ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 60793-1-33— 2014

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-33

Методы измерений и проведение испытаний. Стойкость к коррозии в напряженном состоянии

IEC 60793-1-33:2001

Optical fibres — Part 1-33: Measurement methods and test procedures — Stress corrosion susceptibility

(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Всерос-сийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности» (ОАО «ВНИИКП») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 46 «Кабельные изделия»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 сентября 2014 г. № 1118-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60793-1-33 (2001) «Волокна оптические. Часть 1-33. Методы измерений и проведение испытаний. Стойкость к коррозии в напряженном состоянии» (IEC 60793-1-33:2001 «Optical fibres — Part 1-33: Measurement methods and test procedures — Stress corrosion susceptibility»).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использо-вать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о кото-рых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

6 Некоторые положения международного стандарта, указанного в пункте 4, могут являться объектами патентных прав. Международная электротехническая комиссия (МЭК) не несет ответственности за идентификацию подобных патентных прав

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске 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.ru)

© Стандартинформ, 2015

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 и назначение 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Испытательное оборудование 2
4 Отбор и подготовка образцов 2
5 Эталонный метод испытания 2
6 Проведение испытания 2
7 Расчеты 3
8 Результаты 3
9 Информация в технических условиях 3
Приложение A (обязательное) Определение динамической величины *n* с помощью осевого растяжения 4
Приложение B (обязательное) Определение динамической величины *n* с помощью двухточечного изгиба 10
Приложение C (обязательное) Определение статической величины *n* с помощью осевого растяжения 14
Приложение D (обязательное) Определение статической величины *n* с помощью двухточечного изгиба 16
Приложение E (обязательное) Определение статической величины *n* с помощью равномерного изгиба 18
Приложение F (справочное) Анализ расчета динамической усталости 20
Приложение G (справочное) Анализ расчета статической усталости 23
Приложение H (справочное) Анализ методов испытаний по определению параметра стойкости к коррозии в напряженном состоянии 24
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации 27
Библиография 28

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-33

Методы измерений и проведение испытаний. Стойкость к коррозии в напряженном состоянии

Optical fibres. Part 1-33. Measurement methods and test procedures. Stress corrosion susceptibility

Дата введения — 2016—01—01

1 Область применения и назначение

Настоящий стандарт содержит описание пяти основных методов испытаний, касающихся определения характеристик стойкости к коррозии оптического волокна (ОВ) в напряженном состоянии.

Целью настоящего стандарта является установление единых требований к механическим характеристикам стойкости к коррозии в напряженном состоянии. Испытания на динамическую усталость и статическую усталость на практике используют для определения характеристик стойкости к коррозии в напряженном состоянии, динамического *n* параметра и статического *n* параметра.

При любом механическом испытании на волокне определяют разрушающее напряжение и свойства усталости в условиях, максимально точно моделирующих условия практического применения. Используют следующие методы испытаний:

- A: определение динамического *n* параметра с помощью осевого растяжения (см. приложение A);
- B: определение динамического *n* параметра с помощью двухточечного изгиба (см. приложение B);
- C: определение статического *n* параметра с помощью осевого растяжения (см.приложение C);
- D: определение статического *n* параметра с помощью двухточечного изгиба (см. приложение D);
- E: определение статического *n* параметра с помощью равномерного изгиба (см. приложение E).

Данные методы испытаний применяют для многомодовых волокон категорий A1, A2 и A3 и одномодовых волокон категорий B1.1, B1.2, B1.3.

Методы испытаний по определению статической и динамической усталости дают сравнимые результаты, если оба вида испытаний проводят в течение одинакового эффективно используемого времени измерения. Это означает, что для испытания по определению динамической усталости время измерения в (*n* + 1) раз больше времени измерения при проведении испытания на статическую усталость.

При использовании методов испытаний по определению статической усталости установлено, что при более длительном времени измерения и соответственно более низких уровнях приложенной нагрузки, значение *n* параметра возрастает. Диапазон значений времени измерения при проведении испытаний по определению статической усталости, указанный в настоящем стандарте, лучше моделирует практическую ситуацию, чем при проведении испытаний по определению динамической усталости, которые обычно проводят в относительно коротких временных рамках.

В результате данных испытаний получают значения характеристики коррозии в напряженном состоянии *n*, которая может использоваться для расчетов надежности в соответствии с МЭК/ТО 62048.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий международный стандарт. Для недатированной ссылки следует использовать последнее издание указанного стандарта, включая все последующие изменения:

Издание официальное

МЭК/ТО 62048 Волокна оптические. Надежность. Теория степенного закона (IEC/TR 62048, The law theory of optical fibre reliability Optical fibres. Reliability. Power law theory)

3 Испытательное оборудование

В приложениях A, B, C, D и E приведены схемы и другие требования к испытательному оборудованию для каждого метода соответственно.

4 Отбор и подготовка образцов

Данные измерения по своей природе являются статистическими. Испытывают некоторое число образцов или комплектов образцов из общей номенклатуры, каждый образец в нескольких условиях.

Значения разрушающего напряжения или временную статистику для разных групп образцов используют для расчета характеристик стойкости к коррозии в напряженном состоянии.

4.1 Длина образца

Длина образца зависит от используемой методики испытания. Длина, требуемая для конкретного метода, указана соответственно в приложениях A, B, C, D и E. Для испытаний на растяжение длина образца лежит в диапазоне от 0,5 до 5 м. Для испытаний с помощью двухточечного изгиба действительная длина, подвергаемая испытанию, менее 1 см, и для испытаний с помощью равномерного изгиба — около 1 м.

4.2 Подготовка и кондиционирование образцов

Все испытания проводят при постоянных внешних условиях. Если не указано иное в частных технических условиях, то номинальное значение температуры должно лежать в диапазоне от 20 °С до 23 °С с точностью ± 2 °С во время проведения испытания. Если не указано иное в частных технических условиях, то номинальное значение относительной влажности (RH) должно лежать в диапазоне от 40 % до 60 % с точностью ± 5 % во время проведения испытания.

Если не указанное иное, то все образцы должны быть подвергнуты предварительному кондиционированию в среде, в которой будут проводиться испытания, в течение не менее 12 ч.

Использование характеристик стойкости к коррозии в напряженном состоянии и испытательного напряжения для расчета надежности находятся в стадии рассмотрения. Метод экстраполяции таких характеристик к внешним условиям эксплуатации, отличным от исходных внешних условий, указанных выше, не был разработан.

Значение *n,* полученное в результате этих испытаний, изменяется после даже короткого воздействия на волокно повышенной температуры или влажности. Руководство по использованию этих методов приведено в МЭК/ТО 62048.

Наблюдаемое значение характеристики стойкости к коррозии в напряженном состоянии *n* отличается в зависимости от метода испытания на усталость. На результат влияют время измерения и прикладываемая нагрузка. Следует тщательно выбирать метод испытания. Метод испытания должен согласовываться между потребителем и изготовителем.

5 Эталонный метод испытания

Метод A является эталонным методом испытаний и должен использоваться для разрешения спорных ситуаций, т. к. при использовании данного метода получают минимальные значения по сравнению с другими методами, и он практически реализуем за время, приемлемое для решения спорных ситуаций.

6 Проведение испытания

В приложениях A, B, C, D и E приведена информация по конкретным методам испытаний.

Каждую из нескольких групп образцов, состоящих из некоторого числа образцов, подвергают воздействию одному из нескольких испытательных условий. При испытаниях по определению статической усталости к разным группам образцов прикладывают постоянную нагрузку и измеряют время до разрушения волокна. При испытаниях по определению динамической усталости изменяют величину нагрузки для разных групп образцов и измеряют разрушающее напряжение.

Для всех методов применяют следующий порядок проведения испытаний:

- проводят предварительное кондиционирование образцов;

- образцы разделяют на группы образцов;
- прикладывают определенную нагрузку к каждой группе образцов;
- измеряют время или напряжение при разрыве волокна;
- проводят расчеты.

7 Расчеты

Расчеты для каждого конкретного метода испытания указаны соответственно в приложениях A, B, C, D и E.

8 Результаты

8.1 По каждому испытанию представляют следующую информацию:
- обозначение волокна;
- дата проведения испытания;
- характеристика стойкости к коррозии в напряженном состоянии;
- метод проведения испытания.

8.2 По запросу представляют следующую информацию:
- особенности при проведении испытания, обусловленные применением конкретного метода испытаний;
- особые условия предварительного кондиционирования.

В A.5 (приложение A), B.5 (приложение B), C.5 (приложение C), D.5 (приложение D) и E.5 (приложение E) указаны результаты, получаемые при использовании каждого конкретного метода.

9 Информация в технических условиях

В частных технических условиях указывают следующую информацию:
- информация, указываемая в техническом отчете;
- любые отклонения от установленного порядка проведения испытания;
- критерий приемки или отбраковки.

Приложение А
(обязательное)

Определение динамической величины *n* с помощью осевого растяжения

Данный метод предназначен для определения динамического параметра стойкости к коррозии в напряженном состоянии (динамической *n* величины — n_d) оптического волокна при установленных постоянных значениях скорости растяжения волокна.

Данный метод предназначен для проведения измерений на тех оптических волокнах, для которых медианное значение разрушающего усилия более 3 ГПа при наибольшей установленной скорости растяжения. Для волокон с медианным значением разрушающего усилия менее 3 ГПа условия, указанные в настоящем стандарте, не обеспечивают достаточной точности измерений.

Данный метод предназначен для измерения параметров усталости волокон методом изменения скорости растяжении волокна. Данный метод испытания применим к волокнам и скоростям растяжения, для которых логарифм разрушающего усилия по отношению к логарифму скорости растяжения изменяется по линейному закону.

А.1 Измерительное оборудование

В данном разделе указаны основные требования к оборудованию, используемому при испытаниях по определению динамического разрывного усилия. Этим требованиям удовлетворяет несколько схем испытательного оборудования. Примеры представлены на рисунках А.1 — А.3. Если в частных технических условиях не указано иное, то длина измерительной базы образца при испытании образца на растяжение должна быть 500 мм.

