ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 22407— 2025

Материалы металлические

ИСПЫТАНИЕ НА УСТАЛОСТЬ

Метод испытания на изгиб в осевой плоскости

(ISO 22407:2021, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Интеллект-НН» (ООО «Интеллект-НН») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 132 «Техническая диагностика. Расчеты и испытания на прочность»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 июня 2025 г. № 541-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 22407:2021 «Материалы металлические. Испытание на усталость. Метод испытания на изгиб в осевой плоскости» (ISO 22407:2021 «Metallic materials — Fatigue testing — Axial plane bending method», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом ТК 164 Международной организации по стандартизации (ИСО).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных стандартов соответствующие им национальные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2021
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

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 1
4 Обозначения 3
5 Принцип проведения испытания 4
6 План испытания 4
7 Образцы 4
8 Аппаратура 6
9 Расчет напряжений 7
10 Проверка однородности напряжений 8
11 Процедура испытания 9
12 Представление результатов испытания 10
13 Протокол испытаний 10
14 Неопределенность измерений 11
Приложение А (справочное) Образцы с усталостными концентраторами напряжений 14
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных стандартов национальным стандартам 15
Библиография 16

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Материалы металлические

ИСПЫТАНИЕ НА УСТАЛОСТЬ

Метод испытания на изгиб в осевой плоскости

Metallic materials. Fatigue testing. Axial plane bending method

Дата введения — 2026—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт определяет условия проведения испытания на усталость при плоском изгибе с постоянной амплитудой нагрузки или перемещения при комнатной температуре (от 10 °С до 35 °С) на металлических образцах без концентраторов напряжений. Настоящий стандарт не включает испытание на многоступенчатые и случайные нагружения. Целью испытания является получение соотношений между приложенным напряжением и количеством циклов до разрушения для данного состояния материала, определяемого твердостью и микроструктурой, при различных соотношениях амплитуд напряжений.

Настоящий стандарт не распространяется на испытания отдельных видов деталей и элементов конструкций, а также другие специализированные виды испытаний.

В настоящем стандарте не рассмотрены испытания на усталость образцов с концентраторами напряжений. Однако процедуры испытаний на усталость, описанные в настоящем стандарте, могут быть использованы для испытания образцов с концентраторами напряжений. Соответствующие рекомендации приведены в приложении А.

Условия окружающей среды в лаборатории могут повлиять на результаты испытания на усталость. Там, где требуются контролируемые условия, применяют ИСО 554:1976, 2.1.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных стандартов применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 7500-1, Metallic materials — Calibration and verification of static uniaxial testing machines — Part 1: Tension/compression testing machines — Calibration and verification of the force-measuring system (Материалы металлические. Калибровка и верификация машин для статических испытаний в условиях одноосного нагружения. Часть 1. Машины для испытания на растяжение/сжатие. Калибровка и верификация силоизмерительной системы)

ASTM E2309/E2309M, Standard Practices for Verification of Displacement Measuring Systems and Devices Used in Material Testing Machines (Стандартные методы проверки систем и устройств измерения перемещения, используемых в машинах для испытания материалов)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

Издание официальное

ИСО и МЭК ведут терминологические базы данных для использования в области стандартизации по следующим адресам:

- платформа онлайн-просмотра ИСО: доступна по адресу gost.e-ecolog.ru ;
- Электропедия МЭК: доступна по адресу gost.e-ecolog.ru .

3.1 **толщина испытуемой зоны образца** δ (thickness of test section δ): Наименьшая толщина прямоугольного испытуемого образца.

Примечание — См. рисунок 1.

3.2 **ширина испытуемой зоны образца** w (width of test section w): Ширина прямоугольного испытуемого образца.

Примечание — См. рисунок 1.

3.3 **длина образца** L_z (specimen length L_z): Общая длина испытуемого образца.

3.4 **площадь поперечного сечения образца** S (specimen cross-section S): Минимальная площадь поперечного сечения испытуемого образца.

3.5 **радиус скругления** r_c (corner radius r_c): Радиус скругления кромки образца прямоугольного поперечного сечения.

3.6 **расстояние между внутренними точками нагружения** d_1 (distance between inner loading points d_1): Расстояние между осями двух внутренних нагружающих роликов.

Примечание — См. рисунок 3.

3.7 **расстояние между внешними точками нагружения** d_2 (distance between outer loading points d_2): Расстояние между осями двух внешних нагружающих роликов.

Примечание — См. рисунок 3.

3.8 **диаметр роликов** D_R (diameter of the rollers D_R): Диаметр четырех нажимных роликов.

3.9 **цикл напряжения** (stress cycle): Период функции зависимости напряжения от времени.

Примечание — См. рисунок 4.

3.10 **максимальное напряжение** σ_{max} (maximum stress σ_{max}): Наибольшее алгебраическое значение напряжения в цикле напряжения.

Примечание — См. рисунок 4.

3.11 **среднее напряжение** σ_m (mean stress σ_m): Половина алгебраической суммы максимального и минимального напряжений в цикле напряжений.

Примечание — См. рисунок 4.

3.12 **минимальное напряжение** σ_{min} (minimum stress σ_{min}): Наименьшее алгебраическое значение напряжения в цикле напряжения.

Примечание — См. рисунок 4.

3.13 **амплитуда напряжения** σ_a (stress amplitude σ_a): Половина алгебраической разницы между максимальным и минимальным напряжениями в цикле напряжений.

Примечание 1 — $\sigma_a = \Delta\sigma/2$.

