материала, а именно:

- его обозначение, природу матрицы, природу, тип и содержание армирующего материала, тип формата волокна и схему укладки,
- его происхождение, регистрационный номер изготовителя и номер партии,
- использованные процессы производства (если известно);

c) методы получения испытуемых образцов (технологические параметры);

d) используемый метод испытаний и применимый стандарт (растяжение, изгиб);

e) подробные сведения об испытательной установке, включая типы датчиков и их точность;

f) режим управления (например, нагрузка, перемещение) и тип цикла колебаний;

g) условия проведения испытания (температура, влажность и т. д.) и метод приведения к требуемым условиям;

h) общее количество использованных образцов;

i) средний размер (ширина × толщина × длина) и форму образца;

j) геометрические параметры испытания, например тип (трехточечный или четырехточечный) и интервал(ы) испытания;

k) участок или поверхность испытуемых образцов под воздействием напряжения;

l) стандартные предельные статические свойства;

m) предельные статические свойства в условиях проведения испытаний на усталость, если необходимо;

n) максимальные и минимальные примененные условия (или среднее значение и амплитуда);

o) *R*-коэффициент;

p) частоту при проведении испытания (Гц);

q) использованные критерии разрушения (например, излом или потеря прочности);

r) для каждого образца:

- размер образца,
- приложенное напряжение/деформация и т.д., условия,
- количество циклов до разрушения (или циклов до 20% потери прочностных характеристик),
- максимальную температуру поверхности образца, если она выше порогового значения,
- тип разрушения;

s) типовые графики зависимости прочности образца и/или затухания от количества циклов, если известно;

t) графики зависимости прилагаемого напряжения (или деформации, или перемещения) от количества циклов до разрушения *N* для всех образцов [данные показатели могут быть перестроены на графике с учетом нормализации предельных свойств — следует использовать усталостные предельные свойства тогда, когда монотонные (статические) предельные свойства зависят от интенсивности];

u) дату проведения испытания.

Примечание — Данный раздел изменен в целях соблюдения технического стиля изложения и в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5 (п. 4.4).

Приложение ДВ
(справочное)

Положения ISO 13003:2003, которые исключены в настоящем стандарте

ДВ.1
4 Сущность метода

Используемый метод испытаний, размеры образца и вычисления являются такими же, как и в эквивалентном методе испытаний при статических (монотонных) условиях нагрузки.

Примечания

1 Например, испытания на усталость при растяжении используют ISO 527-4 или ISO 527 5 (Важно: данные образцы не подходят для симметричной нагрузки без средств предотвращения деформаций в условиях сжатия, например, ISO 14126 Композиты из армированного волокном пластика — Определение свойств при сжатии в плоскости). Испытания на усталость при изгибе — используют стандарт ISO 14125.

2 Не существует большой разницы в работе испытательной установки на усталость при разных режимах управления (например, нагрузка, перемещение), но есть большая разница в определении момента завершения испытания (см. пункт 3.9).

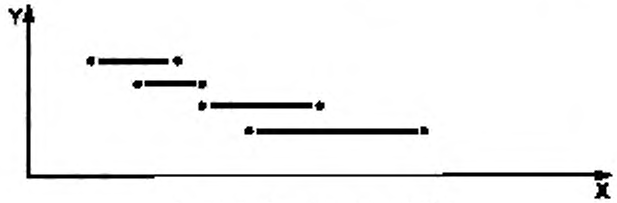
Рекомендации для конкретных режимов испытаний приведены в приложении А (испытания на изгиб) и приложении В (испытания на растяжение).

Примечание — Данные абзацы раздела 4 удалены, так как имеют справочный характер.

ДВ.2
10.2.2 Статистический анализ результатов

Для данного метода анализа требуется большое количество испытаний для каждого определенного уровня напряжения и высокая повторяемость на этом уровне.

Статистический анализ (например, для кривой по Вёлеру) может быть применен для всех результатов, полученных на каждом уровне напряжения (см. рисунок 4). Этот метод является неточным в близости от предела усталости (асимптотическая кривая), так как для идентичных уровней напряжения долговечность может иметь большой разброс.



X — log *N*; Y — напряжение (МПа)

Рисунок 4 — Статистический анализ результатов

Примечание — Данный пункт удален, так как имеет справочный характер.

ДВ.3
11 Точность

Точность данного метода неизвестна, поскольку недоступны данные межлабораторных исследований.

Примечание — Данный раздел удален, так как является неинформативным.

ДВ.4
Приложение А (информационное)

Дополнительные рекомендации для процедур испытания на изгиб

Геометрические параметры испытания и образца должны соответствовать ISO 14125. Испытательное оборудование требует модификации в том случае, если применяют симметричную нагрузку, но поскольку образец имеет поверхность с приложением растягивающей нагрузки и поверхность с приложением сжимающей нагрузки, симметричные испытания, как правило, не обязательны, за исключением тех случаев, когда изучают воздействие напряжений растяжения и сжатия на процесс разрушения.