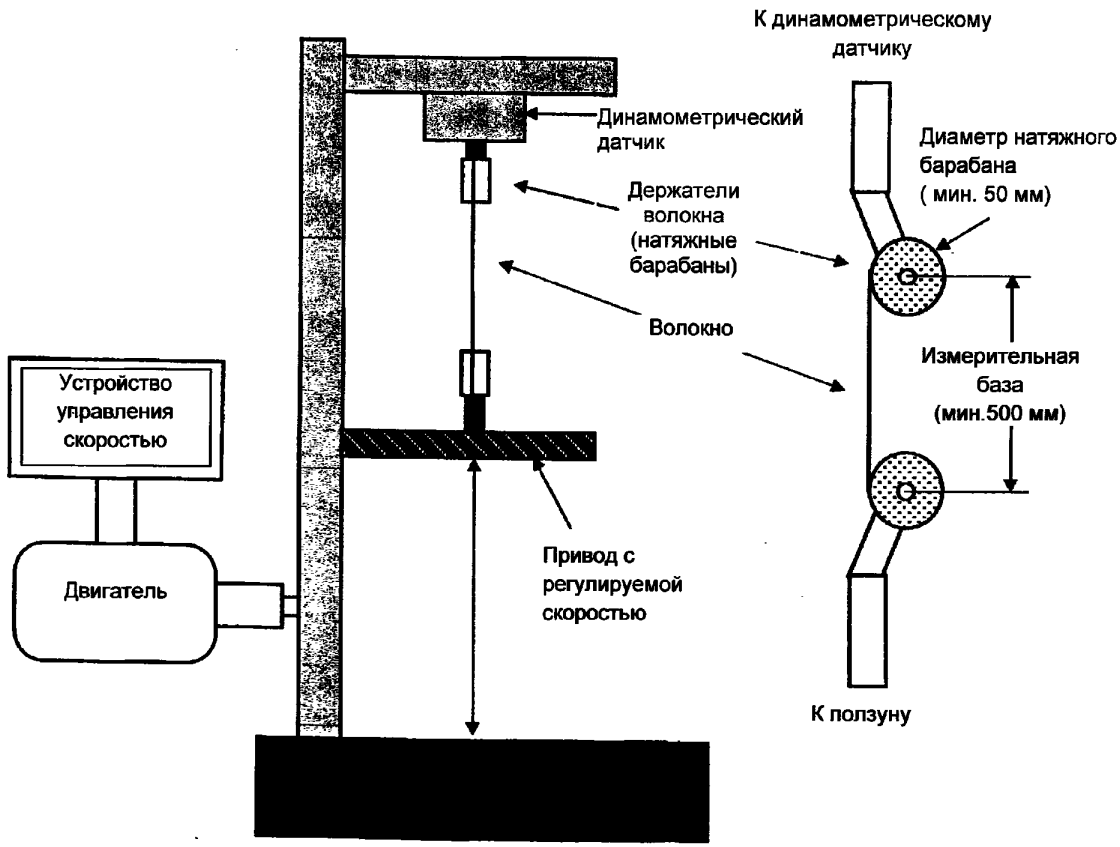


Рисунок А.1 – Схема испытательной установки с линейным перемещением

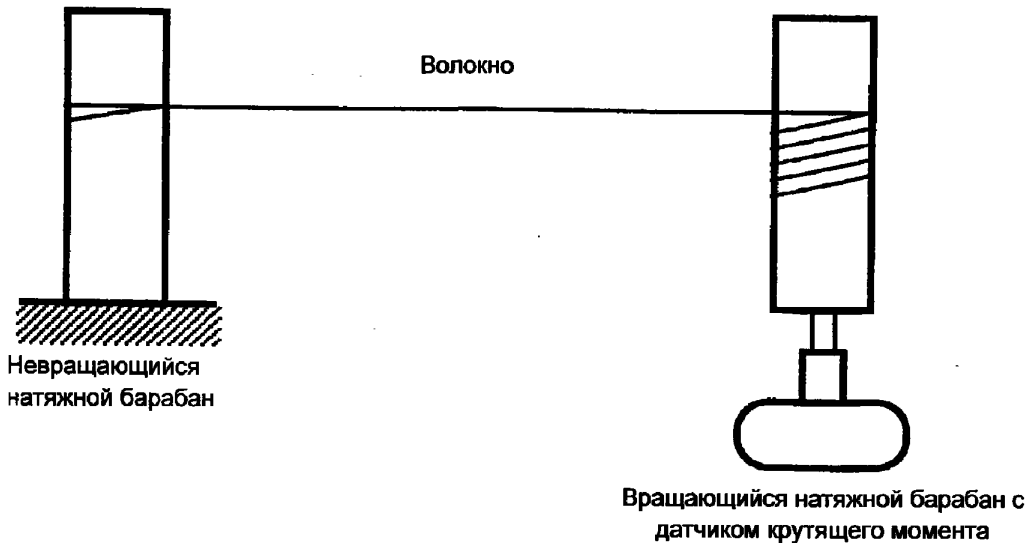


Рисунок А.2 – Схема ротационного испытательного оборудования

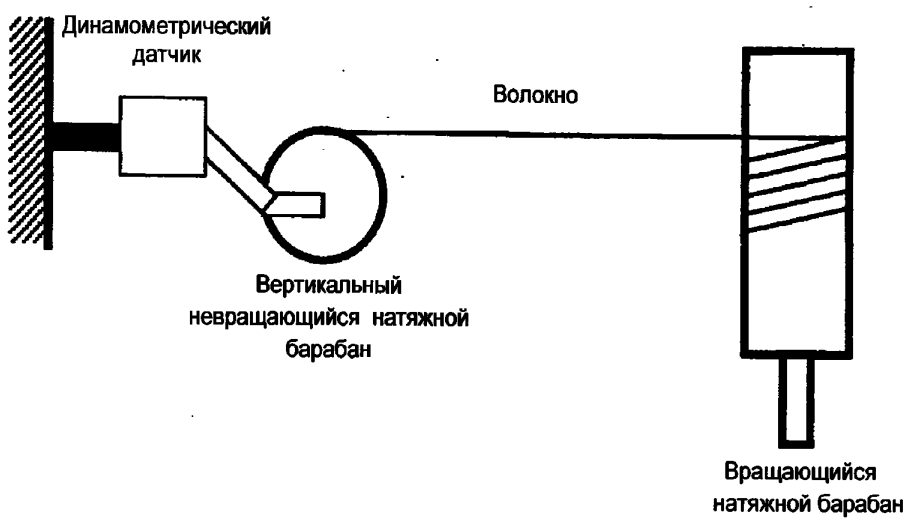


Рисунок А.3 – Схема ротационного испытательного оборудования
с динамометрическим датчиком

А.1.1 Крепление образца

Закрепляют испытуемый отрезок волокна с двух концов и прикладывают к нему растягивающее усилие до тех пор, пока не произойдет разрыва волокна в пределах измерительной базы. Минимизируют возможность разрыва волокна в креплениях путем обеспечения трения об их поверхность, предотвращающего проскальзывание волокна.

Данные, полученные при разрывах волокна в креплениях, не включают в статистику и не используют при расчетах.

Для крепления волокна используют натяжной барабан, дополнительно покрытый оболочкой из эластомера. Часть волокна, не подвергаемую испытанию, обматывают вокруг натяжного барабана несколькими витками и закрепляют конец волокна с помощью эластичной ленты или клейкой ленты. При намотке один виток волокна не должен заходить на другой. Измерительной базой волокна является длина волокна, находящегося между осями крепежных натяжных барабанов до момента начала растяжения.

Используют натяжной барабан и шкив такого диаметра, чтобы волокно не подвергалось напряжению вследствие изгиба, которое могло бы вызвать разлом волокна на натяжном барабане. Для типовых кварцевых волокон напряжения при изгибе не должны превышать 175 МПа при обертывании волокна, как показано на рисунках, или прохождении через шкив (для кварцевого волокна с диаметром оболочки 125 мкм и диаметром наружного покрытия 250 мкм минимальный диаметр натяжного барабана равен 50 мм). Поверхность натяжного

барабана должна быть достаточно жесткой для того, чтобы волокно не врезалось в поверхность натяжного барабана при полной нагрузке. Это условие можно определить методом проведения предварительного испытания.

А.1.2 Приложение напряжения

Волокно растягивают при установленной скорости растяжения до его разлома. Скорость удлинения выражают в виде процентов за минуту относительно измерительной базы. Используют два способа:

a) увеличивают расстояние между натяжными барабанами, к которым крепится волокно, путем перемещения одного или обоих натяжных барабанов с установленной скоростью при начальном расстоянии между натяжными барабанами, равном измерительной базе (рисунок А.1); или

b) вращают один или оба натяжных барабана, к которым крепится волокно, таким образом наматывая испытуемое волокно (см. рисунки А.2 и А.3).

Скорость растяжения — это отношение изменения длины между двумя положениями ко времени, за которое это изменение произошло, выраженное в процентах.

Если используют метод b), то принимают меры по недопущению перекрещивания витков волокна при намотке на натяжной барабан.

Если волокна испытывают одновременно, то каждое волокно должно быть защищено от ударного воздействия остатков соседних волокон образующихся при разрыве при проведении испытания.

А.1.3 Измерение усилия на разрыв

Прочность на разрыв измеряют во время испытания и при разрыве волокна для каждого испытуемого волокна при помощи динамометрического датчика, откалиброванного с погрешностью не более 0,5 % (0,005) от значения нагрузки при разрыве или максимальной нагрузки для каждого диапазона значений напряжения при разрыве. Калибруют динамометрический датчик, ориентируя его аналогично, как и при испытании волокна при приложении нагрузки. Для метода b) используют легкий шкив (или шкивы), имеющий низкое трение, вместо невращающегося натяжного барабана (см. рисунок А.2) или вращающегося натяжного барабана (см. рисунок А.3) при калибровании динамометрических датчиков при помощи троса и калибровочного груза.

Используют трос, прикрепленный к одному концу устройства для измерения нагрузки (или натяжному барабану этого устройства), дублирующий направление действительного испытуемого волокна и имеющий толщину или диаметр, сравнимые с испытуемым волокном. Для калибрования динамометрического датчика рекомендуется использовать три калибровочных груза, определяющих пределы изменения типового значения нагрузки до разрыва или максимальной нагрузки (50 % ниже максимума, максимум и 50 % выше максимума).

Максимальное значение растягивающей нагрузки в момент разрыва волокна может быть зафиксировано, например, при помощи регистратора с бумажной лентой. Время отклика должно быть достаточным для регистрации значения напряжения при разрыве с погрешностью в пределах 1 % от действительного значения.

Примечание — Трение волокна о поверхность шкивов может привести к значительным погрешностям при калибровке динамометрического датчика в испытательных устройствах с вращающимся натяжным барабаном для волокна, размещаемого в горизонтальном положении.

А.1.4 Управление скоростью растяжения

Экспериментальным путем регулируют устройство управления скоростью с целью соответствия установленным значениям скорости растяжения волокна. Скорость растяжения выражают в процентах изменения измерительной длины за единицу времени. Если не указано иное в частных технических условиях, то максимальная скорость растяжения должна быть не более 100 % в минуту. Действительное значение максимальной скорости растяжения определяют с учетом таких аспектов метода испытания, как требования к оборудованию, свойства материалов образца, и т.д. В дополнение к максимальной скорости используют три дополнительных значения скорости растяжения, каждое последовательно уменьшаемое приблизительно в 10 раз, начиная от максимального.

Существует возможность минимизировать продолжительность испытания путем использования большей скорости растяжения совместно с уменьшением нагрузки. Например, если установлена скорость растяжения 0,025 % в минуту, то некоторые образцы испытывают при следующем большем значении (0,25 % в минуту) для определения диапазона значений напряжения разрушения. Затем при большем значении скорости растяжения к ранее испытуемым образцам прикладывают предварительную нагрузку не более 80 % наименьшего значения напряжения разрушения.

А.1.5 Определение скорости изменения напряжения

Скорость изменения напряжения может различаться в зависимости от типа волокна, оборудования, разрушающего напряжения, скольжения волокна и скорости растяжения. Скорость изменения напряжения $\dot{\sigma}_a$ определяют для каждого значения скорости растяжения, используемого при расчете усталости в соответствии с формулой

$$\dot{\sigma}_a = \frac{0,2\sigma_f}{t(\sigma_f) - t(0,8\sigma_f)}, \qquad (А.1)$$

где σ_f – разрушающее напряжение;

$t(\sigma_f)$ — время до разрыва;

$t(0,8\sigma_f)$ — время достижения 80 % разрушающего напряжения.

А.2 Испытательная группа образцов

А.2.1 Количество образцов в испытательной группе

Вследствие изменчивости результатов испытаний испытывают минимум 15 образцов для каждого значения скорости растяжения и отбрасывают наименьшее значение разрушающего напряжения при разрыве волокна для каждого значения скорости растяжения. В качестве альтернативы, если средняя квадратичная ошибка оценочного значения угла наклона характеристики σ_f по отношению к $\dot{\sigma}_a$ ставляет 0,0017 или больше (как объясняется в F.2, приложение F), то испытывают минимум 30 образцов для каждого значения скорости растяжения и отбрасывают два наименьших значения разрушающего напряжения при разрыве волокна для каждого значения скорости растяжения.

А.2.2 Количество образцов в испытательной группе (по выбору)

Как объяснено в А.2.1, могут потребоваться дополнительные образцы в некоторых случаях, для которых необходимо знать доверительный интервал оценочного значения динамической характеристики стойкости коррозии в напряженном состоянии n_d. В таблице F.1 (приложение F) указаны разные размеры испытательной группы образцов в зависимости от ожидаемого значения угла наклона графика динамической функции Вейбулла m_d. Соответствующее использование алгоритма в F.2 (приложение F) ограничено испытаниями, в которых один и тот же размер испытательной группы образцов установлен для каждого значения скорости растяжения.

А.3 Проведение испытания

Данная последовательность действий определяет, как получить значение разрушающего напряжения для определенного набора испытательных групп волокон, испытываемых при указанной скорости растяжения. Расчеты для совокупностей статистических данных представлены в F.2 (приложение F).

А.3.1 Устанавливают и регистрируют измерительную базу (см. А.1.2).

А.3.2 Устанавливают и регистрируют скорость растяжения (см. А.1.4).

А.3.3 Если используют способ, указанный в перечислении а) А.1.2, то возвращают натяжные барабаны, к которым крепят волокно, в такое положение, чтобы расстояние между ними равнялось измерительной базе.

А.3.4 К испытуемому образцу, установленному в креплениях, прикладывают нагрузку. Нагрузку прикладывают к одному концу волокна. Точка касания волокна должна находиться в том же месте, что и при калибровании нагрузки. Каждый образец волокна направляют таким образом, чтобы при намотке волокна на натяжной барабан с числом витков не менее требуемого, не происходило наложения витков волокна.

А.3.5 Перезагружают прибор, регистрирующий величину нагрузки.

А.3.6 Запускают двигатель, обеспечивающий приложение нагрузки к волокну. Регистрируют зависимость нагрузки от времени до момента разрушения волокна. Останавливают двигатель.

А.3.7 Повторяют шаги А.3.3 — А.3.6 для всех волокон в испытательной группе.

