ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56664— 2015

Контроль неразрушающий

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ МЕТОДАМИ АКУСТОУПРУГОСТИ

Общие требования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АО «НИЦ КД») при участии Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 132 «Техническая диагностика»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 октября 2015 г. № 1615-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальны стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2016

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

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Обозначения и сокращения . . . 2
4 Общие положения . . . 4
5 Требования безопасности . . . 6
6 Требования к средствам измерений . . . 7
7 Требования к объектам контроля . . . 8
8 Порядок подготовки к проведению измерений . . . 8
9 Порядок проведения измерений и обработки результатов . . . 9
10 Правила оформления результатов измерений . . . 11
Приложение А (обязательное) Определение упругоакустических коэффициентов . . . 12
Приложение Б (обязательное) Определение термоакустических коэффициентов . . . 13
Приложение В (рекомендуемое) Форма протокола измерений . . . 14
Библиография . . . 15

Введение

Объективная оценка работоспособности и безопасности эксплуатирующихся ответственных технических объектов невозможна без оценки напряженного состояния, в котором находится их материал.

В огромном числе практически важных случаев расчетная оценка напряженного состояния технического объекта возможна лишь на стадии начала его эксплуатации, непосредственно после изготовления. Оценить напряженное состояние материала объекта в процессе его эксплуатации обычно можно лишь методом прямых (и в большинстве случаев разрушающих) измерений.

Одним из наиболее перспективных методов измерения механических напряжений в материале без его разрушения является акустический метод, основанный на упругоакустическом эффекте — линейной зависимости скорости распространения упругих волн от напряжений, надежное экспериментальное определение которой обеспечено благодаря наличию современной измерительной техники.

Существующие национальные стандарты, регламентирующие порядок использования акустического метода в задачах контроля напряженного состояния, посвящены общим требованиям к проведению измерений, а сами процедуры подготовки и проведения измерений изложены в них неполно.

Настоящий стандарт разработан в целях обеспечения методической основы широкого применения метода акустоупругости для определения одно- и двухосного напряженного состояния материала ответственных технических объектов как в процессе их изготовления и испытаний, так и в процессе реальной эксплуатации.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Контроль неразрушающий

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ МЕТОДАМИ АКУСТОУПРУГОСТИ

Общие требования

Non-destructive testing. Evaluation of stress state material engineering products by acoustoelastic methods. General requirements

Дата введения — 2016—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на акустический метод определения напряженного состояния материала изделий машиностроения с использованием метода акустоупругости.

Настоящий стандарт устанавливает основные требования к порядку определения одно- и двухосного напряженного состояния материала технических объектов, имеющих две плоскопараллельные поверхности в зоне измерений, с использованием объемных продольных и поперечных волн, распространяющихся нормально к поверхности технического объекта.

Устанавливаемый настоящим стандартом метод может быть применен как при лабораторных исследованиях, так и в стендовых и натурных условиях контроля напряженного состояния материала широкого класса технических объектов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 7.32—2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления

ГОСТ 12.1.001—89 Система стандартов безопасности труда. Ультразвук. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.004—91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.038—82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

ГОСТ 12.2.003—91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.013.0—91 Система стандартов безопасности труда. Машины ручные электрические. Общие требования безопасности и методы испытаний

ГОСТ 12.3.002—75 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности

ГОСТ 1497—84 (ИСО 6892—84) Металлы. Методы испытаний на растяжение

ГОСТ 2768—84 Ацетон технический. Технические условия

ГОСТ 2789—73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики

ГОСТ 6616—94 Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия

ГОСТ 10587—84 Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия

ГОСТ 17299—78 Спирт этиловый технический. Технические условия

Издание официальное

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

ГОСТ Р 8.563—2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений

ГОСТ Р 12.1.019—2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

ГОСТ Р 52731—2007 Контроль неразрушающий. Акустический метод контроля механических напряжений. Общие требования

ГОСТ Р 55043—2012 Контроль неразрушающий. Определение коэффициентов упруго-акустической связи. Общие требования

ГОСТ Р 55725—2013 Контроль неразрушающий. Преобразователи ультразвуковые пьезоэлектрические. Общие технические требования