Берут образцы, размеры которых соответствуют классу испытуемого композитного материала по четырем критериям, указанным в ISO 14125.

Как правило, испытания проводят при постоянной амплитуде перемещений с синусоидальной формой циклов, что позволяет использовать дешевое оборудование (например, электроприводную систему управления или рычажные системы). Однако в подобных случаях разрушение образца приводит к потере прочности образца и снижению напряжения, распространяемого таким образом, что достижение момента разрушения в виде отрыва, как правило, невозможно. Это приводит к необходимости выделения критерия потери прочностных характеристик при разрушении. Испытание при постоянной амплитуде нагрузки и другие синусоидальные формы циклов являются возможными альтернативными вариантами нагружения.

Частоты, используемые при проведении испытаний, как правило, могут быть выше частот, используемых для испытаний того же материала на растяжение, поскольку автогенный (самогенерируемый) нагрев меньше. Высокая теплопроводность систем на основе углеродного волокна позволяет использовать более высокие частоты по сравнению с системами на основе стекловолокна и арамидного волокна. Следует проводить проверку температуры образца на каждом уровне напряжения/деформации. Приемлемый уровень повышения температуры зависит от температурной зависимости предельных свойств испытуемого материала, но с рекомендуемым ограничением 10 °С.

Для сохранения контакта между образцом и зажимным приспособлением рекомендуется R-коэффициент (минимум/максимум) принимать равным 0,1, а не 0. Однако при испытаниях с постоянной амплитудой перемещений при значительной остаточной деформации контакт с зажимным приспособлением может быть потерян при условии минимума, и потерю прочности будет невозможно восстановить.

Вычисляют предельный модуль упругости при изгибе, разрушающую нагрузку и перемещение при разрушении для:

a) времени разрушения от 30 с до 90 с;

b) времени разрушения, соответствующего усталостной частоте (например, 0,1 с для 5 Гц) (ISO 2818 предоставляет более точные подробности и процедуры).

Следует выполнить проверку на зависимость от интенсивности (например, систем на основе стекловолокна) в том случае, когда данные серийных испытаний из пункта b) используются для определения уровней испытания на усталость.

Типовыми условиями испытаний для систем на основе стекловолокна являются:

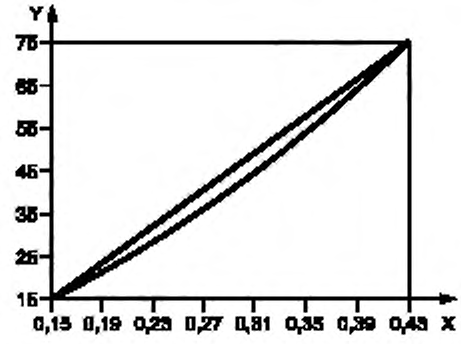
- пять одинаковых испытаний при четырех уровнях напряжений, например, 80 %, 65 %, 55 % и 40 % «усталостной» интенсивности (UFS^F);
- пять одинаковых испытаний для UFS при «усталостной» интенсивности (UFS^F);
- пять одинаковых испытаний для UFS при «стандартной» интенсивности (UFS^S);
- пять дополнительных образцов для более длительного испытания (на долговечность), если не требуется иное.

Примечание — Для пластин на основе углеродного волокна требуются более интенсивные нагрузки.

Контролируют температуру, по меньшей мере, первого образца на каждом уровне испытания. Важно: не стоит учитывать повышение температуры на менее чем 10 °С в течение испытания до разрушения. При больших повышениях температур необходимо контролировать все испытания или снизить частоту. Это не относится к быстрым скачкам повышения температуры, которые связанны с окончательным разрушением.

Если повышение температуры не контролируют, то максимальная температура должна быть записана для каждого образца. Для выполнения измерений, как правило, достаточно термопары, прикрепленной к образцу.

Необходимо контролировать прочность образца по минимальному и максимальному напряжению (при постоянной амплитуде нагрузки) или минимальной и максимальной деформации (при постоянной амплитуде перемещений), или по петле гистерезиса.

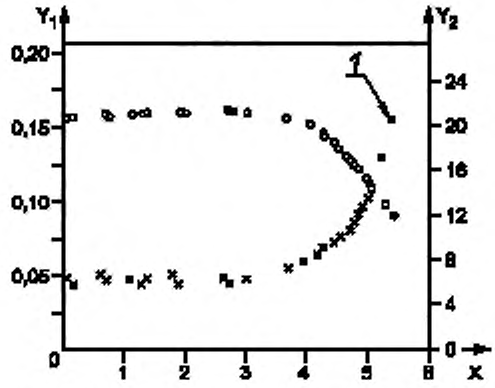


X — деформация, %; Y — напряжение, $МН·м^{-2}$

Рисунок А.1 — Типовая петля гистерезиса

Фиксируют прочность в качестве функции продолжительности испытания/количества циклов до разрушения образца или достижения, по меньшей мере, 20 % или другой оговоренной потери прочностных характеристик для испытаний с управляемым напряжением/деформацией.