А.3.8 Рассчитывают разрывное усилие волокна σ_f при каждом разрыве. Используют уравнение (А.2).

А.3.9 Рассчитывают скорость изменения напряжения $\dot{\sigma}_a$.

А.3.10 Проводят требуемые расчеты для данной совокупности статистических данных. Используют уравнения (А.3) — (А.6).

А.4 Расчеты

А.4.1 Разрывное усилие

Данный метод используют для расчета разрывного усилия σ_f в случае, когда влияние оболочки волокна можно не учитывать (менее 5 %). Такие условия выполняются у стандартного волокна с диаметром сердцевины 125 мкм и диаметром оболочки 250 мкм (полимерная оболочка).

$$\sigma_f = T/A_g \ , \qquad (A.2)$$

где T — усилие (натяжение), действующее на композитный образец при разрыве;

A_g — номинальное значение площади поперечного сечения стекловолокна.

Более детальный метод, указанный в F.3 (приложение F), используют в случае, когда влияние оболочки волокна необходимо учитывать при расчете разрывного усилия.

А.4.2 Разрывное усилие при заданной скорости растяжения

При построении графика функции распределения Вейбулла, характеризующего совокупность данных статистики, придерживаются следующего порядка действий.

a) Сортируют значения разрывного усилия в порядке возрастания от минимального до максимального. Каждому значению разрывного усилия присваивают ранг k. Ранг — это порядковый номер, например первый ранг присваивают наименьшему значению разрывного усилия, второй ранг — следующему значению в порядке возрастания и т.д. Присваивают разные ранги каждому регистрируемому значению разрывного усилия, даже если некоторые равны по величине.

b) Рассчитывают интегральную вероятность разрыва волокна F_k для каждого значения разрывного усилия:

$$F_k = (k - 0{,}5)/N \ , \ k = 1, 2, \ldots N \ , \qquad (A.3)$$

где N — число образцов в комплекте.

c) С целью построения графика функции распределения Вейбулла строят кривую функции зависимости $\ln\left[-\ln(1-F_k)\right]$ от $\ln(\sigma_f)$.

Примечание — Для этой цели существует специальная координатная бумага для построения графика функции распределения Вейбулла.

d) На график наносят требуемую информацию.

Для указанной измерительной базы и диаметра волокна графику функции распределения Вейбулла для динамической усталости соответствует следующая функция интегральной вероятности

$$F_k = 1 - \exp\left[-(\sigma_f / \sigma_o)^{md}\right]. \quad (A.4)$$

Пусть $k(P) = P \cdot N + 0{,}5$ определяет ранг, связанный с указанной вероятностью P.

Если $k(P)$ — целое число, то $\sigma_f(P) = \sigma_{fk}(P)$, разрывное усилие $k(P)$-ого ранга. Если $k(P)$ — не целое число, то k_1 — целое число, меньшее $k(P)$ и $k_2 = k_1 + 1$. Тогда $\sigma_f(P) = (\sigma_{fk1} \cdot \sigma_{fk2})^{1/2}$.

Медианное значение разрывного усилия — $\sigma_f(0{,}5)$. Угол наклона графика распределения Вейбулла равен

$$m_d = \frac{2{,}46}{ln\left[\sigma_f(0{,}85)\right] - ln\left[\sigma_f(0{,}15)\right]}. \quad (A.5)$$

Параметр распределения Вейбулла

$$\sigma_o = \exp\left[\frac{0{,}3665}{m_d} + \ln\left[\sigma_f(0{,}5)\right]\right]. \quad (A.6)$$

Для каждого значения скорости растяжения строят график распределения Вейбулла и определяют медианное значение разрывного усилия $\sigma_f(0{,}5)$.

A.4.3 Динамический параметр стойкости к коррозии в напряженном состоянии n_d (при растяжении)

Медианное значение разрывного усилия $\sigma_f(0{,}5)$, как указано в A.4.2, в общем случае изменяется в зависимости от постоянной скорости растяжения следующим образом:

$$\log\sigma_f \frac{\log\dot{\sigma}_a}{1+n_d} + \text{точка пересечения}, \quad (A.7)$$

где точка пересечения — логарифм разрывного усилия при общей скорости изменения напряжения, как показано на рисунке A.4.

Точка пересечения может быть найдена следующим образом:

$$\textbf{точка пересечения} = \overline{Y} - (\textbf{угол наклона})\overline{X}. \quad (A.8)$$

Если не указано иное, то используют алгоритм, указанный в F.2 (приложение F), для расчета $\overline{X}$, $\overline{Y}$, n_d и 95 % доверительного интервала для испытаний. Если не указано иное, то среднеквадратичная ошибка определения угла наклона графика зависимости $\log\sigma_f$ от $\dot{\sigma}_a$ должна быть менее 0,0017. В F.2 (приложение F) приведен порядок расчета среднеквадратической ошибки определения угла наклона.

A.5 Результаты испытаний

По запросу должна предоставляться следующая информация:
- скорость растяжения;
- количество волокон в группе образцов и скорость растяжения при испытании этой группы;
- среднеквадратическая ошибка при определении угла наклона;
- $\overline{X}$, $\overline{Y}$;
- измерительная база волокна;
- внешние условия при проведении испытания;
- время нахождения под воздействием внешних условий при предварительном кондиционировании;
- метод расчета разрывного усилия;
- модуль Юнга волокна (если учитывается);
- модуль Юнга оболочки (оболочек) (если учитывается);
- графики распределения Вейбулла для всех значений скорости растяжения (если используются);
- метод расчета скорости изменения напряжения.

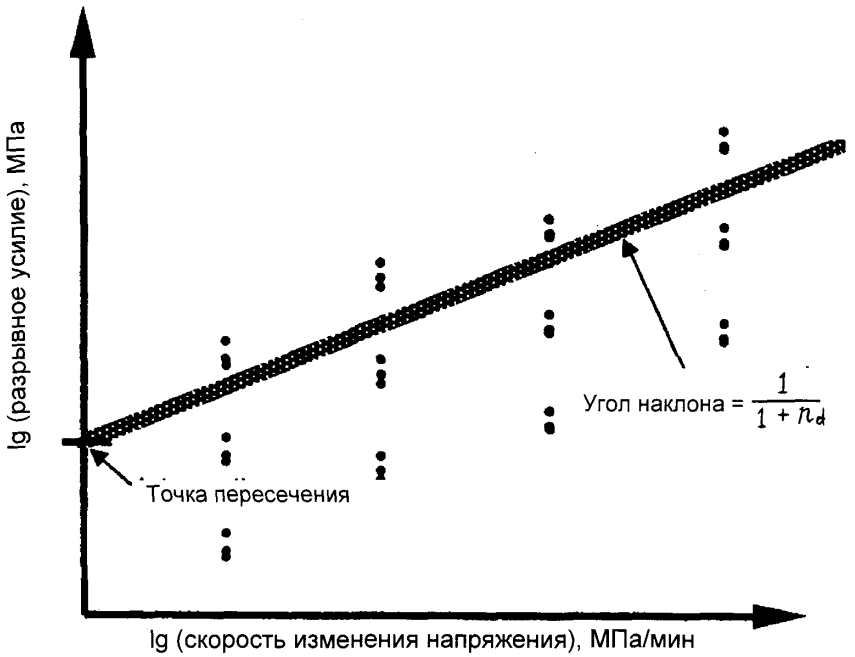


Рисунок А.4 – Пример графика динамической усталости

Приложение В
(обязательное)

Определение динамической величины *n* с помощью двухточечного изгиба

В данном приложении приведен метод измерения параметров динамической усталости оптического волокна (динамической *n* величины — n_d) при двухточечном изгибе при движении подвижной плиты с постоянной скоростью. Данный метод предназначен для испытания волокон с целью определения характеристик усталости с помощью изменения скорости движения подвижной плиты. Данное испытание применяют для волокон и значений скорости движения подвижной плиты, для которых зависимость логарифма разрывного усилия от логарифма скорости движения подвижной плиты является линейной.

В.1 Испытательная установка

Вариант испытательной установки схематично показан на рисунке В.1. Данное оборудование предназначено для измерения отношения растяжение/усилие, требуемого для разрушения оптического волокна при двухточечной геометрии изгиба с помощью измерения расстояния между плитами в момент разрушения волокна. Данная методика испытаний применима для разных внешних условий.

В.1.1 Устройство управления шаговым двигателем

Данное устройство обеспечивает точное, надежное, повторяющееся моторизованное управление прямолинейным перемещением подвижной плиты. Максимальная длина шага не должна превышать 1 мкм. Для большей точности измерений может использоваться шаг равный 0,1 мкм.

В.1.2 Подвижная плита, приводимая в действие шаговым двигателем

Подвижная плита преобразует вращательное движение шагового двигателя в прямолинейное перемещение посредством ходового винта.

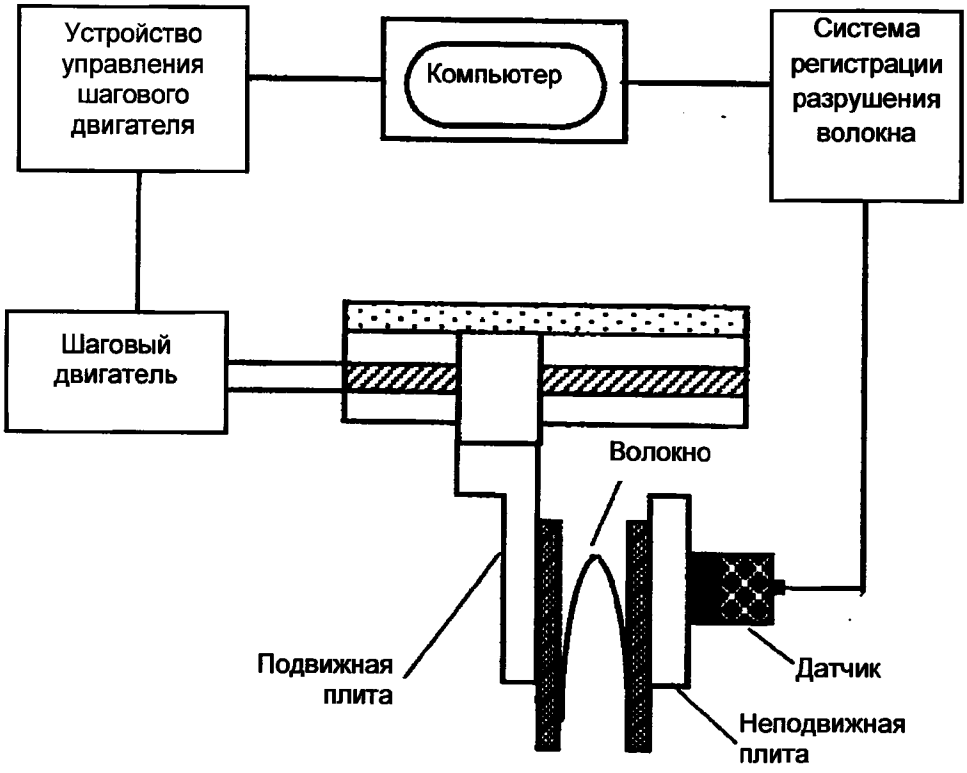


Рисунок В.1 – Схема установки двухточечного изгиба

B.1.3 Неподвижная плита

К данному устройству крепится волокно и оно (устройство) располагается напротив подвижной плиты.

B.1.4 Скорость подвижной плиты

Волокно помещают между двумя плитами, которые сводятся вместе шаговым двигателем, управляемым компьютером, с постоянной установленной скоростью подвижной плиты (V=const) до разрушения волокна. Если в частных технических условиях не указано иное, то используют скорости 1 , 10 , 100 , 1000 мкм/с с допускаемым отклонением в пределах ±10 % каждая.

B.1.5 Система регистрации разрушения волокна

Для регистрации разрушения волокна используется один из ниже приведенных методов.

B.1.5.1 Метод 1

Для регистрации разрушения волокна и местоположения плиты в момент разрушения используют акустический детектор или датчик и компьютер. Затем при помощи компьютера останавливают плиту и выводят на дисплей расстояние между плитами в момент разрушения волокна.

B.1.5.2 Метод 2

Датчик усилия (давления) встраивают в неподвижную плиту и соединяют его с соответствующим оборудованием, преобразующим сигнал для измерения силы, прикладываемой к волокну во время испытания. При разрушении волокна значение силы спадает до нуля, что служит сигналом к регистрации разрушения.