Примечание 2 — См. рисунок 4.

3.14 **диапазон напряжений** $\Delta\sigma$ (stress range $\Delta\sigma$): Арифметическая разница между максимальным и минимальным напряжением.

Примечание 1 — $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$.

Примечание 2 — См. рисунок 4.

3.15 **коэффициент асимметрии цикла напряжения** R_σ (stress ratio R_σ): Отношение минимального напряжения к максимальному в течение цикла усталостного нагружения.

Примечание 1 — $R_\sigma = \sigma_{min}/\sigma_{max}$.

Примечание 2 — См. рисунок 5.

3.16 **коэффициент асимметрии цикла нагрузки R_F** (load ratio R_F): Отношение минимальной нагрузки к максимальной в течение цикла усталостного нагружения.

Примечание 1 — $R_F = F_{min}/F_{max}$.

Примечание 2 — См. рисунок 5.

3.17 **число циклов *N*** (number of cycles *N*): Количество наименьших интервалов функции «нагрузка — время», «напряжение — время», «перемещение — время» и т. д., которые периодически повторяются.

3.18 **усталостный ресурс N_f** (fatigue life N_f): Количество циклов усталостного нагружения до достижения заданного критерия разрушения.

3.19 **приложенная сила *F*** (applied force *F*): Усилие, приложенное во время испытания (для испытания с контролируемой нагрузкой).

3.20 **изгибающий момент *M*** (bending moment *M*): Постоянный момент между внутренними роликами, рассчитанный с учетом приложенного усилия и расстояний между роликами (d_1 и d_2).

Примечание — $M = \frac{F}{4}(d_2 - d_1)$.

4 Обозначения

4.1 Обозначения, относящиеся к геометрии образца

Обозначение	Определение	Единица измерения
δ	Толщина испытуемого сечения	мм
δ_1	Минимальная толщина скошенного образца	мм
w	Ширина испытуемого образца	мм
w_1	Наименьшая ширина скошенного образца	мм
L_z	Длина образца	мм
I	Момент инерции сечения образца	мм^4
d_{nba}	Максимальное расстояние от нейтральной оси изгиба	мм
S	Площадь поперечного сечения образца	мм^2
r_c	Радиус скругления	мм

4.2 Обозначения, относящиеся к испытательному устройству

Обозначение	Определение	Единица измерения
d_1	Расстояние между внутренними точками нагружения	мм
d_2	Расстояние между внешними точками нагружения	мм
D_R	Диаметр ролика	мм

4.3 Обозначения, относящиеся к испытанию на усталость

Обозначение	Определение	Единица измерения
β_{hi}	Степень однородности напряжений для *i*-го цикла нагружения	—
σ_{max}	Максимальное напряжение	МПа
σ_m	Среднее напряжение	МПа
σ_{min}	Минимальное напряжение	МПа
σ_a	Амплитуда напряжений	МПа
$\Delta\sigma$	Диапазон напряжений	МПа
σ	Испытательное напряжение	МПа

Обозначение	Определение	Единица измерения
R_σ	Коэффициент асимметрии цикла напряжения	—
R_F	Коэффициент асимметрии цикла нагрузки	—
N	Число циклов	циклы
N_f	Усталостный ресурс	циклы
F	Приложенная сила	Н
M	Изгибающий момент	Н·м

5 Принцип проведения испытания

Принцип испытания заключается в том, что образец помещают между четырьмя роликами, как показано на рисунке 3. Затем к образцу прикладывают циклическое усилие постоянной амплитуды, в результате чего испытуемая поверхность образца подвергается циклическому нагружению постоянной амплитуды. Испытание продолжают до тех пор, пока образец не разрушится или пока не будет достигнуто заданное количество циклов нагружения.

При испытании должна быть обеспечена схема плоского изгиба. Может быть использован любой из типов циклического нагружения, показанных на рисунке 5. Форма цикла напряжения и нагрузки должна быть синусоидальной с постоянной амплитудой.

6 План испытания

6.1 Общие положения

Перед началом испытания заказчиком и исполнителем испытаний должно быть согласовано следующее, если в соответствующем стандарте на продукцию не указано иное:

a) форма используемого образца (см. 7.1);

b) начальный коэффициент асимметрии цикла напряжения, который должен быть использован;

c) цель испытаний, т. е. что из перечисленного должно быть определено:

- усталостный ресурс при заданной амплитуде напряжений;
- усталостная прочность при заданном количестве циклов;
- полная кривая Велера или кривая S-N;

d) количество образцов, подлежащих испытаниям, и последовательность испытаний;

e) количество циклов, по истечении которых испытание неразрушенного образца должно быть прекращено.

7 Образцы

7.1 Форма образцов

Образцы, как правило, изготавливают из заготовки с прямоугольным поперечным сечением постоянной толщины. Чтобы избежать образования трещин по кромкам, возможны следующие приемы:

- обработка каждой кромки по радиусу (рисунок 1);
- использование образца со скошенным поперечным сечением [8] (рисунок 2).

Если необходимо учитывать состояние поверхности, в котором металл будет использоваться в процессе эксплуатации, поверхность, подвергающаяся максимальному напряжению, должна оставаться необработанной.

7.2 Размеры образцов

Для того, чтобы напряжение сдвига оказывало минимальное влияние на напряжение изгиба (менее 5 %, выраженное в эквивалентном напряжении Мизеса), необходимо соблюдать следующее соотношение [формула (1)]

$$\frac{\delta}{d_2 - d_1} < 0{,}5. \quad (1)$$

Из-за изгиба образца расстояние между точками контакта роликов на образце изменяется при приложении нагрузки. Это изменение влияет на уровень напряжений в образце по сравнению со значением, рассчитанным в разделе 9.