(Коэффициент поглощения = $6{,}69 \times 10^{-2}$, E' = 17,45 ГН·м$^{-2}$, количество циклов = 8 986).



X — количество циклов N (x 10^4), Y_1 — потеря X, Y_2 — модуль, ГН·м$^{-2}$; *1* — точка разрушения

Рисунок А.2 — Динамический модуль упругости и изменение затухания

Примечание — Данное приложение удалено, так как оно является информативным. Некоторые его положения приведены по тексту и в приложении А.

ДВ.5

Приложение В (информационное)

Дополнительные рекомендации для процедур испытания на растяжение

Геометрические параметры испытания и образца взяты из ISO 527-4 и ISO 527-5. Образец и испытательное оборудование требуют модификации в том случае, если применяют сжимающие нагрузки, в том числе симметричную нагрузку, поскольку образцы для испытаний на растяжение являются нестабильными при сжимающих нагрузках. Требования по предотвращению изгибов при сжимающих нагрузках указаны в стандарте ISO 14126. Если применяют сжимающую нагрузку, то следует принимать во внимание симметричность загрузочных блоков (например, клиновых захватов). Размеры образца следует выбрать из вариантов, доступных для испытуемого материала.

Как правило, испытания проводят при постоянной амплитуде нагрузки с синусоидальной формой циклов. Моментом завершения испытания обычно является разрушение, но также можно использовать критерий потери прочности.

Частоты, используемые при проведении испытаний, как правило, могут быть ниже частот, используемых для испытаний тех же материалов на изгиб, поскольку автогенный (самогенерируемый) нагрев повышается за счет большей интенсивности образца при напряжении. Высокая теплопроводность систем на основе углеродного волокна позволяет использовать более высокие частоты по сравнению с системами на основе стекловолокна и арамидного волокна. Должна быть проведена проверка образца на каждом уровне напряжения/деформации. Приемлемый уровень повышения температуры зависит от температурной зависимости предельных свойств испытуемого материала, но с рекомендуемым ограничением 10 °С.

Для предотвращения разгрузки загрузочных блоков (например, клиновых захватов) рекомендуется R-коэффициент (минимум/максимум) принимать равным 0,1, а не 0.

Вычисляют предельный модуль упругости при растяжении, напряжение и деформацию при разрушении для:

a) времени разрушения от 30 с до 90 с;

b) времени разрушения, соответствующего усталостной частоте (например, 0,1 с для 5 Гц) (ISO 2818 предоставляет более точные данные и процедуры).

Выполняют проверку на зависимость от интенсивности (например, систем на основе стекловолокна) в том случае, когда данные испытаний из пункта b) используют для определения уровней испытания на усталость.

Типовыми условиями испытаний для систем на основе стекловолокна являются:

- пять одинаковых испытаний при четырех уровнях напряжения, например, 80 %, 55 %, 40 % и 25 % «усталостной» интенсивности (UFS^F);
- пять одинаковых испытаний для UFS при «усталостной» интенсивности (UFS^F);

- пять одинаковых испытаний для UFS при «стандартной» интенсивности (UFS^S);
- пять дополнительных образцов для более длительного испытания (на долговечность), если не требуется иное.

Примечание — Для пластин на основе углеродного волокна требуются более интенсивные нагрузки.

Контролируют температуру, по меньшей мере, одного образца на каждом уровне испытания. Важно: не стоит учитывать повышение температуры на менее чем 10 °С в течение испытания до разрушения. При больших повышениях температур необходимо контролировать все испытания или снизить частоту. Это не относится к быстрым скачкам повышения температуры, которые связанны с окончательным разрушением.

Если повышение температуры не контролируют, то максимальная температура должна быть записана для каждого образца. Для выполнения измерений, как правило, достаточно термопары, прикрепленной к образцу.

Необходимо контролировать прочность образца по минимальному и максимальному напряжению (при постоянной амплитуде нагрузки) или минимальной и максимальной деформации (при постоянной амплитуде перемещений), или по петле гистерезиса.