B.1.5.3 Метод 3

Другая методика регистрации разрушения волокна — пропускание света в волокне во время испытания и наблюдение за сигналом на выходе. При разрыве волокна передача сигнала прекращается. При любом вышеуказанном методе расстояние между плоскими рабочими поверхностями в момент разрыва d рассчитывают по формуле

d = начальное положение плиты — расстояние, пройденное плитой. (B.1)

B.2 Испытательная группа образцов

Образцы, входящие в испытательную группу образцов, представляют собой отрезки волокна длиной приблизительно 30–120 мм. Диаметр сердцевины необходимо знать с точностью до ±1 мкм, и диаметр оболочки необходимо знать с точностью до ±5 мкм. Если не указанно иное в технических условиях на конкретное изделие, то в испытательном наборе для каждого значения скорости подвижной плиты должно быть не менее 15 образцов.

B.3 Проведение испытания

B.3.1 Ниже приведен пример процесса калибровки. Устанавливают плиты вплотную друг к другу (расстояние между ними равно нулю). Когда плиты соприкасаются, устройство управления шагового двигателя должно показывать ноль. Расстояние между плитами при разрушении волокна может быть проконтролировано с помощью измерения расстояния калибром. Нулевая позиция должна повторяться с точностью ±5 мкм.

Примечание — Плиты должны быть тщательно очищены перед их смыканием.

B.3.2 Если не указанное иное в технических условиях на конкретное изделие, то плиты располагают на расстоянии 12 мм друг от друга, включая глубину канавки.

B.3.3 До испытания всей группы волокон на заданной скорости, испытывают одно волокно из этой группы для определения расстояния между плитами при разрушении волокна. Данное расстояние между плитами d используют при расчете разрывного усилия [уравнения (B.2), (B.3) и (B.4)]. Начальное (стартовое) расстояние между плитами можно определить из уравнений (B.2), (B.3), (B.4) и (B.5), используя значение нагрузки равное 50 % разрывного усилия. Это позволяет снизить продолжительность испытаний и достигнуть самых высоких скоростей плиты, при этом максимальная скорость шагового двигателя может ограничить максимально достижимые скорости плиты.

Существует возможность минимизировать продолжительность испытания, используя большую скорость плиты совместно с уменьшенной нагрузкой. Например, если скорость плиты установлена равной 1 мкм/с, то проводят испытания нескольких образцов на следующей более высокой скорости (10 мкм/с) для установления диапазона значений разрывного усилия. Затем прикладывают предварительную нагрузку, которая не превышает 80 % наименьшего значения разрывного усилия, полученного для данных испытуемых образцов при переходе на следующую более высокую скорость.

B.3.4 Аккуратно берут испытуемый образец за концы, осторожно его сгибают и вставляют его между плитами, затем проталкивают образец вверх для того, чтобы он принял положение, показанное на рисунке B.2. Не допускается прикасаться руками к согнутому волокну (измерительной базе волокна) при установке образцов в испытательное оборудование и приложении к ним нагрузки. Верхняя точка изогнутого волокна должна всегда находиться в одном и том же положении в креплениях испытательной установки. Это минимизирует эффект не параллельности плит. Ориентация волокна (направлен изгиб вверх или вниз) не имеет значения.

B.3.5 После разрушения образца останавливают шаговый двигатель и фиксируют расстояние между плитами.

B.3.6 Повторяют шаги B.3.1 — B.3.5 для каждого волокна в группе образцов при установленной скорости нагрузки и для всех групп образцов при других установленных скоростях нагрузки.

B.3.7 Рассчитывают разрушающее усилие волокна σ_f для каждого испытанного образца, используя уравнения (B.2) — (B.4).

B.3.8 Проводят требуемые статистические вычисления, используя уравнения (B.5) — (B.6).

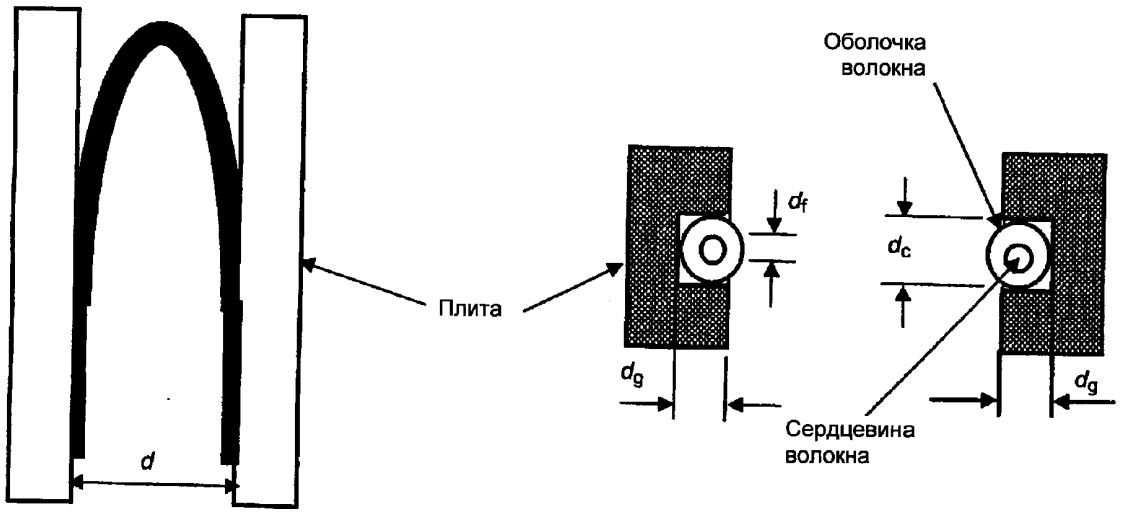


Рисунок В.2 – Схема разметки плит

В.4 Вычисления

В.4.1 Разрушающее усилие

Рассчитывают разрушающее усилие для каждого волокна, используя следующие уравнения:

$$\sigma_f = E_o \varepsilon_f (1 + 0{,}5\ \alpha' \varepsilon_f), \tag{В.2}$$

$$\varepsilon_f = 1{,}198 \cdot \frac{d_f}{d - d_c + 2d_g}, \tag{В.3}$$

$$\alpha' = 0{,}75\alpha - 0{,}25\ \alpha, \tag{В.4}$$

где σ_f — разрушающее усилие, ГПа;

E_0 — модуль Юнга (72 ГПа);

ε_f — растяжение в верхней точке изогнутого волокна, при котором происходит разрушение волокна;

α — параметр, корректирующий нелинейность зависимости растяжения от прикладываемой нагрузки (типовое значение α равно 6);

d_f — диаметр сердцевины волокна, мкм;

d — расстояние между рабочими поверхностями при разрушении волокна, мкм;

d_c — наружный диаметр волокна по оболочке, мкм;

$2d_g$ — общая глубина обеих канавок (см. рисунок В.2), мкм.

В.4.2 Динамический параметр стойкости к коррозии в напряженном состоянии n_d (при двухточечном изгибе)

Медианное значение разрывного усилия $\sigma_f(0{,}5)$ в общем случае изменяется в зависимости от значения постоянной скорости подвижной плиты V в соответствии с уравнением

$$\mathrm{Log}\sigma_f(0{,}5) = \frac{1}{n_d - 1}\log\frac{V}{r} + \text{точка пересечения}, \tag{В.5}$$

где r — радиус сердцевины волокна;

точка пересечения — логарифм разрушающего усилия при постоянном значении скорости подвижной плиты, как показано на рисунке В.3.

Точка пересечения может быть рассчитана следующим образом:

$$\text{точка пересечения} = \overline{Y} - (\text{угол наклона})\,\overline{X}. \tag{В.6}$$

Если не указано иное, то используют алгоритм, указанный в F.2 (приложение F), для расчета $\overline{X}$, $\overline{Y}$, n_d и 95 % доверительного интервала для испытаний. Если не указано иное, то среднеквадратичная ошибка определения угла наклона графика зависимости $\log\sigma_f$ от $\log V$ должна быть менее 0,0017. В F.2 (приложение F) приведен порядок расчета среднеквадратической ошибки определения угла наклона.

B.5 Результаты испытаний

По запросу должна предоставляться следующая информация:
- скорости растяжения;
- количество образцов в испытательном наборе и скорость подвижной плиты;
- среднеквадратическая ошибка при определении угла наклона;
- внешние условия при проведении испытания;
- время нахождения под воздействием внешних условий при предварительном кондиционировании;
- модуль Юнга сердцевины волокна [если берется значение отличное от указанного в F.3 (приложение F)];
- графики распределения Вейбулла для всех значений скорости растяжения (если используются);
- $\overline{X}$, $\overline{Y}$;
- диаметр волокна (диаметр сердцевины волокна).

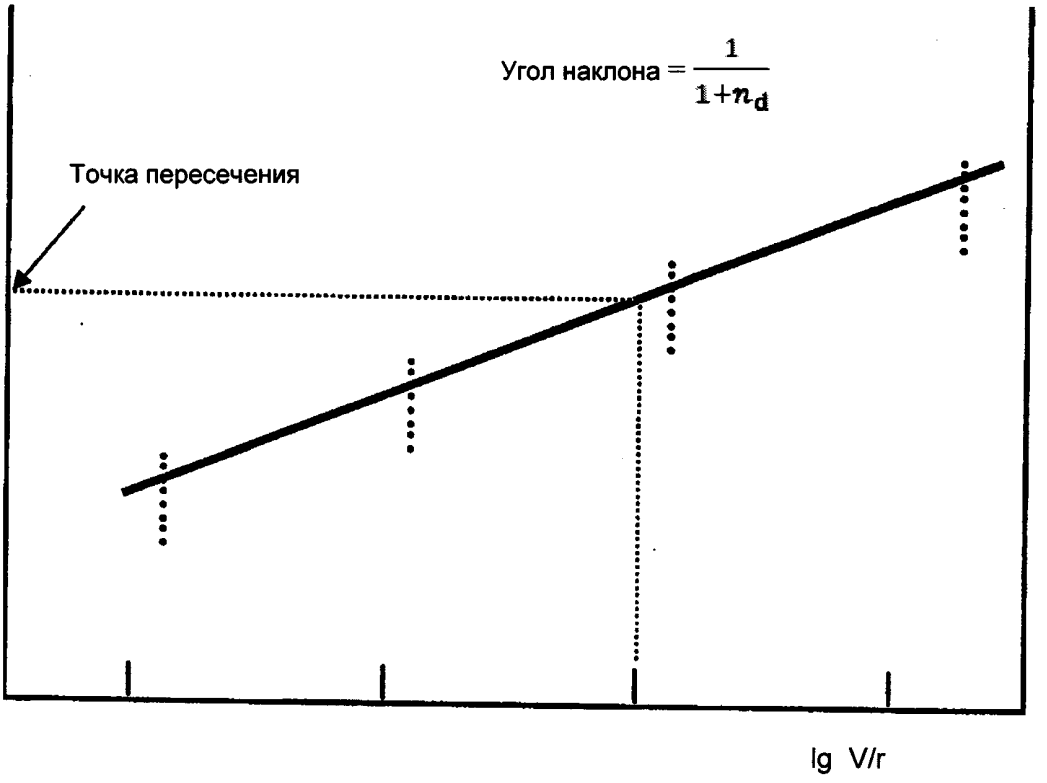


Рисунок B.3 – График динамической усталости

Приложение С
(обязательное)

Определение статической величины *n* с помощью осевого растяжения

Данный метод предназначен для определения статических параметров усталости (статической *n* величины — n_s) отдельных отрезков оптического волокна в напряженном состоянии. При использовании данного метода испытывают волокно для определения характеристик статической усталости путем изменения величины прикладываемого усилия.

С.1 Испытательное оборудование

Варианты испытательных установок схематично показаны на рисунке С.1. Каждая установка состоит из устройства для приложения нагрузки к волокну и устройства фиксации времени до разрыва. Если не указано иное в технических условиях на конкретное изделие, то измерительная база волокна, то есть расстояние между натяжными барабанами, должна быть 500 мм.

С.1.1 Крепление концов образца

См. А.1.1.

С.1.2 Приложение нагрузки к волокну

Нагрузку к волокну прикладывают посредством подвешивания на натяжной барабан груза известной массы (см. рисунок С.1). Несколько образцов испытывают при заданном номинальном значении нагрузки. Отличие действительной величины прилагаемой нагрузки от требуемого значения может повлиять на качество измерений. Для метода простого расчета медианных значений разброс значений нагрузки для заданного номинального значения должен быть в пределах ± 0,5 % номинала. Для гомологичного метода и метода оценки максимального правдоподобия для использования в расчетах должно регистрироваться точное значение нагрузки для каждого образца. См. С.4.2.