Погрешность между расчетным σ_{cal} и реальным σ_{real} напряжениями пропорциональна диаметру ролика и может быть приблизительно определена с помощью формулы (2)

$$\frac{\sigma_{cal} - \sigma_{real}}{\sigma_{cal}} = \frac{3D_R\left(d_2 + 3d_1\right)}{\left(d_2 - d_1\right)^2\left(d_2 + 2d_1\right)}\Delta r \cdot 100\ \%, \quad (2)$$

где максимальное перемещение захватов во время испытания Δr может быть определено по формуле (3)

$$\Delta r = \frac{M}{12EI}\left(d_2 - d_1\right)\left(d_2 + 2d_1\right), \quad (3)$$

где E — модуль Юнга материала испытуемого образца.

Эта погрешность должна составлять менее 5 %.

7.3 Подготовка образцов

7.3.1 Общие положения

При подготовке образцов необходимо соблюдать изложенные ниже требования, отклонения от которых возможны, если программа испытаний направлена на оценку влияния определенного фактора (обработка поверхности, окисление и т. д.), который несовместим с данными требованиями. Во всех случаях эти отклонения должны быть отмечены в протоколе испытаний.

Состояние поверхности образцов оказывает влияние на результаты испытания. Как правило, это влияние связано с одним или несколькими из следующих факторов:

- шероховатость поверхности образца;
- наличие остаточных напряжений;
- изменение микроструктуры материала;
- попадание загрязняющих веществ.

Рекомендации, приведенные в 7.3.2, 7.3.3 и 7.3.4, позволяют свести влияние этих факторов к минимуму.

7.3.2 Процедура механической обработки

7.3.2.1 Общие положения

Перед заключительной стадией полировки используют окончательную обработку для уменьшения остаточных напряжений на поверхности образца с целью исключить их влияние на результаты испытаний.

Рекомендуется проверить наличие поверхностных остаточных напряжений, например с помощью методов рентгеновской дифракции.

Шероховатость поверхности, как правило, определяют количественно по среднему значению шероховатости или эквивалентному значению (например, по десятибалльной шкале или по максимальной высоте неровностей) [1]. Должно быть указано среднее арифметическое отклонение менее 0,2 мкм (или эквивалентное значение).

Поскольку усталостный ресурс в большой степени зависит от локальной шероховатости, значение максимальной высоты профиля дает дополнительную информацию о шероховатости поверхности, поэтому оно должно быть измерено и представлено в отчете.

С целью исключения появления локальных царапин для окончательной обработки применяют шлифование с последующей продольной механической полировкой. При проверке с малым увеличением (не более ×20) не должно быть поперечных царапин в пределах измеряемой длины.

В исключительных случаях допускается применять другой вид окончательной обработки (например, фрезерование с последующей полировкой), но она должна быть одинаковой для всех образцов партии.

Если термообработку необходимо проводить после черновой обработки образцов, предпочтительно провести окончательную полировку после термообработки. Если это невозможно, термообработку следует проводить в вакууме или в среде инертного газа, чтобы предотвратить окисление образца. Такая обработка не должна изменять микроструктурных характеристик исследуемого материала. Вместе с результатами испытаний должны быть указаны особенности термообработки и механической обработки.

Чтобы избежать образования трещин на необработанных кромках, рекомендуется их скруглить с помощью полировки или, что предпочтительнее, обработать до заданного радиуса.

7.3.2.2 Изменение микроструктуры материала

Это явление может быть вызвано повышением температуры и/или деформационным упрочнением, вызванным механической обработкой. Изменение микроструктуры может быть связано с изменением фазового состава поверхности или с ее перекристаллизацией, что делает результат испытания недостоверным. Поэтому следует принять меры предосторожности, чтобы избежать этого риска.

При наличии предположений о возможном изменении микроструктуры материала необходимо выполнить металлографический анализ микроструктуры поверхности образца.

7.3.2.3 Внесение загрязняющих веществ

Механические свойства некоторых материалов ухудшаются в присутствии определенных элементов или соединений. Примером этого может служить воздействие хлора на сталь и титановые сплавы. Поэтому следует избегать использования этих элементов в применяемых продуктах (смазочно-охлаждающих жидкостях и т. д.). Также рекомендуется промывать и обезжиривать образцы перед хранением.

7.3.3 Отбор образцов и маркировка

Отбор образцов может оказать существенное влияние на результаты, полученные в процессе проведения испытания. При необходимости в протоколе испытания могут быть указаны:

- зоны вырезки каждого образца из заготовок;
- характерные направления, в которых обрабатывались заготовки (направление прокатки, экструзии и т. д., в зависимости от технологии);
- маркировка каждого из образцов.

На образцах должна быть нанесена маркировка на каждом этапе их подготовки. Маркировка может быть нанесена любым способом, обеспечивающим ее сохранность во время механической обработки и не влияющим на качество испытания.

Перед испытанием маркировка должна быть нанесена на каждом торце образца.

7.3.4 Проверка размеров

Размеры должны быть измерены по завершении заключительного этапа механической обработки с использованием метода и инструментов, не влияющих на результаты испытания.

7.3.5 Хранение и обращение

После подготовки образцы следует хранить таким образом, чтобы предотвратить риск их повреждения (царапины при контакте, окисление и т. д.). Рекомендуется использовать индивидуальные контейнеры. В некоторых случаях их необходимо хранить в вакууме или в эксикаторе, заполненном силикагелем.