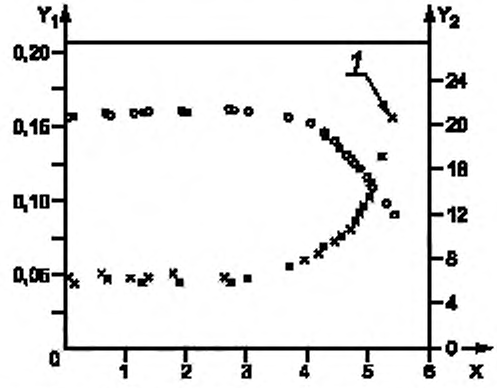
Фиксируют прочность в качестве функции продолжительности испытания/количества циклов до разрушения образца или достижения, по меньшей мере, 20 % или другой оговоренной потери прочностных характеристик для испытаний с управляемым напряжением/деформацией.



X — растяжение, %; Y — напряжение, МН-м$^{-2}$

Рисунок В.1 — Типовая петля гистерезиса

(Коэффициент поглощения = 6,69 × 10^{-2}, E^* = 17,45 ГН-м$^{-2}$, количество циклов = 8 986).



X — количество циклов N (x 10^4); Y_1 — потеря X; Y_2 — модуль, ГН-м$^{-2}$; *1* — точка разрушения

Рисунок В.2 — Динамический модуль упругости и изменения затухания

Примечание — Данное приложение удалено, так как оно является информативным. Некоторые его положения приведены по тексту и в ГОСТ 32656.

Приложение ДГ
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта

Таблица ДГ.1

Структура настоящего стандарта			Структура международного стандарта ISO 13003:2003		
Раздел	Подраздел	Пункт	Раздел	Подраздел	Пункт
1	—	—	1	—	—
2	—	—	2	—	—
3	—	—	3	3.1—3.10	—
4	—	—	4	—	—
5	5.1—5.3	—	5	5.1—5.2	—
6	6.1	6.1.1	6	6.1	—
		6.1.2		6.2—6.3	—
		6.1.3	7	—	—
	6.2	—	8	8.1	—
7	7.1	—		8.2	—
	7.2	—	9	9.1	—
	7.3	—		9.2	—
—				9.3	9.3.1
7	7.4	—			9.3.2
	7.5	—			9.3.3
	7.6—7.11	—			9.3.4
8	—	—	10	10.1	—
				10.2	10.2.1
—					10.2.2
—			11	—	—
Приложения		—	Приложения		А-Б
		А—Д			—

Примечания

1 Межгосударственный стандарт переструктурирован по отношению к международному стандарту в соответствии с ГОСТ 1.5 (подраздел 7.9).

2 Внесены дополнительные приложения ДА—ДД в соответствии с требованиями, установленными к оформлению межгосударственного стандарта, модифицированного по отношению к международному стандарту.

Приложение ДД
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДД.1

Обозначение ссылочного межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ 12423—2013 (ISO 291:2008)	MOD	ISO 291:2008 «Пластмассы. Стандартные атмосферы для кондиционирования и испытания»
ГОСТ 32656—2014 (ISO 527-4:1997, ISO 527-5:2009)	MOD	ISO 527-4:1997 «Пластмассы. Определение свойств при растяжении. Часть 4: Условия испытаний для изотропных и ортотропных композитов из армированного волокном пластика», ISO 527-5:1997 «Пластмассы. Определение свойств при растяжении. Часть 5: Условия испытаний для однонаправленных композитов из армированного волокном пластика»
ГОСТ 33346—2015 (ISO 1268-2:2001), ГОСТ 33347—2015 (ISO 1268-3:2000), ГОСТ 33348—2015 (ISO 1268-4:2005), ГОСТ 33349—2015 (ISO 1268-5:2001), ГОСТ 33371—2015 (ISO 1268-6:2002), ГОСТ 33350—2015 (ISO 1268-7:2001), ГОСТ 33367—2015 (ISO 1268-8:2004), ГОСТ 33372-2015 (ISO 1268-9:2003), ГОСТ 33351—2015 (ISO 1268-10:2005)	MOD	ISO 1268:1974 «Пластмассы. Приготовление слоистых плит или панелей, формуемых из стеклопластиков при низком давлении и склеенных смолой, для испытаний»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - MOD — модифицированные стандарты.		

Библиография

[1] ISO 14125:1998 Fibre-reinforced plastic composites — Determination of flexural properties [Композиты на основе стеклопластика. Определение свойств гибкости]

УДК 678.017:006.354 МКС 83.120 (MOD) ОКПД 22.21.4

Ключевые слова: полимерные композиты, характеристики усталости, циклическое нагружение

Редактор *А.С. Кузьмина*
Технический редактор *В.Ю. Фотиева*
Корректор *В.Е. Нестерова*
Компьютерная верстка *А.А. Ворониной*

Сдано в набор 08.11.2016. Подписано в печать 28.11.2016 Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,34. Тираж 30 экз. Зак. 2990.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта.

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

gost.e-ecolog.ru