ГОСТ Р ИСО 5725-2—2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений

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

3 Обозначения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены следующие условные обозначения:

h — толщина материала объекта контроля, мм;

V_{ik} — скорость распространения упругой волны с волновым вектором, направленным в i направлении и с вектором поляризации, направленным в k направлении (значения $i = k$ соответствуют продольным волнам, значения $i \neq k$ — поперечным), м/с;

t_{ik} — задержка импульса упругой волны, распространяющейся со скоростью V_{ik}, нс;

β_{ikln} — акустоупругие коэффициенты скорости, 1/МПа;

α_{ikln} — акустоупругие коэффициенты задержки, 1/МПа;

$f_э$ — эффективная частота ультразвуковых импульсов, МГц;

σ_{02} — условный предел текучести материала объекта контроля, МПа;

σ_1, σ_2 — главные напряжения, действующие в материале объекта контроля, МПа;

T_0 — температура объекта контроля в зоне измерений при отсутствии напряжений, °С;

T — температура объекта контроля в зоне измерений при действии напряжений, °С;

V_l — скорость распространения упругих продольных волн в материале объекта контроля, м/с;

V_t — скорость распространения упругих поперечных волн в материале объекта контроля, м/с;

m_1 — номер отраженного импульса упругих поперечных волн, поляризованных в направлении текстуры материала;

m_2 — номер отраженного импульса упругих поперечных волн, поляризованных в направлении, перпендикулярном к текстуре материала;

m_3 — номер отраженного импульса упругих продольных волн;

n_1 — число повторных измерений при определении задержки импульса упругих поперечных волн, поляризованных в направлении текстуры материала, при действии напряжений;

n_2 — число повторных измерений при определении задержки импульса упругих поперечных волн, поляризованных в направлении, перпендикулярном к текстуре материала, при действии напряжений;

n_3 — число повторных измерений при определении задержки импульса упругих продольных волн при действии напряжений;

$T(m_1)$ — длительность развертки, обеспечивающая визуализацию m_1 отраженных импульсов упругих поперечных волн, поляризованных в направлении текстуры материала, мкс;

$T(m_2)$ — длительность развертки, обеспечивающая визуализацию m_2 отраженных импульсов упругих поперечных волн, поляризованных в направлении, перпендикулярном к текстуре материала, мкс;

$T(m_3)$ — длительность развертки, обеспечивающая визуализацию m_3 отраженных импульсов упругих продольных волн, мкс;

Δt — предельно допустимая абсолютная погрешность измерения временных интервалов используемых средств измерений, нс;

δt — предельно допустимая относительная погрешность измерения временных интервалов используемых средств измерений;

$t_1^0(i)$ — задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами m_1^0 относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в направлении текстуры материала при отсутствии напряжений после n_1^0 повторных измерений, нс, $i = 1 \ldots n_1^0$;

t_1^0 — среднее значение задержки отраженного импульса поперечной волны с номером m_1^0 относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в направлении текстуры материала при отсутствии напряжений, нс;

δ_1^0 — коэффициент вариации значений $t_1^0(i)$;

$t_1(i)$ — задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами m_1 относительно первого отраженного импульса при поляризации в направлении текстуры материала при действии напряжений после n_1 повторных измерений, нс, $i = 1 \ldots n_1$;

t_1 — среднее значение задержки отраженного импульса поперечной волны с номером m_1 относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в направлении текстуры материала при действии напряжений, нс;

δ_1 — коэффициент вариации значений $t_1(i)$;

$\tilde{t}_1^0$ — значение задержки t_1^0, приведенное к температуре 20 °С, нс;

$\tilde{t}_1$ — значение задержки t_1, приведенное к температуре 20 °С, нс;

$t_2^0(i)$ — задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами m_2^0 относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в направлении, перпендикулярном к текстуре материала, после n_2^0 повторных измерений, нс, $i = 1 \ldots n_2^0$;

t_2^0 — среднее значение задержки отраженного импульса поперечной волны с номером m_2^0 относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в направлении, перпендикулярном к текстуре материала, при отсутствии напряжений после n_2^0 повторных измерений, нс;