Обращение с образцами должно быть сведено к необходимому минимуму.

8 Аппаратура

8.1 Испытательная машина

8.1.1 Введение

Испытания проводят на машине растяжения-сжатия. Машина должна обладать достаточной поперечной жесткостью и точной регулировкой.

Машина и ее системы управления и измерения должны регулярно поверяться.

В частности, каждый датчик и связанная с ним электроника должны всегда поверяться как единое целое.

8.1.2 Датчик усилия

Характеристики датчика усилия должны соответствовать нагрузкам, приложенным во время испытания. Усилия, зарегистрированные на выходе компьютера в автоматизированной системе или на конечном выходном регистрирующем устройстве в любой неавтоматизированной системе, должны находиться в пределах допустимого отклонения. Параметры тензодатчиков должны быть достаточными для охвата диапазона усилий, измеренных в ходе испытания, с погрешностью не более 1 % от показаний. Тензодатчики должны быть оснащены системой температурной компенсации и не должны иметь смещения нуля или изменения чувствительности более чем на 0,002 % от полной шкалы на 1 °C.

Силоизмерительная система испытательной машины должна быть проверена статически в соответствии с ИСО 7500-1, класс 1. Динамические погрешности измерения усилия не должны превышать ±1 % от требуемого диапазона усилий.

Примечание 1 — Необходимо понимать значимость динамических погрешностей (погрешности силы инерции), обусловленных массой, находящейся между датчиком усилия и испытуемым образцом. Погрешность силы инерции равна массе захвата, умноженной на его локальное ускорение.

Испытательная машина со специальным датчиком усилия, захватами и муфтами, используемыми для динамических испытаний, и тензометрическим образцом или динамометром, которые соответствуют требованиям испытуемых образцов, должна быть проверена на предмет измерения динамической нагрузки в интересующем диапазоне частот.

Примечание 2 — Чтобы избежать динамических погрешностей, превышающих ±1 % от диапазона усилий, может потребоваться создать таблицу ошибок для корректировки диапазона динамических нагрузок испытательной машины (ИСО 4965-1 и ИСО 4965-2).

8.1.3 Датчик перемещения

Если испытания проводят с контролем перемещения, система измерения перемещения должна быть откалибрована в соответствии с ASTM E2309, класс 1.

8.1.4 Счетчик циклов

Испытательная машина должна быть оснащена системой подсчета циклов с точностью до 1 % и системой аварийного отключения в случае разрушения образца.

8.1.5 Контрольно-измерительные приборы для контроля испытаний

Оборудование для испытания на усталость, как правило, оснащено цифровой системой сбора данных. Базовые программные платформы, используемые в современных цифровых системах, обеспечивают точное управление процессом испытания, а также формирование отчета. Как правило, они обеспечивают отображение данных испытания в цифровом или аналоговом формате в режиме реального времени, а также представление и хранение результатов испытания в виде таблиц и графиков.

Частота дискретизации точек измерения «усилие — время» цифровой системы должна быть достаточной для обеспечения правильного определения максимальных нагрузок, воздействующих на образец.

Минимальными требованиями для аналоговой системы регистрации данных следует считать наличие:

- устройства записи графиков «усилие — время»;
- пикового детектора.

8.1.6 Система антиповорота

Для обеспечения выравнивания двух частей испытательного устройства в течение всего периода испытания испытательная машина должна быть оснащена системой антиповорота, предотвращающей вращение захватов относительно вертикальной оси.

8.2 Испытательное устройство

Общая схема устройства для проведения испытаний на 4-точечный изгиб представлена на рисунке 3.

Устройство должно обеспечивать точную установку образца.

Основные требования к роликам:

- твердость роликов должна превышать 50 HRC, чтобы избежать пластической деформации их поверхности в зонах контакта;
- их ширина должна быть больше ширины образца;
- их диаметр должен соответствовать требованиям, приведенным в 7.2;
- диаметр роликов не должен быть слишком маленьким, чтобы избежать образования вмятин в образце;
- взаимное расположение (параллельность) роликов должно соответствовать требованиям к однородности напряжений (см. раздел 10).

Примечание — Диаметры роликов попарно (верхние и нижние), как правило, имеют одинаковые значения.

9 Расчет напряжений

9.1 Введение

Испытательное напряжение рассчитывают в соответствии с формулами (4) и (5)

$$\sigma = \frac{M}{I} d_{\text{nba}}, \tag{4}$$

$$M = \frac{F(d_2 - d_1)}{4}. \quad (5)$$

9.2 Прямоугольное поперечное сечение образца

9.2.1 Прямой угол

$$I = \frac{w\delta^3}{12}, \quad (6)$$

$$d_{\text{nba}} = \frac{\delta}{2}. \quad (7)$$

9.2.2 Скругленный угол

$$I = \frac{w\delta^3}{12} - r_c^2\left(\frac{4r_c^2}{3} + \delta^2 - 2\delta r_c\right) + 2r_c^2\left[\frac{\pi r_c^2}{8} - \frac{8r_c^2}{9\pi} + \frac{\pi}{2}\left(\frac{4r_c}{3\pi} + \frac{\delta}{2} - r_c\right)^2\right], \quad (8)$$

$$d_{\text{nba}} = \frac{\delta}{2}. \quad (9)$$

9.3 Скошенное поперечное сечение

$$S = w\delta - \frac{(\delta - \delta_1)(w - w_1)}{2}, \quad (10)$$

$$I = \frac{(w - w_1)\left(\delta^3 + \delta^2\delta_1 + \delta\delta_1^2 + \delta_1^3\right)}{12} + \frac{w_1\delta^3}{3} - S(\delta - d_{\text{nba}})^2, \quad (11)$$

$$d_{\text{nba}} = \delta - \frac{1}{S}\left[\frac{(w - w_1)\left(\delta^2 + \delta_1^2 + \delta\delta_1\right)}{3} + \frac{w_1\delta^2}{2}\right]. \quad (12)$$

10 Проверка однородности напряжений

10.1 Принцип проверки

Неоднородность напряжений, как правило, обусловлена относительным смещением роликов, возникающим из-за несоосности испытательного устройства или его геометрических недостатков.