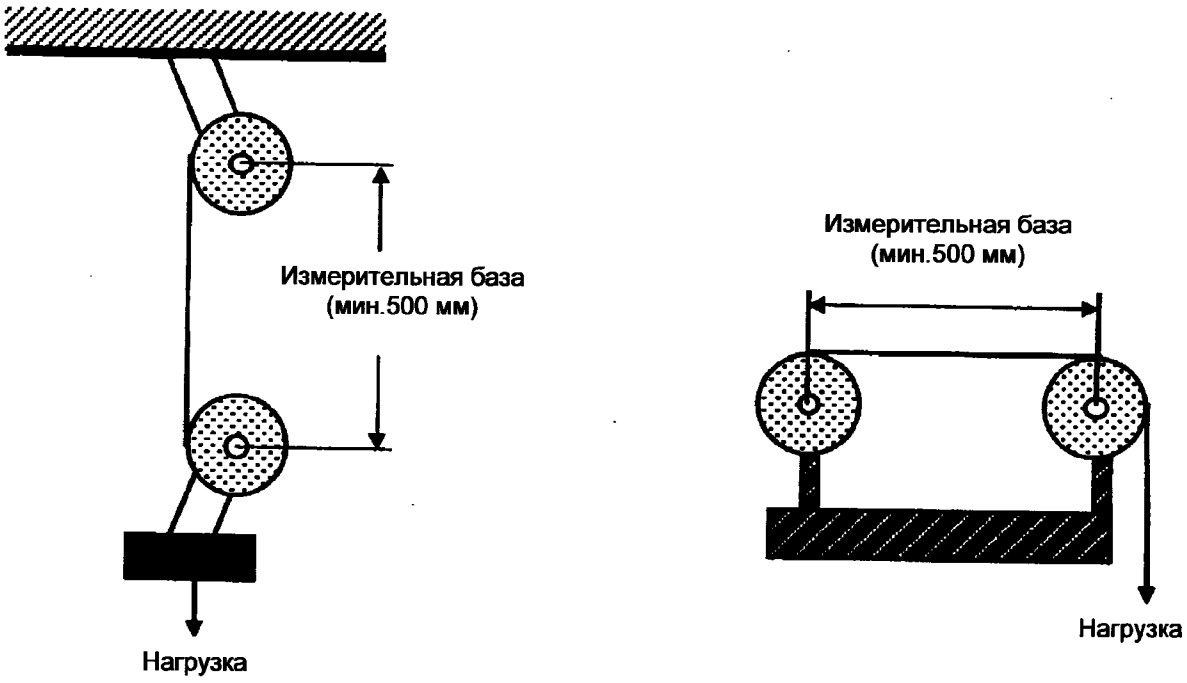


Рисунок С.1 – Схема возможной установки для определения статической усталости (при растяжении)

С.1.3 Измерение времени до разрыва

Существует много способов измерения времени до разрыва, удовлетворяющих требованиям данного метода испытания. Один из способов измерения времени до разрыва — поместить таймеры под подвешенные грузы, используемые для приложения нагрузки.

С.2 Испытательная группа образцов

С.2.1 Количество образцов в группе для каждого номинального значения нагрузки

Если не указано иное в технических условиях на конкретное изделие, то в испытательных группах для каждого номинального значения нагрузки должно быть не менее 15 образцов.

С.3 Проведение испытания

Проводят испытания минимум с пятью различными номинальными значениями прикладываемых нагрузок σ_a. Номинальные значения нагрузки выбирают так, чтобы медианные значения времени до разрыва лежали в диапазоне от 1 ч до 30 дней и находились на относительно равном расстоянии на логарифмической шкале. Нагрузки, которые обеспечивают выполнение данных условий для стандартного кварцевого волокна, находятся в диапазоне от 30 до 50 Н.

Так как время до разрыва зависит как от разрывного усилия, так и от параметра усталости, действительные номинальные значения прикладываемых нагрузок и их число могут быть многократно определены. В качестве альтернативы в начале измерений значения прикладываемых нагрузок могут находиться в широком диапазоне. Данные испытаний наборов образцов, которые в ходе испытания слишком быстро разрушились или для их разрушения потребовалось слишком много времени, могут не учитываться.

После завершения предварительного кондиционирования волокно устанавливают в испытательной установке. Отслеживают и регистрируют время до разрыва для каждого образца. При испытании некоторого набора испытательных групп образцов при установленном номинальном значении нагрузки после испытания медианного образца испытание может быть завершено. То есть если больше чем в половине испытательных групп образцы разорвались в результате испытания, то можно производить расчеты до разрыва образцов в оставшихся испытательных группах. Для каждого измерения должна быть вычислена и указана в отчете среднеквадратическая ошибка при расчетах. Если не указано иное в технических условиях на конкретное изделие, то среднеквадратическая ошибка при расчетах должна быть меньше единицы.

С.4 Расчеты

С.4.1 Разрывное усилие

См. А.4.1 (приложение А).

С.4.2 Статический параметр стойкости к коррозии в напряженном состоянии n_s (при растяжении)

Если не указано иное, то нижеприведенный метод должен использоваться для определения n_s. В качестве альтернативы для определения n_s могут использоваться другие методы, например гомологичный метод или метод оценки максимального правдоподобия [см. А.4 (приложение А)].

С.4.3 Метод простого расчета медианных значений

Данный метод не требует линейности графика функции распределения Вейбулла. Так как при расчетах используются не все данные, среднеквадратическая ошибка данного метода может быть больше, чем при расчетах другими методами. Для каждого номинального значения нагрузки σ_i определяют медианное значение времени до разрыва t_i. Подгоняют данные под следующую модель линейной регрессии путем минимизации суммы квадратичных ошибок:

$$-n_s \ln(\sigma_i) + \text{точка пересечения} = \ln(t_i). \qquad (C.1)$$

Среднеквадратическая ошибка при вычислении n_s может быть найдена с помощью большей части статистических пакетов. Медианные значения $\ln(\sigma_i)$ и $\ln(t_i)$ также указывают в отчете. Точку пересечения в вышеупомянутом уравнении находят следующим образом:

$$\text{точка пересечения} = \text{медианное значение}\left[\ln(t_i)\right] + n_s \,\text{медианное значение}\left[\ln(\sigma_i)\right]. \qquad (C.2)$$

С.5 Результаты испытания

В отчете по испытанию указывается следующая информация:

- идентификация волокна;
- дата проведения испытания;
- статический параметр стойкости к коррозии в напряженном состоянии n_s (при растяжении) (другие параметры — в стадии рассмотрения).

По запросу представляют следующую информацию:

- диаметр волокна;
- диаметр по оболочке (если она учитывается);
- внешние условия при проведении испытания;
- измерительная база волокна;
- первоначальное количество образцов в испытательной группе для каждого номинального значения нагрузки и число этих номинальных нагрузок;
- время предварительной подготовки образцов при воздействии внешних условий, где применяется;
- метод расчета разрывного усилия. Если используется метод, приведенный в А.3 (приложение А), то в отчете указывают модуль Юнга сердцевины и оболочки волокна;
- значения номинальных нагрузок.

Приложение D
(обязательное)

Определение статической величины *n* с помощью двухточечного изгиба

В данном приложении приведен метод определения параметров статической усталости оптических волокон (статической *n* величины — n_s) при двухточечном изгибе.

D.1 Измерительное оборудование

D.1.1 Испытательная установка

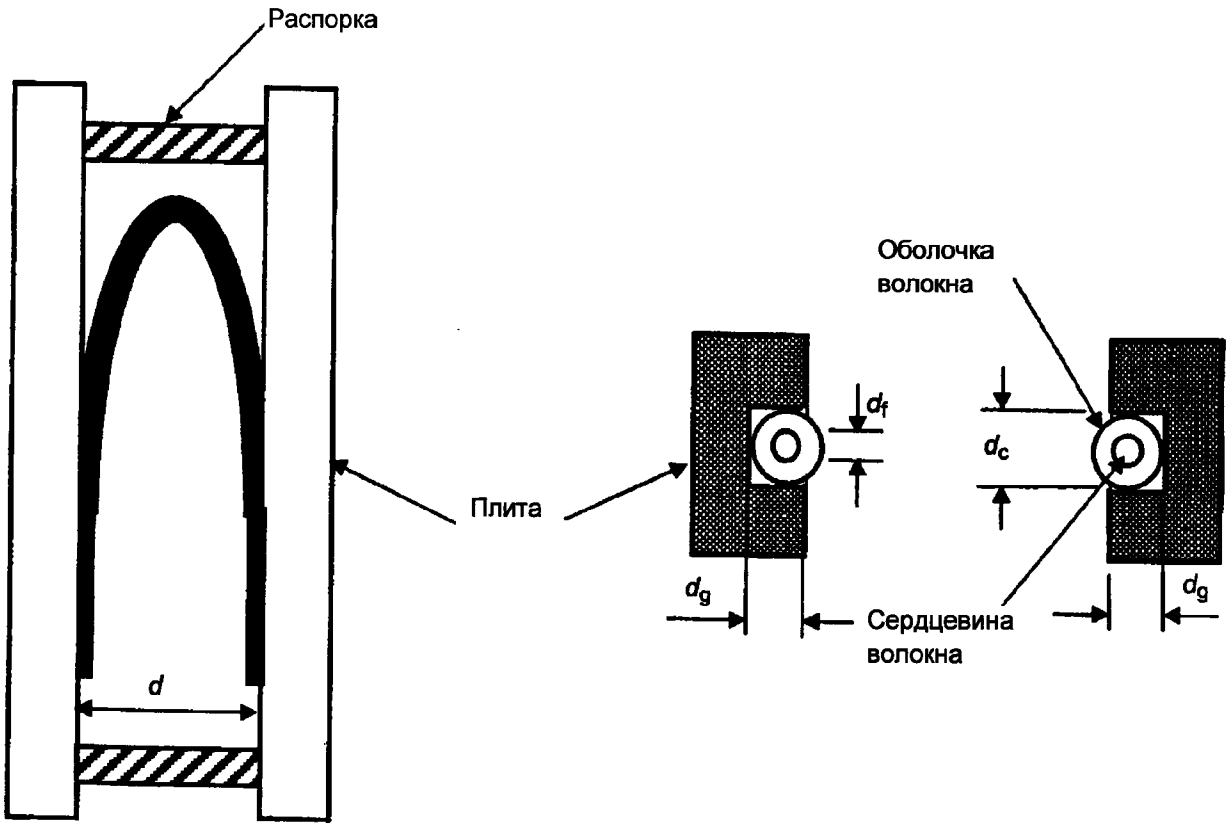
Вариант испытательной установки схематично показан на рисунке D.1. Установленные параллельно плиты, имеющие желобок для размещения волокна и распорки, должны быть изготовлены из термостойких материалов (например, нержавеющей стали). Распорки используются для создания необходимого зазора между плитами. Вместо установленных параллельно плит, показанных на рисунке D.1, могут использоваться стеклянные трубы с отверстием, просверленным с высокой точностью, или рассверленные с высокой точностью металлические пластины. В данном случае стенки труб выполняют ту же функцию, что и установленные параллельно плиты.

D.1.2 Регистрация разрушения волокна

Для регистрации разрушения волокна может использоваться акустический датчик и соответствующее контрольно-измерительное устройство выходного электрического напряжения. Также могут быть использованы другие методы регистрации разрушения волокна, такие как пропускание света по волокну. Регистрирующая аппаратура должна измерять время до разрыва с погрешностью не более 1 %.

D.2 Испытательная группа образцов

Образцы, входящие в испытательный набор образцов, представляют собой отрезки волокна длиной приблизительно 30–120 мм. Диаметр сердцевины необходимо знать с точностью до ±1 мкм, диаметр оболочки необходимо знать с точностью до ±5 мкм. Если не указанное иное в частных технических условиях, то для каждого значения нагрузки в испытательных группах образцов должно быть не менее 15 образцов.



D1.a – горизонтальная проекция

D1.b – поперечное сечение

Рисунок D.1 – Схема возможной установки для определения статической усталости (при двухточечном изгибе)

D.3 Проведение испытания

Испытания проводят минимум с пятью различными номинальными значениями прикладываемых нагрузок. Выбирают величины нагрузок так, чтобы медианное время до разрушения волокна варьировалось от 1 ч до 30 дней.

Устанавливают устройство двухточечного изгиба, используя распорки определенного размера для обеспечения требуемой максимальной нагрузки в верхней точке изгиба волокна. Для расчета размеров распорок, которые обеспечат требуемое значение прикладываемой нагрузки, используют уравнения (B.2), (B.3) и (B.4) приложения B. Если используют стеклянные трубы с отверстием, просверленным с высокой точностью, или рассверленные с высокой точностью металлические пластины, то d_g в уравнении (B.3) равно нулю. После завершения предварительного кондиционирования волокна устанавливают в испытательную установку. Регистрируют время до разрыва каждого образца, используя датчик. Необходимо следить за тем, чтобы датчик не зафиксировал ложные разрушения (когда волокно не сломалось), и чтобы он фиксировал все произошедшие разрушения волокна.