δ_2^0 — коэффициент вариации значений $t_2^0(i)$;

$t_2(i)$ — задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами m_2 относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в направлении, перпендикулярном к текстуре материала, при действии напряжений после n_2 повторных измерений, нс, $i = 1 \ldots n_2$;

t_2 — среднее значение отраженного импульса поперечной волны с номером m_2 относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в направлении, перпендикулярном к текстуре материала, при действии напряжений, нс;

δ_2 — коэффициент вариации значений $t_2(i)$,

$\vec{t}_2^0$ — значение задержки t_2^0, приведенное к температуре 20 °С, нс;

$\vec{t}_2$ — значение задержки t_2, приведенное к температуре 20 °С, нс;

$t_3^0(i)$ — задержки отраженных импульсов продольной волны с номерами m_3^0 относительно первого отраженного импульса при отсутствии напряжений после n_3^0 повторных измерений, нс, $i = 1 \ldots n_3^0$;

t_3^0 — среднее значение отраженного импульса продольной волны с номером m_3^0 относительно первого отраженного импульса при отсутствии напряжений, нс;

δ_3^0 — коэффициент вариации значений $t_3^0(i)$;

$t_3(i)$ — задержки отраженных импульсов продольной волны с номерами m_3 относительно первого отраженного импульса при действии напряжений после n_2 повторных измерений, нс, $i = 1 \ldots n_3$;

t_3 — среднее значение задержки отраженного импульса продольной волны с номером m_3 относительно первого отраженного импульса при действии напряжений, нс;

δ_3 — коэффициент вариации значений $t_3(i)$;

$\vec{t}_3^0$ — значение задержки t_3^0, приведенное к температуре 20 °С, нс;

$\vec{t}_3$ — значение задержки t_3, приведенное к температуре 20 °С, нс;

a_1, a_2, a_3, a_4 — акустоупругие коэффициенты, 1/МПа;

k_1, k_2, k_3, k_4 — упругоакустические (тензометрические) коэффициенты, МПа;

k_{Tl}, k_{Ts} — термоакустические коэффициенты, 1/град:

k_{Tl} — относительное изменение скорости продольной упругой волны при изменении температуры на 1 градус;

k_{Ts} — то же для поперечной волны.

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ОК — объект контроля;

НС — напряженное состояние;

СИ — средство измерений;

УИ — ультразвуковой импульс;

ЭАП — электроакустический преобразователь;

ПЭП — пьезоэлектрический преобразователь;

ЭМАП — электромагнитноакустический преобразователь;

КУАС — коэффициенты упругоакустической связи.

4 Общие положения

4.1 Измерения напряжений в точке контроля выполняют методом акустоупругости в соответствии с общими требованиями ГОСТ Р 52731.

4.2 Направление распространения волн — перпендикулярно к плоскости действия измеряемых напряжений.

4.3 Схема прозвучивания материала соответствует эхо-методу ультразвукового контроля. Способ возбуждения упругих колебаний — контактный или бесконтактный в зависимости от используемого ЭАП. Рекомендуемы вид излучаемого сигнала — «радиоимпульс» с высокочастотным (ультразвуковым) заполнением, плавной огибающей и эффективной длительностью (на уровне 0,6 от максимальной амплитуды) от 2 до 4 периодов основной частоты.

4.4 Излучение и прием акустических сигналов проводится с помощью приемо-передающих (совмещенных) ЭАП продольных и поперечных волн.

Примечание — В качестве ЭАП могут быть использованы ПЭП по ГОСТ Р 55725 или специально разработанные ЭМАП.

4.5 Измеряемые напряжения являются усредненными по объему ультразвукового пучка, определяемого поперечными размерами ЭАП и толщиной материала. Как правило, это главные напряжения

в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения волн. Величины напряжений отсчитываются от тех их значений, которые соответствуют начальным значениям акустических параметров, измеренным до возникновения напряжений.

4.6 Сложившиеся к настоящему времени подходы к контролю механических напряжений в материале акустическим методом обычно базируются на общих соотношениях акустоупругости [1]—[3].