Однородность напряжений должна проверяться перед каждой серией испытаний или при каждом изменении амплитуды нагрузки с помощью специального устройства для определения однородности напряжений.

Устройства для определения однородности напряжений представляет собой образец, геометрия и материал которого должны быть как можно более близкими к тем, из которых изготовлены испытательные образцы.

Четыре тензодатчика (два комплекта по две штуки) должны быть пронумерованы и расположены на поверхности растяжения, как показано на рисунке 6. Все тензодатчики должны быть из одной партии. Рекомендуется, чтобы их активная длина составляла приблизительно $0{,}1d_1$ или менее.

10.2 Метод измерения

1) Помещают образец с тензодатчиками в испытательное устройство и дают тензодатчикам стабилизироваться при включенном питании в течение не менее 30 мин.

2) Устанавливают устройство для определения однородности напряжений в испытательное устройство таким образом, чтобы расстояние между тензодатчиками и прижимными роликами составляло приблизительно $0{,}25d_1$.

3) Обнуляют тензодатчики.

4) Прикладывают 10 последовательных нагрузок с равными интервалами до максимальной расчетной нагрузки и фиксируют соответствующие показания тензодатчиков. Полностью сбрасывают нагрузку.

10.3 Расчеты

Степень однородности напряжений для каждого *i*-го цикла нагружения определяют по формуле (13)

$$\beta_{hi} = \max_{(j=1,\ ...,\ 4)}\left(\frac{\varepsilon_j - \varepsilon_{mean}}{\varepsilon_{mean}}\right), \tag{13}$$

где ε_1, ε_2, ε_3, ε_4 — показания тензодатчиков.

$$\varepsilon_{mean} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4}. \tag{14}$$

За общую однородность напряжений принимают максимальное значение однородности напряжений при 10 уровнях нагрузки.

Для проведения достоверных измерений необходимо обеспечить их повторяемость при переустановке образца в испытательном устройстве.

Для этого рассчитывают среднее значение и стандартное отклонение, полученные в результате пяти измерений однородности напряжений при максимальной нагрузке. Для обеспечения удовлетворительной повторяемости значение стандартного отклонения не должно превышать 5 % от среднего значения.

11 Процедура испытания

11.1 Установка испытательного устройства

Испытательное устройство должно быть установлено таким образом, чтобы обеспечить параллельность поверхности образца и нагружающих поверхностей устройства, а также четкую фиксацию положения роликов. Наиболее простой способ обеспечить это — использовать специальный образец с V-образными канавками, соответствующими положению роликов (см. рисунок 7).

Вращение частей испытательного устройства недопустимо.

11.2 Установка образца

Необходимо обеспечить симметричное расположение испытуемого образца относительно нагружающих поверхностей как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Во время установки образца необходимо следить за тем, чтобы на испытуемой поверхности не было следов или царапин.

11.3 Частота нагружения

Частота цикла приложения нагрузки зависит от типа используемой испытательной машины и, во многих случаях, от жесткости испытуемого образца.

Частота должна быть выбрана в соответствии с конкретным сочетанием материала испытуемого образца и испытательной машины. Если частоты определяют на основе динамических характеристик испытуемого образца и испытательной машины, то перед началом испытания может возникнуть необходимость в измерении жесткости испытуемого образца.

Примечание — Диапазон частот широко используемых машин для испытания на усталость с регулируемым осевым усилием составляет от 1 до 100 Гц.

При высоких частотах может происходить значительный нагрев образца, что может повлиять на результаты испытания на усталостный ресурс и прочность. Если происходит нагрев, рекомендуется уменьшить частоту испытания. Если температура образца превышает 35 °С, необходимо зарегистрировать температуру в протоколе испытаний.

11.4 Использование регулируемой нагрузки или перемещения

Процедура испытания должна обеспечивать одинаковое количество циклов для достижения заданных условий испытаний для каждого образца. Это количество не должно превышать 1 % от усталостного ресурса образца.

При испытаниях с регулируемой нагрузкой средняя нагрузка должна поддерживаться в пределах ±1 % от диапазона нагрузки.

При испытаниях с регулируемым перемещением среднее перемещение должно поддерживаться в пределах ±1 % от диапазона перемещения.

11.5 Температура и влажность

Испытание, как правило, проводят при комнатной температуре окружающей среды (от 10 °С до 35 °С). Максимальная и минимальная температура и влажность воздуха должны регистрироваться ежедневно для каждой серии испытаний.

11.6 Критерий разрушения и прекращения испытания

11.6.1 Критерий разрушения

Если не оговорено иное, критерием разрушения является разделение испытуемого образца на две части.

В конкретных случаях могут применяться другие критерии, такие как наличие видимой усталостной трещины, пластическая деформация испытуемого образца или скорость распространения трещины, но они должны быть одинаковыми для всех образцов партии.