D.4 Разрушения

D.4.1 Разрывное усилие

См. B.4.1 (приложение B).

D.4.2 Статический параметр стойкости к коррозии в напряженном состоянии n_s (при двухточечном изгибе)

См. C.4.2 (приложение C).

D.5 Результаты испытания

В отчете по испытанию указывается следующая информация:

- идентификация волокна;
- дата проведения испытания;
- статический параметр стойкости к коррозии в напряженном состоянии n_s (при растяжении) (другие параметры — в стадии рассмотрения).

По запросу представляют следующую информацию:

- диаметр волокна;
- диаметр по оболочке (если она учитывается);
- внешние условия при проведении испытания;
- модуль эластичности волокна;
- первоначальное количество образцов в испытательной группе для каждого номинального значения нагрузки и число этих номинальных нагрузок;
- метод расчета n_s;
- параметр распределения Вейбулла m_s из G.2 (приложение G) для каждого значения испытательной нагрузки;
- среднеквадратическая ошибка при расчете n_s;
- значения номинальных нагрузок.

Приложение Е
(обязательное)

Определение статической величины *n* с помощью равномерного изгиба

В данном приложении приведен метод определения параметров статической усталости отдельных отрезков оптического волокна (статической *n* величины — n_s) при равномерном изгибе.

Е.1 Испытательное оборудование

Испытательное оборудование для приложения изгибающей нагрузки состоит из прецизионных оправок различных диаметров. К волокну прикладывают изгибающее усилие путем наматывания его на оправку (см. рисунок Е.1).

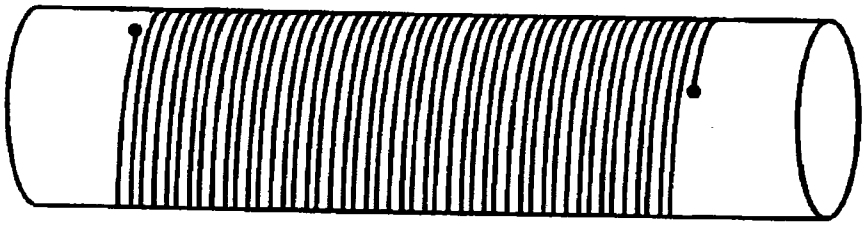


Рисунок Е.1 – Схема возможной установки для определения статической усталости (при равномерном изгибе)

Е.1.1 Крепление образца

Закрепляют оба конца испытуемого отрезка волокна. Волокна могут быть закреплены на концах оправки, например с помощью резиновых колец или клея или клейкой ленты. Используют крепеж, который не позволяет волокну проскальзывать до момента разрыва и минимизирует вероятность разрыва волокна в креплениях. Регистрируют разрывы волокна в креплениях, но не рассматривают волокно в креплениях как часть образца и не используют эти данные при дальнейших расчетах.

Для намотки испытуемого волокна на оправку необходим обмоточный механизм. Волокно наматывают с минимальным углом наклона и при намотке один виток волокна не должен заходить на другой. При намотке необходимо избегать приложения к волокну нежелательного растягивающего усилия. При намотке требуется достаточное усилие, например 0,25 Н, для обеспечения контакта волокна с оправкой по всей длине волокна.

Е.1.2 Приложение нагрузки к волокну

Величина нагрузки варьируется в зависимости от размера оправки. Несколько образцов испытывают при установленном номинальном значении нагрузки. Для метода простого расчета медианных значений используют оправки определенного диаметра для обеспечения установленного значения нагрузки с допускаемым отклонением в пределах ±0,5 % номинального значения. Для гомологичного метода и метода оценки максимального правдоподобия регистрируют точные значения нагрузки для каждого образца для использования в расчетах.

Е.1.3 Измерение времени до разрушения

Существует много способов измерения времени до разрыва, удовлетворяющих требованиям данного метода испытания. Один из способов — использовать акустический датчик или детектор для фиксации разрушения волокна и подачи сигнала на компьютер в момент разрушения. Другой способ — оптическое детектирование присутствия оправки в специальном держателе. При разрушении волокна оправка выталкивается из держателя. Еще одним способом является пропускание света через волокно.

Е.2 Испытательная группа образцов

Если не указано иное в технических условиях на конкретное изделие, то в испытательных группах для каждого номинального значения нагрузки должно быть не менее 15 образцов, и длина каждого образца должна быть 1 м. Диаметр сердцевины необходимо знать с точностью ±1 мкм, а диаметр оболочки должен быть известен с точностью ±5 мкм.

Е.3 Проведение испытания

Испытания проводят минимум с пятью различными номинальными значениями прикладываемых нагрузок. Номинальные значения нагрузки выбирают так, чтобы медианные значения времени до разрыва лежали в диапазоне от 1 ч до 30 дней.

Е.4 Расчеты

Е.4.1 Разрушающее усилие

Разрушающее усилие σ_f в гигапаскалях для каждого волокна рассчитывают с помощью следующих уравнений

$$\sigma_f = E_o \varepsilon_f (1 + 0{,}5\alpha'' \varepsilon_f), \quad (Е.1)$$

$$\varepsilon_f = \frac{d_f}{D + d_c}, \quad (Е.2)$$

$$\alpha'' = 0{,}75\alpha, \quad (Е.3)$$

где E_o — модуль Юнга (72 ГПа);

ε_f — растяжение, при котором происходит разрушение волокна;

α — параметр, корректирующий нелинейность зависимости растяжения от прикладываемой нагрузки (типовое значение α равно 6);

d_f — диаметр сердцевины волокна, мкм;

D — диаметр оправки, мкм;

d_c — наружный диаметр волокна по оболочке, мкм.

Е.4.2 Статический параметр стойкости к коррозии в напряженном состоянии n_s (при равномерном изгибе)

См. С.4.2 (приложение С).

Е.5 Результаты испытания

По запросу представляют следующую информацию:

- диаметр сердцевины волокна;
- диаметр оболочки;
- значения диаметра оправок;
- внешние условия при проведении испытания;
- среднеквадратическая ошибка при расчете n_s;
- длина волокна, намотанного на оправку;
- сила, прикладываемая при намотке;
- количество образцов в испытательной группе для каждого значения диаметра оправки и число различных диаметров оправок;
- количество оправок одного диаметра.

Приложение F
(справочное)

Анализ расчета динамической усталости

F.1 Размер образца и количество образцов в группе

F.1.1 Размер образца

Испытание по определению разрывного усилия является статистическим. Большое число отдельных волокон, каждое из которых является представителем определенной группы, должно быть испытано с целью определения разрывного усилия. Результат выдается для всей группы в виде вероятностного распределения.

Количество образцов в испытательной группе и измерительная база образца определяют степень представительства определенной группы и разброс измеренной вероятности. Измерительная база также влияет на результат, т. к. измеряемая величина разрывного усилия уменьшается при увеличении измерительной базы волокна.

F.1.2 Количество образцов в группе

На практике при проведении испытания при разных скоростях растяжения не могут быть получены результаты с одинаковыми значениями разрывного усилия. Необходим отбор образцов для расчета среднего значения разрывного усилия. Ширина доверительного интервала определяется разбросом значений разрывных усилий при различных скоростях растяжения. Поэтому доверительный интервал характеризует точность испытаний на усталость, и не является характеристикой волокна.

В таблице F.1 приведен типовой доверительный интервал для различных комбинаций динамического параметра стойкости к коррозии в напряженном состоянии n_d, угла наклона графика распределения Вейбулла m_d и количества образцов для различных скоростей растяжения. Эти результаты получены методом Монте Карло — имитацией идеального распределения Вейбулла в сочетании с характеристикой усталости, определенной уравнением (А.1) приложения А. Имитация проводилась при четырех скоростях растяжения, разделенных по порядку величины.

Таблица F.1 — 95 % доверительный интервал для n_d

Действи-тельное значение n_d	Угол наклона графика распределения Вейбулла m_d	Количество образцов в испытательной группе в зависимости от скорости растяжения			
		15	30	45	60
10	15	8,7–11,0	9,3–10,8	9,5–10,5	9,5–10,5
	30	9,5–10,5	9,6–10,4	9,7–10,3	9,8–10,3
	60	9,7–10,3	9,8–10,2	9,9–10,2	9,9–10,1
	90	9,8–10,2	9,9–10,1	9,9–10,1	9,9–10,1
20	15	16,7–24,0	17,6–23,2	18,3–22,6	18,4–22,0
	30	18,2–22,0	18,9–21,6	19,5–22,6	19,2–21,0
	60	19,1–21,1	19,5–20,9	19,8–20,5	19,6–20,5
	90	19,5–20,8	19,6–20,7	19,8–20,5	19,8–20,4
30	15	22,8–39,2	24,9–37,1	26,2–35,5	26,6–34,4
	30	26,0–34,1	27,3–33,3	28,0–32,7	28,3–32,3
	60	28,0–32,0	29,2–31,2	29,4–31,0	29,2–31,2
	90	28,7–31,4	29,2–31,2	29,4–31,0	29,3–30,8
50	15	33,2–80,6	37,5–72,3	40,5–67,3	41,5–63,7
	30	40,0–62,2	43,0–59,8	45,0–57,7	45,6–56,4
	60	44,6–55,8	46,5–54,7	48,1–53,8	47,9–53,3
	90	46,4–53,9	47,8–53,3	49,1–52,7	49,0–52,3
100	15	49,8–380,0	60,8–258,7	68,5–198,0	71,2–170,7
	30	67,1–162,3	76,1–147,7	81,5–135,1	83,9–129,7
	60	81,5–125,8	87,2–120,7	90,4–116,2	92,2–114,4
	90	87,4–123,2	91,7–113,8	93,9–110,8	95,2–110,0

F.2 Числовой алгоритм для расчета динамического параметра стойкости к коррозии в напряженном состоянии n_d

По данному алгоритму рассчитывают n_d и 95 % доверительный интервал гомологичным среднеквадратическим методом. Использование данного алгоритма ограничено испытаниями, в которых одинаковое число образцов в испытательной группе установлено для разных скоростей растяжения.

σ_{ij} — j-е разрывное усилие на i-ой скорости растяжения;

$\dot{\sigma}_a$ — скорость изменения напряжения при i-ой скорости растяжения.

Пусть $y_{ij} = \log(\sigma_{ij})$ для $i = 1,\ldots, L$, число скоростей растяжения, и для

$j = 1, \ldots, N_j$, количество образцов для каждой скорости растяжения.

Пусть $x_i = \log\dot{\sigma}_a$.

Пусть $N = \sum N_i$. Пусть $\overline{Y} = \sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{N_i}\frac{y_{ij}}{N}$. Пусть $\overline{X} = \sum\frac{(N_i x_i)}{N}$.

Пусть $XX = \left(\sum_{i=1}^{L} N_i x_i^2\right) - N\overline{X}^2$. Пусть $YY = \left(\sum_{i=1}^{L}\sum_{y=1}^{Ni} y_{iy}^2\right) - N\overline{Y}^2$.

Пусть $XY = \left(\sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{Ni} X_i Y_{ij}\right) - N\overline{XY}$.

$S = \dfrac{XY}{XX}$ = угол наклона .

Пусть $\text{SEE} = \sqrt{\dfrac{(YY - S \cdot XY)}{(XX \cdot (N-2))}}$,

где SEE — среднеквадратическая ошибка расчета S.

Пусть $S_U = S$ — 1,96SEE. Пусть $S_L = S$ +1,96SEE,

тогда $n_d = \dfrac{1}{S} - 1$, $n_{dU} = \dfrac{1}{S_u} - 1$, $n_{dL} = \dfrac{1}{S_L} - 1$,

где n_{dU} и n_{dL} формируют 95 % доверительный интервал при расчете n_d.

Рассчитывают:

$$\text{точка пересечения} = \overline{Y} - \left(S \cdot \overline{X}\right), \tag{F.1}$$

где

$$\text{угол наклона} = \frac{1}{n_d + 1} = S. \tag{F.2}$$

F.3 Полный метод расчета разрывного усилия

Компенсацию нагрузки, приходящейся на оболочку волокна, вычисляют следующим образом.