Соответствующие уравнения связи скорости и времени распространения упругих объемных волн различной поляризации с действующими напряжениями в рамках матричной теории акустоупругости при отсутствии внешних тепловых и электромагнитных воздействий имеют обычный для линеаризованных соотношений вид:

$$\delta V_{ik} = \beta_{iklm}(\sigma_{lm} - \sigma^0_{lm}), \tag{1}$$

$$\delta t_{ik} = \alpha_{iklm}(\sigma_{lm} - \sigma^0_{lm}), \tag{2}$$

где σ_{lm}, σ^0_{lm} — тензор напряжений в момент измерения и тензор начальных напряжений соответственно;
δV_{ik}, δt_{ik} — относительные изменения скорости и времени распространения упругих волн:

$$\delta V_{ik} = \frac{V_{ik} - V^0_{ik}}{V^0_{ik}}, \tag{3}$$

$$\delta t_{ik} = \frac{t_{ik} - t^0_{ik}}{t^0_{ik}}, \tag{4}$$

где V_{ik} и t_{ik} соответствуют напряжениям σ_{lm}, V^0_{ik} и t^0_{ik} — начальным напряжениям σ^0_{lm}.

В отсутствие начальных напряжений уравнения (1), (2) приобретают вид:

$$\delta V_{ik} = \beta_{iklm}\,\sigma_{lm}, \tag{5}$$

$$\delta t_{ik} = \alpha_{iklm}\,\sigma_{lm}. \tag{6}$$

4.7 Инженерные методики контроля напряжений с использованием наиболее распространенного акустического эхо-импульсного метода обычно базируются на измерениях временных интервалов между многократно отраженными импульсами упругих волн различной поляризации. В этой связи акустоупругие соотношения типа (6) представляются более предпочтительными.

4.8 Наиболее строгий подход к построению инженерных соотношений акустоупругости, базирующихся на измерении временных интервалов, предложен в работе [4], в которой на основе базовых уравнений (5) для случая плоского НС с главными напряжениями σ_1, σ_2 в плоскости, перпендикулярной направлению распространения упругих волн, получены выражения, связывающие напряжения с задержками импульсов упругих волн двух типов: продольных и поперечных, поляризованных вдоль главных напряжений.

4.9 Материал большинства изделий машиностроения можно считать ортотропным. Если оси анизотропии материала считать направленными вдоль осей декартовых координат *x* и *y* соответственно, то волновой вектор для используемых объемных волн будет по направлению совпадать с осью *z*. Главные напряжения — продольное σ_1 и поперечное σ_2 — лежат в плоскости $z = 0$ и направлены вдоль осей *x* и *y* соответственно.

4.10 Формулы для расчета σ_1 и σ_2 имеют вид:

$$\sigma_1 = k_1\,\delta d_1 + k_2\,\delta d_2, \tag{7}$$

$$\sigma_2 = k_3\,\delta d_1 + k_4\,\delta d_2, \tag{8}$$

где $\delta d_1 = \frac{d_1 - d_1^0}{d_1^0}, d_1 = \frac{t_1}{t_3}, d_1^0 = \frac{t_1^0}{t_3^0}, \delta d_2 = \frac{d_2 - d_2^0}{d_2^0}, d_2 = \frac{t_2}{t_3}, d_2^0 = \frac{t_2^0}{t_3^0}$.

Тензометрические [3] или упругоакустические [4] коэффициенты рассчитываются по формулам:

$$k_1 = \frac{\alpha_4}{\alpha_1\alpha_4 - \alpha_2\alpha_3}, \tag{9}$$

$$k_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1\alpha_4 - \alpha_2\alpha_3}, \quad (10)$$

$$k_3 = \frac{\alpha_3}{\alpha_1\alpha_4 - \alpha_2\alpha_3}, \quad (11)$$

$$k_4 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1\alpha_4 - \alpha_2\alpha_3}. \quad (12)$$