11.6.2 Завершение испытания

Испытание прекращают после разрушения образца или проведения заданного количества циклов, согласованного с заказчиком испытаний.

11.7 Достоверность результатов испытания

Испытание считается недействительным, а результат не учитывают, если:

- разрушение происходит за пределами испытываемой зоны (т. е. за пределами внутренних роликов);
- трещина начинается с угла поперечного сечения.

12 Представление результатов испытания

Метод представления результатов (в графическом или ином виде) определяют в зависимости от задачи исследования и характера использования его результатов. Результаты испытания, как правило, представляют в графическом виде. При представлении результатов следует четко указывать условия испытания. В дополнение к графическому представлению желательно использовать числовые данные в виде таблиц, если это позволяет формат представления.

Более подробная информации приведена в ИСО 12107.

13 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать следующую информацию о серии испытаний, если таковая имеется:

a) ссылку на настоящий стандарт с указанием полного обозначения;

b) испытуемый материал, его металлургические характеристики, механические свойства и термическую обработку, которой подвергались образцы для испытаний;

c) схему вырезки образцов для испытаний из заготовки;

d) форму и номинальные размеры образцов для испытаний;

e) состояние поверхности испытуемого образца(ов);

f) исходные данные датчика усилия или перемещения;

g) исходные данные испытательного устройства;

h) характеристики устройства (L_1, L_2, D);

i) форму сигнала;

j) контролируемый параметр (нагрузка или перемещение);

k) частоту испытаний;

l) геометрию образца;

m) коэффициент асимметрии нагрузки;

n) критерий разрушения.

Протокол испытаний должен содержать следующую информацию по каждому отдельному образцу:

1) размеры образца;

2) для испытания с контролируемой нагрузкой — ее максимальное, минимальное значение, амплитуду;

3) результаты испытаний (усталостный ресурс, наличие или отсутствие повреждений образца, место возникновения трещины);

4) описание используемой испытательной машины: тип, серийный номер, тип и серийные номера тензодатчиков (или партии тензодатчиков), их количество и схему нагружения;

5) температуру испытуемого образца при нагреве выше 35 °С;

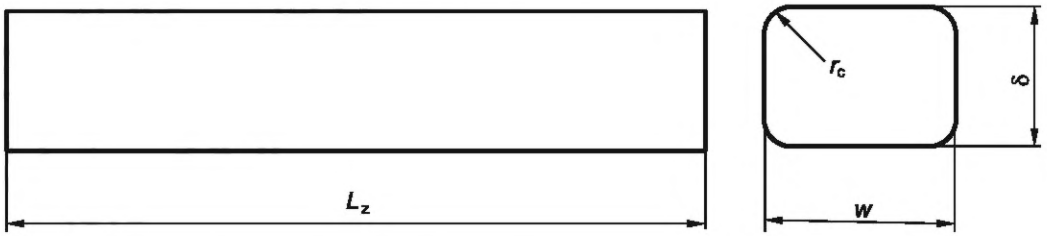
6) максимальную и минимальную температуру воздуха и относительную влажность;

7) отклонения от требуемых условий испытания;

8) дату проведения испытания.

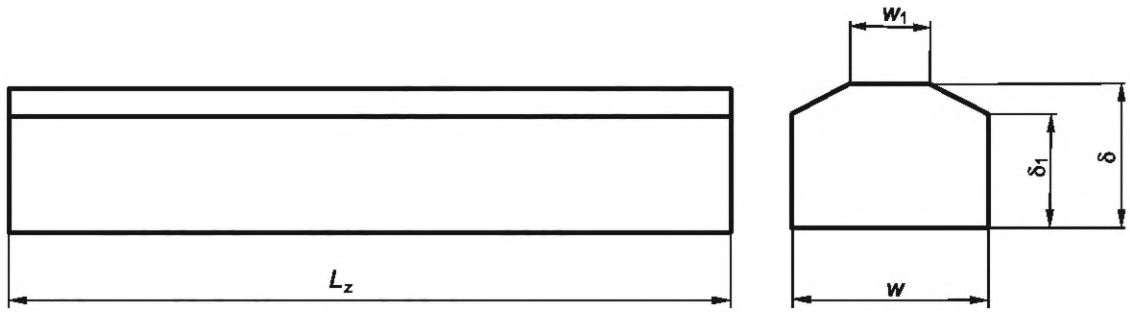
14 Неопределенность измерений

Анализ неопределенности измерений может быть использован для выявления существенных источников, которые могут вносить вклад в неопределенность результатов испытаний. Рекомендуется оценивать неопределенность в соответствии с протоколом, изложенным в [2].