Рассчитывают часть F напряжения, испытываемого защитной оболочкой волокна, по формуле

$$F = \frac{E_2\left(D_2^2 - D_1^2\right) + E_1\left(D_1^2 - D_g^2\right)}{\left[E_2\left(D_2^2 - D_1^2\right) + E_1\left(D_1^2 - D_g^2\right)\right] + E_g D_g^2}, \tag{F.3}$$

где E_g — модуль Юнга сердцевины волокна, Па;

E_2 — модуль Юнга второго слоя оболочки, Па;

E_1 — модуль Юнга первого слоя оболочки, Па;

D_g — номинальный диаметр сердцевины волокна, мкм;

D_2 — номинальный диаметр по второму слою оболочки, мкм;

D_1 — номинальный диаметр по первому слою оболочки, мкм.

Используют значения E_2 и E_1, которые соотносятся с рабочей температурой, влажностью и скоростью растяжения. Расчет наихудшего случая нагрузки, приходящейся на оболочку, может быть сделан путем замены модуля Юнга внутренней первичной оболочки на больший по значению модуль Юнга внешней вторичной оболочки. В этом случае данные о диаметре и модуле Юнга внутренней первичной оболочки не нужны.

Рассчитывают скорректированное значение растягивающего усилия $T_a(N)$, прикладываемого к волокну в оболочке при испытании, следующим образом:

$$T_a = \frac{(0{,}0008) D_g^2 \sigma_p}{(1 - F)}. \tag{F.4}$$

где D_g — номинальный диаметр сердцевины волокна, мкм;

σ_p – испытательная нагрузка при растяжении, ГПа;

F — часть нагрузки, приходящаяся на оболочку.

Приложение G
(справочное)

Анализ расчета статической усталости

G.1 Гомологичный метод

В этом методе используются все данные, но требуется, чтобы график распределения Вейбулла был одинаковым и линейным для каждого набора групп образцов. Так как в данной методике расчета используют все данные, то часто получают меньшее значение среднеквадратической ошибки расчета.

Пусть t_{ij} — время до разрушения j-ого образца при i-м номинальном значении нагрузки. Пусть σ_{ia} — номинальное значение нагрузки, воздействующей на образец. Пусть N_i — число испытательных групп образцов в i-м наборе групп образцов. Для каждого значения i, j рассчитывают параметр Вейбулла w_{ij}

$$w_{ij} = \ln\left[-\ln\left(1-\frac{j-0,5}{N_i}\right)\right]. \quad \text{(G.1)}$$

Аппроксимируют данные к модели линейной регрессии путем минимизации суммы квадратичных ошибок

$$a\ln\left(t_{ij}\right) + b\ln\left(\sigma_a\right) + \text{const} = w_{ij}. \quad \text{(G.2)}$$

Значение параметра $n_s = b/a$ указывают в отчете как расчетное.

Среднеквадратическая ошибка расчета аппроксимирована с вариацией и ковариацией a и b в соответствии с их значениями. Вариация и ковариация указывается большим количеством статистических пакетов.

$$\text{Var}(n) = \text{Var}(a)/a^2 + \left(b/a^2\right)^2 \text{Var}(a) - 2\left(b/a^2\right)\text{Cov}(a,b). \quad \text{(G.3)}$$

Среднеквадратическая ошибка расчета — $\left[\text{Var}(n)\right]^{1/2}$.

В отчете указывают медианные значения $\ln\left(t_{ij}\right)$ и $\ln\left(\sigma_a\right)$.

G.2 Оценка максимального правдоподобия

Данный метод также основан на предположении того, что график распределения Вейбулла для каждого номинального значения нагрузки был получен из одного основного распределения разрывной нагрузки, и что этот график линейный. С помощью данного метода получают наилучшие результаты, но он является наиболее сложным. Данный метод можно использовать при усеченном наборе данных вследствие преждевременного прерывания испытания (до разрыва всех образцов). Для завершения вычислений имеются статистические пакеты. Они основаны на следующей вероятностной модели:

$$F = 1 - \exp\left[-t_f / t_o m_s\right], \quad \text{(G.4)}$$

где F — интегральная вероятность разрыва при времени разрыва t_f;

t_o — масштабный коэффициент распределения Вейбулла;

m_s — параметр статического распределения Вейбулла.

Приложение Н
(справочное)

Анализ методов испытаний по определению параметра стойкости к коррозии в напряженном состоянии

Н.1 Введение

В данном стандарте описывается несколько методов испытаний, которые можно использовать для определения параметра стойкости к коррозии в напряженном состоянии оптического волокна из стекла. Целью данного приложения является описание данного механического параметра и демонстрация связи между результатами, полученными при помощи разных методов испытаний.

Н.2 Рост трещины (процесс разрыва волокна)

Многомодовые волокна типов А1, А2, А3с и одномодовые волокна категории В изготавливают из кварцевого стекла, состоящего из кольцевых тетраэдральных образований SiO_4. Механические связи такого типа разрушаются при нагрузке в 20 ГПа (то есть инертная прочность, без роста трещины). Концентрация напряжений на концах трещины приводит к разрушению волокна при меньших нагрузках [1]. Такая концентрация напряжений характеризуется коэффициентом интенсивности напряжений

$$K_I = Y\sigma\sqrt{a} \ , \qquad (Н.1)$$

где Y — геометрический коэффициент;

a — глубина трещины;

σ — величина прилагаемой нагрузки.

Разрушение происходит при достижении K_I критического значения K_{Ic}, составляющего приблизительно 0,8 МПа [2], [3]. Для полуэллиптической или полукруговой трещины $Y = 1{,}24$ [2]. Отсюда видно, что существует однозначная связь между глубиной трещины и разрывным усилием.

На практике разрыв происходит при гораздо меньших значениях разрывного усилия, чем следующих из соотношения глубины трещины и разрывного усилия. Более того, разрывное усилие для оптического волокна зависит от времени. Это объясняется ростом трещин вследствие химической реакции в напряженном состоянии, разрушающей связи. Экспериментальные условия, особенно вода, являются важным фактором, влияющим на рост трещин (da/dt). Коррозия кварцевого стекла, вызванная напряжением, обычно описывается степенной зависимостью, где скорость роста трещины v равна AK_I^n, где A — масштабный коэффициент скорости роста трещины, а n — параметр стойкости к коррозии в напряженном состоянии [1]. В моделях надежности волокна данная степенная зависимость часто используется [5], что показывает важность определения величины n. Эта величина может зависеть от специфических характеристик стекловолокна и/или его оболочки [6], [7], [8], [9].

При испытаниях волокна методами, описанными в данном стандарте, тестируются сравнительно небольшие длины волокна, в результате чего получают данные по коррозии в напряженном состоянии, имеющие распределение внутренней прочности.

На практике наличие микротрещин в волокне (то есть распределение внешней прочности ниже распределения внутренней прочности) приводит к разрушению волокна. Поэтому для расчета срока службы волокна следует использовать параметр стойкости к коррозии в напряженном состоянии этих микротрещин. Вследствие того, что данный параметр очень тяжело определить, в настоящее время используется коррозия, вызванная напряжением, имеющая распределение внутренней прочности. Оправданность такого подхода была показана в экспериментах с волокном, изношенным трением, где видно, что данный выбор отображает даже наихудшую ситуацию. Значение n для волокна, изношенного трением, оказалось выше, чем для распределения внутренней прочности [5], [10], [11], [12], [13].

Н.3 Типы методов испытаний по определению стойкости к коррозии в напряженном состоянии

Значение параметра стойкости к коррозии в напряженном состоянии стандартного оптического стекловолокна обычно находится в пределах 17–40, большее значение свидетельствует о более медленном росте трещин. Различия в значениях параметра объясняются различиями в способах измерения. На практике применяют два вида испытаний: статические и динамические. Данные испытания описаны в следующих приложениях настоящего стандарта:

- динамические испытания:

приложение А: определение динамической величины n с помощью растяжения;

приложение В: определение динамической величины n с помощью двухточечного изгиба;

- статические испытания:

приложение С: определение статической величины n с помощью растяжения;

приложение D: определение статической величины n с помощью двухточечного изгиба;

приложение Е: определение статической величины n с помощью равномерного изгиба.

Как указано в представленных методах испытаний, данные испытания проводят в стандартных комнатных условиях. Результаты этих испытаний не должны использоваться для расчетов надежности в условиях отличных от стандартных.

Для сравнения двух групп испытаний на усталость возможно для испытания на динамическую усталость перевести историю нагружения в «эффективное» статическое время до разрыва t_{eff} [14].

Для испытания на растяжение t_{eff} записывают в виде

$$t_{eff} = \frac{\sigma_d}{\dot{\sigma}} \cdot \frac{1}{(n+1)} = \frac{t_d}{(n+1)} \qquad (H.2)$$

при $\sigma(t) = \dot{\sigma}t$, где $\dot{\sigma}$ — скорость изменения напряжения и динамическая усталостная прочность $\sigma_d = \dot{\sigma}_{td}$, где t_d — динамическое время до разрыва.

В данном уравнении подразумевается, что все параметры роста трещины являются постоянными величинами. Для других методов испытания, в которых усилие не измеряется напрямую (то есть волокно подвергают растяжению или изгибу), данные должны быть преобразованы в значения усилия (см. [14]). В этом случае динамическая усталостная прочность может быть представлена в виде графика зависимости (log/log) от эффективного времени до разрыва таким же образом, как и при испытании на статическую усталость.

Н.4 Сравнение значений *n*, полученных с помощью различных методов

В испытании по круговой системе, проводимом в Европе [14], используют почти все методы испытаний по определению усталости под воздействием нагрузки. Результаты приведены на рисунке Н.1, где показано колебание измеренных значений разрывного усилия. В зависимости от метода испытаний результаты изменяют свое значение по вертикальной оси из-за разницы в эффективной поверхности сердцевины испытуемого волокна (длины и геометрии).

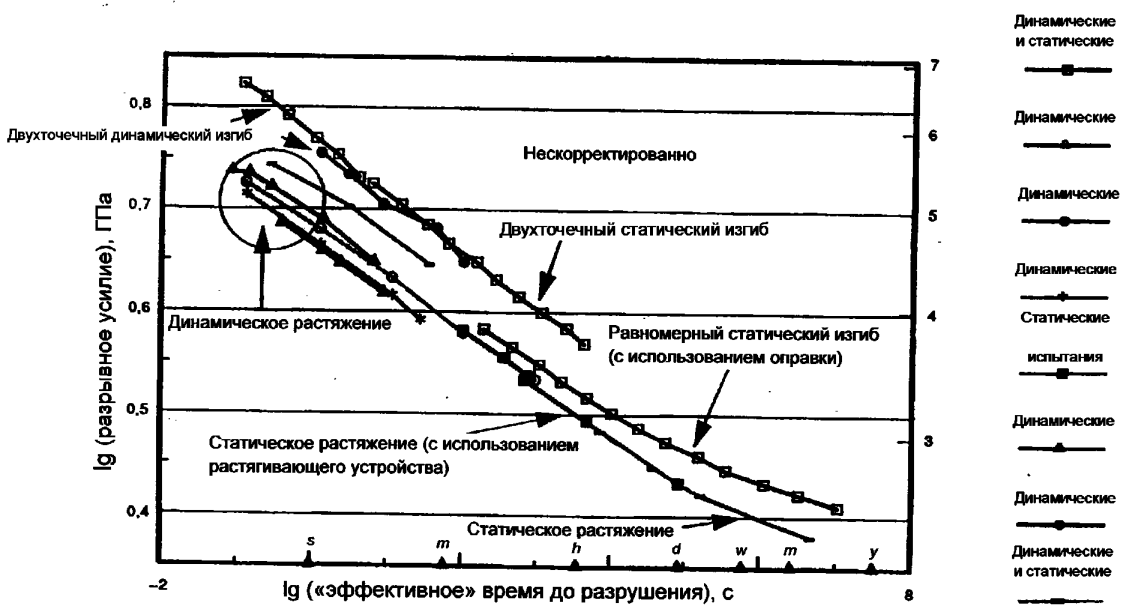


Рисунок Н.1 – Результирующие графики зависимости предела прочности при разрыве от времени при проведении испытаний по круговой системе

На рисунке Н.2 приведены результаты, скорректированные для данных различий в поверхности сердцевины волокна [8], [14], что приводит к меньшему разбросу значений «эффективного» разрывного усилия. Графики коррозии в напряженном состоянии, описываемой степенной зависимостью, представляют собой прямые линии (постоянное значение *n*) при изображении времени до разрыва и прикладываемой нагрузки по координатным осям в логарифмическом масштабе. Рисунок Н.2 показывает, что значение разрывного усилия постепенно снижается с увеличением времени до разрыва; одновременно угол наклона уменьшается (*n* увеличивается). Это возможно происходит из-за влияния времени на поверхность сердцевины волокна; это может быть вызвано затуплением трещины [13], [15], что сопоставимо по значению с коррозией под воздействием нагрузки [16]. Некоторые исследователи даже предполагают наличие усталостного предела [12], [17].