Входящие в формулы (9)—(12) параметры α_1, α_2, α_3, α_4 выражаются через акустоупругие коэффициенты β_{ikln} следующим образом:

$$\alpha_1 = \beta_{3311} - \beta_{3111} = \beta_{3322} - \beta_{3111}, \quad (13)$$

$$\alpha_2 = \beta_{3311} - \beta_{3122} = \beta_{3322} - \beta_{3122}, \quad (14)$$

$$\alpha_3 = \beta_{3311} - \beta_{3211} = \beta_{3322} - \beta_{3211}, \quad (15)$$

$$\alpha_4 = \beta_{3311} - \beta_{3222} = \beta_{3322} - \beta_{3222}. \quad (16)$$

4.11 В том случае, когда материал ОК в соответствии с ГОСТ Р 52731 является акустически изотропным, для акустоупругих коэффициентов справедливы равенства:

$$\alpha_1 = \alpha_4, \quad (17)$$

$$\alpha_2 = \alpha_3. \quad (18)$$

4.12 Тензометрические (упругоакустические) коэффициенты для акустически изотропного материала вычисляются по формулам:

$$k_1 = k_4 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1^2 - \alpha_2^2}, \quad (19)$$

$$k_2 = k_3 = -\frac{\alpha_2}{\alpha_1^2 - \alpha_2^2}. \quad (20)$$

4.13 Тензометрические коэффициенты (КУАС), применяемые для расчета напряжений по измеренным акустическим задержкам, должны быть определены с максимально допустимой относительной погрешностью ± 10 %. Экспериментальное определение КУАС проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 55043 и приложения А настоящего стандарта.

4.14 Формулы для расчета σ_1 и σ_2 в случае акустически изотропного материала имеют вид:

$$\sigma_1 = k_1 \delta d_1 + k_2 \delta d_2, \quad (21)$$

$$\sigma_2 = k_2 \delta d_1 + k_1 \delta d_2. \quad (22)$$

4.15 Влияние температуры на результаты измерения двухосных напряжений учитывают с помощью термоакустических коэффициентов, порядок определения которых приведен в приложении Б.

4.16 Рекомендуемый настоящим стандартом метод может служить основой для составления методики выполнения измерений по ГОСТ Р 8.563.

4.17 При разработке методики выполнения измерений необходима ее верификация на основании представительной базы испытанных ОК.

5 Требования безопасности

5.1 К выполнению измерений НС допускают операторов, обладающих навыками эксплуатации оборудования ультразвукового контроля, умеющих пользоваться национальными и отраслевыми нормативными и техническими документами по акустическим методам контроля, прошедших обучение работе с применяемыми СИ и аттестованных на знание правил безопасности в соответствующей отрасли промышленности.

5.2 При определении НС оператор должен руководствоваться ГОСТ 12.1.001, ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.3.002 и правилами технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей по ГОСТ Р 12.1.019 и ГОСТ 12.1.038.

5.3 Измерения проводят в соответствии с требованиями безопасности, указанными в инструкции по эксплуатации аппаратуры, входящей в состав используемых СИ.

5.4 Помещения для проведения измерений должны соответствовать требованиям [5] и [6].

5.5 При организации работ по определению НС ОК должны быть соблюдены требования пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004.

6 Требования к средствам измерений

6.1 В качестве СИ могут быть использованы установки, собранные из серийной аппаратуры, и специализированные приборы для определения временных интервалов между многократно отраженными УИ, распространяющимися в материале ОК, сертифицированные и поверяемые в установленном порядке.

6.2 СИ должны обеспечивать проведение измерений эхо-методом с использованием УИ с плавной огибающей.

6.3 СИ должны обеспечивать возможность излучения и приема УИ с эффективной частотой от 2,5 до 10 МГц.

6.4 В комплект СИ должны входить прямые совмещенные или раздельно-совмещенные ЭАП, обеспечивающие излучение и прием импульсов продольных и поперечных упругих волн, распространяющихся по нормали к поверхности ОК.

Примечание — В качестве прямых совмещенных ПЭП поперечных волн могут использоваться преобразователи фирмы Panametrics (США).