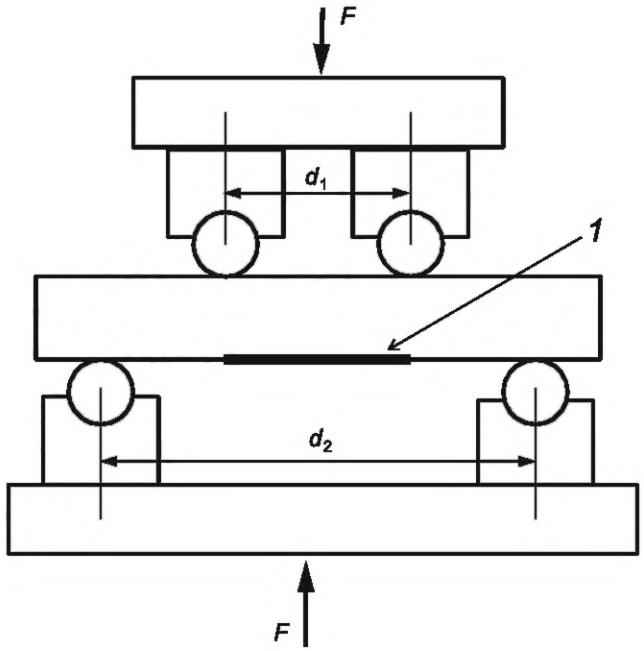
L_z — длина образца; w — ширина образца; δ — толщина образца; r_c — радиус скругления

Рисунок 1 — Геометрия образца прямоугольного поперечного сечения



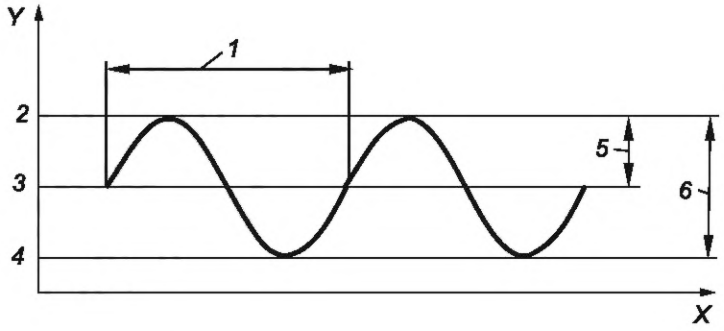
L_z — длина образца; w — ширина образца; δ — толщина образца; w_1 — ширина испытуемой зоны (см. 3.2); δ_1 — наименьшая толщина скошенного образца

Рисунок 2 — Геометрия образца со скошенным поперечным сечением [8]



1 — испытуемая поверхность; d_1 — расстояние между внутренними точками нагружения; d_2 — расстояние между внешними точками нагружения; *F* — приложенная сила

Рисунок 3 — Примерная схема испытательного устройства



X — время; *Y* — напряжение или нагрузка; *1* — один цикл напряжения; *2* — максимальное напряжение σ_{max}; *3* — среднее напряжение σ_m; *4* — минимальное напряжение σ_{min}; *5* — амплитуда напряжения σ_a; *6* — диапазон напряжений $\Delta\sigma$

Рисунок 4 — Циклы усталостного напряжения или нагрузки

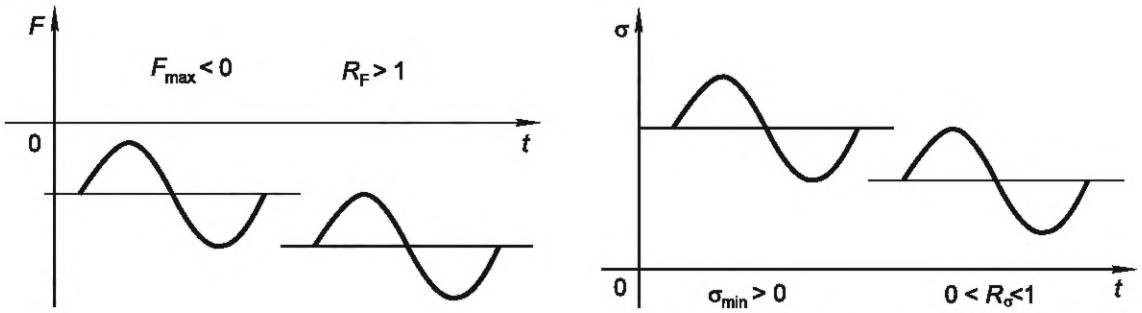
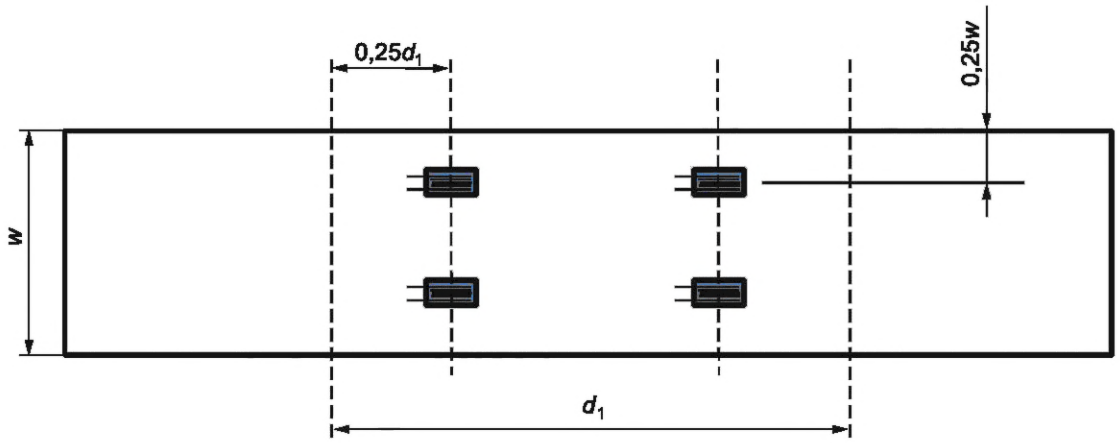