На рисунке Н.2 можно увидеть две основные группы испытаний — динамические и статические испытания. Испытания на динамическую усталость обычно проводят за короткие промежутки времени, уменьшенные до еще более коротких эффективных промежутков времени в сочетании с высоким значением прочности на разрыв. В основном по результатам данных испытаний получают меньшие значения параметра стойкости к коррозии в

напряженном состоянии n_d. Статические испытания требуют несколько больших затрат времени и соответственно меньших прикладываемых нагрузок; по результатам данных испытаний получают бóльшие значения n_s.

Н.5 Заключение

При сравнении результатов различных методов испытаний на усталость можно перевести динамическое время до разрыва в эффективное статическое время до разрыва и наоборот. Более того, величина разрывного усилия должна быть скорректирована в соответствии с эффективной поверхностью сердцевины испытуемого волокна.

После данных коррекций видно, что параметр стойкости к коррозии в напряженном состоянии не является постоянной величиной при изменяющемся эффективном времени до разрыва (см. рисунок Н.2). Это в общих чертах описывает различия между динамическими и статическими методами испытаний на усталость.

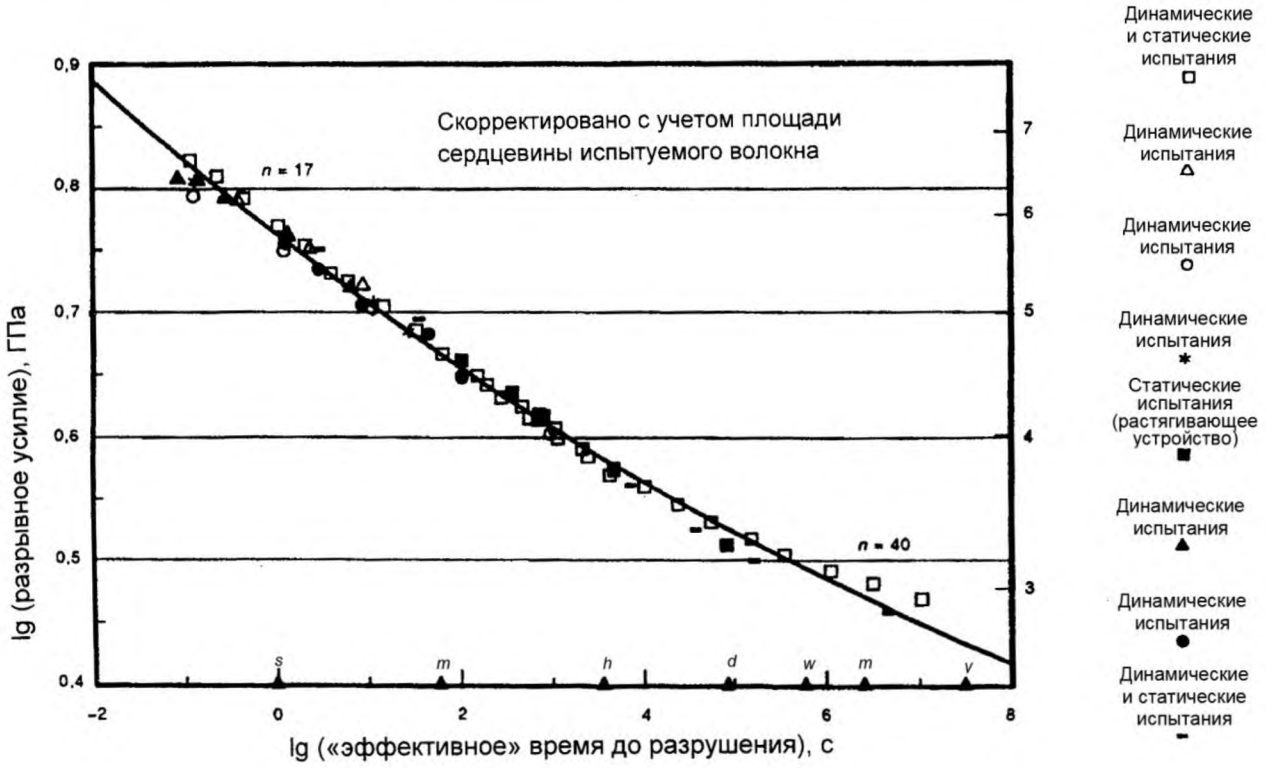


Рисунок Н.2 – Результирующие графики зависимости предела прочности при разрыве от времени при проведении испытаний по круговой системе

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 62048	–	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Открытом акционер-ном обществе «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности» (ОАО «ВНИИКП»).

Библиография

[1] Эванс и Видерхорн. Контрольные испытания керамических материалов — аналитический базис для прогнозирования разрушения. Международный журнал по механике и физике разрушения, 1974, 10, стр. 379–392 (EVANS, AG. and WIEDERHORN, SM. Proof testing of ceramic materials — an analytical basis for failure prediction. Int. J. Fract., 1974, 10, p. 379–392)

[2] Калиш и Тарьял. Статическая и динамическая усталость оптических волокон с сердцевиной из плавленого кварца и полимерной оболочкой. Журнал американского керамического общества (США), 1981, 61, стр. 518–523 (KALISH, D. and TARIYAL, BK. Static and dynamic fatigue of a polymer-coated fused silica optical fiber. J. Am. Ceram, Soc. (USA), 1981,61, p. 518–523)

[3] Богатырев, Буднов, Дианов, Румянцев, Семенов. Определение механической надежности оптических волокон с полимерной и герметичной оболочкой путем проведения контрольных испытаний. Оптическая техника, июнь 1991, том 30, № 6, стр.690–699 (BOGATYRJOV, VA., BUDNOV MM., DIANOV EM., RUMYANTZEV SD., SEMJONOV SI. Mechanical reliability of polymer coated and hermetically coated optical fibers based on proof testing. Optical Engineering, June 1991, vol. 30, no. 6, p. 690–699)

[4] Теория степенного закона при оценке надежности оптического волокна, Ассоциация телекоммуникационной промышленности США. Технический бюллетень 61, август 1994 (Power Law Theory of Optical Fibre Reliability, TIA TSB-61, August 1994)

[5] Гриффиоен, Бреулс, Кочито, Додд, Ферри, Хаслов, Оксанен, Стоктон, Свенссон. Европейская организация по сотрудничеству в области науки и технологии 218, модели для оценки срока службы оптического волокна. Международное общество по оптической технике, том 1791, Надежность и испытание оптических материалов, 8–9 сентября 1992, Бостон, Массачусетс, США (GRIFFIOEN, W., BREULS, T., COCITO, G., DODD, S., FERRI, G., HASLOV, P., OKSANEN, L., STOCKTON, D., SVENSSON T. COST 218 evaluation of optical fibre lifetime models. SPIE Vol. 1791, Optical Materials Reliability and Testing, 8–9 September 1992, Boston, MA, USA)

[6] Гулати, Хельфинштайн, Глаземанн, Робертс, Куэллер, Мидлман. Повышение надежности оптических волокон путем использования композиций, имеющих высокую усталостную прочность, Международное общество по оптической технике, том 842. Надежность волоконной оптики: Благоприятные и неблагоприятные внешние условия, 1987, стр. 22–31 (GULATI ST., HELFINSTINE, JD., GLAESEMANN, GS., ROBERTS, DR., CUELLER, E., MIDDLEMAN, LM. Improvements in optical fiber reliability via high fatigue resistant composition. SPIE Vol. 842, Fiber Optics Reliability: Benign and Adverse Environments, 1987, p. 22–31)

[7] Богатырев, Бубнов, Гурьянов, Вечканов, Девятых, Дианов, Семенов. Влияние растворов с разным значением pH на прочность и динамическую усталость оптических волокон с оболочкой из кремнийорганической смолы. Научный журнал института инженеров по электротехнике и электронике США (IEEE) «Electronics Letters», 11 сентября 1986. Том 22, № 18, стр. 1013–1014 (BOGATYRJOV, VA., BUBNOV, MM., GURYANOV, AN., VECHKANOV NN., DEVYATYKH, GG., DIANOV, EM., SEMJONOV, SL. Influence of various pH solutions on strength and dynamic fatigue of silicon-resin-coated optical fibres. Eletr. Letters, 11th Sept. 1986, Vol. 22, No. 18, p. 1013–1014)

[8] Мэтьюсон, Куркиян, Гулати. Измерение прочности оптических волокон методом изгиба, Журнал американского керамического общества (США), 69 [11], 1986, 61, стр. 815–821 (MATTHEWSON, MJ., KURKJIAN, CR., GULATI, ST. Strength Measurement of optical fibers by bending, J. Am. Ceram. Soc., 69 [11], 1986, p. 815–821)

[9] Леклерк, Бреулс. Влияние активаторов склеивания на параметры старения оптических волокон в воде. Представлено на симпозиуме Международного общества по оптической технике, посвященном вопросам оптики, изображению и контрольно-измерительному оборудованию (волоконно-оптические материалы и элементы), 24–29 июля 1994, Сан Диего (LECLERCQ, JW. and BREULS, AHE. Influence of adhesion promoters on the aging characteristics of optical fibers in water. Submitted to SPIE int. symposium on optics, imaging, and instrumentation (fiber optic materials and components), 24–29 July 1994, San Diego)

[10] Крэйг, Дункан, Франс, Снодгас. Прочность и усталость больших трещин в кварцевых оптических волокнах. Европейская конференция по оптической связи, 1982, стр.205–208 (CRAIG, SP., DUNCAN, WJ., FRANCE, PW., SNODGAS, JE. The strength and fatigue of large flaws in silica optical fibre. ECOC, 1982, p. 205–208)

[11] Глаземанн, Эстеп, Хельфинштайн, Кэрр. Исследование механических характеристик внутренних и внешних трещин в оптическом стекловолокне. 94-е ежегодное заседание американского керамического общества, 4-JXVI-92, апрель 1992, Миннеаполис (GLAESEMANN, GS., ESTEP, MG., HELFINSTINE, JD., CARR, JJ. Examining the mechanical behavior of intrinsic and extrinsic flaws in optical glass fiber. 94th annual meeting of the Am. Cer. Soc., 4-JXVI-92, April 1992, Minneapolis)

[12] Бреулс, Свенссон. Прочность и усталость слабых мест в оптическом волокне, вызываемых двуокисью циркония. Международное общество по оптической технике, сентябрь 1993, Бостон (BREULS, A. and SVENSSON, T. Strength and fatigue of zirconia induced weak spots in optical fibre. SPIE, September 1993, Boston)

[13] Юс, Ки, Чэндэн. Характеристики старения волокон из расплавленного кварца, имеющих низкую прочность. Международное общество по оптической технике, Том 1366, Надежность волоконной оптики при благоприятных и неблагоприятных внешних условиях IV, 1990, стр.120–128 (YUCE, HH., KEY, PL., CHANDAN, HC. Aging behavior of low strength fused silica fibres. SPIE. Vol. 1366, Fiber optics reliability benign and adverse environments IV, 1990, p. 120–128)

[14] Бреулс. Европейская организация по сотрудничеству в области науки и технологии 218, сравнение n-величин, полученных с помощью разных методов. Протоколы конференции по измерениям в области оптических волокон, 1993, Турин, стр.9–12 (BREULS, A. A COST 218 comparison of n-values obtained with different techniques Proceedings of OFMC'93, 1993, Torino, p. 9–12)

[15] Гулати. Анализ надежности длинных оптических волокон (GULATI, S. Reliability considerations for long length optical fibres. 4th IWCS, 1992, p.612–621)

[16] Гриффиоен. Эффекты, влияющие на измерения стойкости к коррозии оптических волокон. Протоколы конференции по измерениям в области оптических волокон, 1993, Турин, стр.13–16 (GRIFFIOEN, W. Effects influencing measurements of optical fibre corrosion susceptibility. Proceedings of OFMC'93, 1993, Torino, p. 13–16)

[17] Куркиян. Текущие вопросы механической надежности оптических волокон (KURKJIAN, C. et al. Current issues in mechanical reliability of optical fibres. 41th IWCS, 1992, p. 599–604)

УДК 681.7.068:006.354 ОКС 33.180.10 Э59 ОКП 63 6570

Ключевые слова: волокна оптические, коррозия в напряженном состоянии, испытательное оборудование, метод испытаний, обработка результатов

Подписано в печать 03.03.2015. Формат 60х84⅛.
Усл. печ. л. 4,19. Тираж 31 экз. Зак. 1053

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»,
123995 Москва, Гранатный пер., 4.

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

gost.e-ecolog.ru