Рисунок 5 — Типы циклов нагрузки и напряжения



d_1 — расстояние между внутренними точками нагружения; w — ширина образца

Рисунок 6 — Положение датчиков для проверки образца на однородность

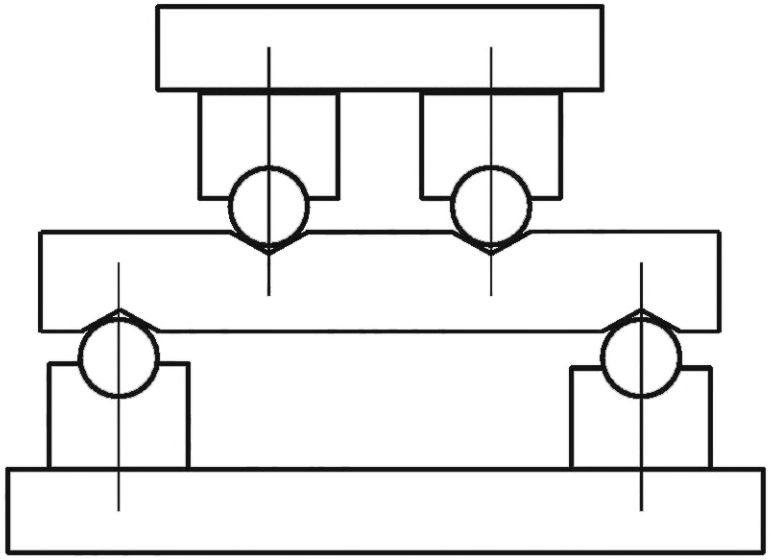
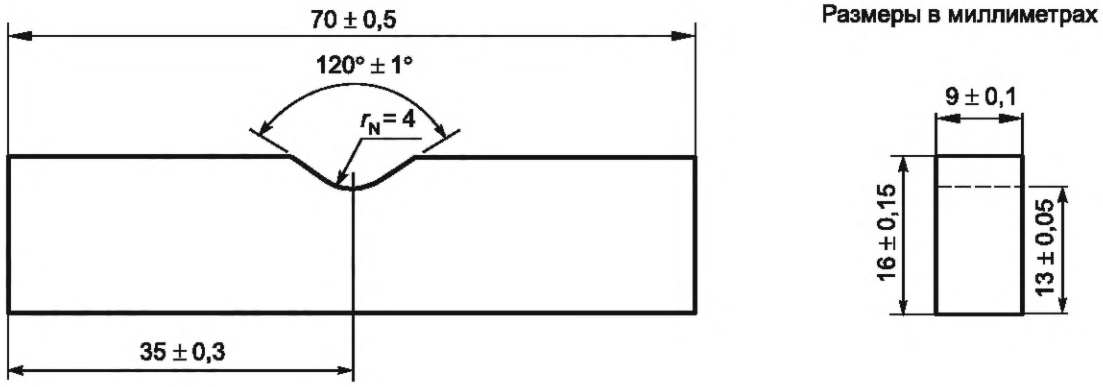


Рисунок 7 — Установочный блок с канавками для позиционирования роликов

Приложение А
(справочное)

Образцы с усталостными концентраторами напряжений

Образцы с усталостными концентраторами напряжений показаны на рисунках А.1 и А.2.



r_N — радиус концентратора напряжений

Рисунок А.1 — Образец прямоугольного поперечного сечения с концентратором напряжений

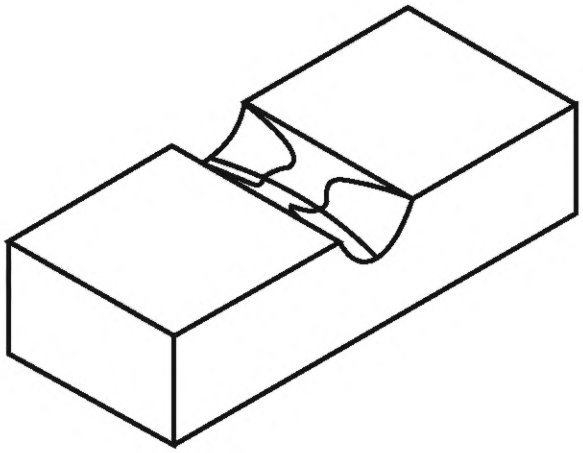


Рисунок А.2 — Образец со скошенным поперечным сечением и концентратором напряжений

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных стандартов национальным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ISO 7500-1	—	*
ASTM E2309/E2309M	—	*
* Соответствующий национальный стандарт отсутствует.		

Библиография

[1]	ISO 4287	Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Terms, definitions and surface texture parameters
[2]	ISO/IEC Guide 98-3	Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
[3]	ISO 554	Standard atmospheres for conditioning and/or testing — Specifications
[4]	ISO 4965-1	Metallic materials — Dynamic force calibration for uniaxial fatigue testing — Part 1: Testing systems
[5]	ISO 4965-2	Metallic materials — Dynamic force calibration for uniaxial fatigue testing — Part 2: Dynamic calibration device (DCD) instrumentation
[6]	ISO 23718	Metallic materials — Mechanical testing — Vocabulary
[7]	ISO 12107	Metallic materials — Fatigue testing — Statistical planning and analysis of data
[8]	EN 6072	Aerospace series — Metallic materials — Test methods — Constant amplitude fatigue testing

УДК 620.174:006.352 ОКС 77.040.10

Ключевые слова: испытание на усталость, плоский изгиб, напряжение, нагрузка, изгибающий момент, цикл напряжения, точки приложения нагрузки, коэффициент асимметрии цикла, испытательное устройство, усталостный ресурс

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 11.06.2025. Подписано в печать 17.06.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,90.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

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

gost.e-ecolog.ru