6.5 Документация СИ должна содержать методику выполнения измерений, а также документы, устанавливающие:

- назначение и область применения СИ;
- состав и основные характеристики средств аппаратного и программного обеспечения, включая погрешности измерения параметров УИ;
- методы и средства достижения совместимости СИ, в том числе информационной, электрической, энергетической, программной, конструкторской, эксплуатационной.

6.6 Описание функциональных возможностей СИ в эксплуатационных, конструкторских и программных документах должно отражать характеристики аппаратного и программного обеспечения.

6.7 Эксплуатационные характеристики СИ должны соответствовать требованиям технических условий и настоящего стандарта.

6.8 Требования к программному обеспечению средств измерений

6.8.1 Программное обеспечение СИ должно обеспечивать возможность выбора любого отраженного УИ и поиск необходимых отсчетных точек профиля импульсов.

6.8.2 Программное обеспечение должно учитывать условия проведения акустических измерений на ОК, в частности температурный режим.

6.8.3 Первичная акустическая информация для каждой точки измерений должна постоянно храниться на внешних носителях, защищенных от несанкционированного доступа.

6.9 Вспомогательные устройства и материалы

6.9.1 Термопреобразователь поверхностный типа ТПП 13 или ТПП 10 по ГОСТ 6616 для измерения температуры поверхности ТД.

6.9.2 При использовании ПЭП требуются:

- шлифовальный инструмент для подготовки поверхности по ГОСТ 12.2.013.3;
- обезжиривающая жидкость (спирт по ГОСТ 17299 или ацетон по ГОСТ 2768) для подготовки поверхности;
- контактная жидкость.

7 Требования к объектам контроля

7.1 Толщина материала ОК в точках измерения НС должна быть не менее 2 мм.

7.2 Перед установкой ЭАП поверхность очищают от грязи, окалины, ржавчины и обезжиривают.

7.3 Класс шероховатости поверхности в точке измерений при использовании ПЭП — не ниже *Ra* 2,5 (ГОСТ 2789).

Примечание — При использовании ПЭП метод не обеспечивает требуемую точность определения НС, если шероховатость поверхности ОК *Ra* превышает 2,5 мкм по ГОСТ 2789.

7.4 Расстояние от точки измерения до сварных швов ОК — не менее удвоенной толщины материала ОК.

7.5 При использовании ПЭП вязкость контактной жидкости при температуре измерения должна соответствовать вязкости эпоксидной смолы при температуре 25 °С: от 12 до 25 Па с (по ГОСТ 10587).

7.6 Дополнительные факторы, влияющие на точность измерений НС

7.6.1 Шероховатость внутренней (отражающей) поверхности или наличие на ней тонкого твердого слоя покрытия.

7.6.2 Значительная объемная неоднородность материала в области прозвучивания, приводящая к дисперсии упругих волн и дополнительному их затуханию.

7.6.3 Дополнительные отражающие поверхности, возникающие по причине слоистости материала в области прозвучивания (наличие плоских дефектов основного металла).

7.6.4 Характеристики факторов, указанных в 7.6.1—7.6.3, не определяются количественно. Их комплексное влияние оценивается по соответствию характеристик отраженных акустических импульсов требованиям настоящего стандарта.

8 Порядок подготовки к проведению измерений

8.1 Изучают сертификаты на материал ОК.

8.2 На основании технической документации на ОК определяют значения h в точках измерений.

8.3 На основании справочных данных или экспериментально определяют величины V_l и V_t.

8.4 Выбирают ЭАП, $f_э$ которого в зависимости от h имеет следующие значения:

- 10 МГц при h от 2 до 3 мм;
- 5 МГц при h от 3 до 10 мм;
- 2,5 МГц при h более 10 мм.

8.5 Определяют расположение точек измерений.

8.6 Приводят состояние поверхности в выбранных точках в соответствие условиям проведения измерений (см. 7.2—7.3).

8.7 Наносят при необходимости слой контактной жидкости на подготовленную поверхность ОК.

8.8 Устанавливают ЭАП на поверхность ОК, подключают их СИ.

8.9 Включают СИ, проверяют его работоспособность, выводя на экран видеоконтрольного устройства временную развертку принимаемых сигналов.

8.10 На экране видеоконтрольного устройства без значительных видимых искажений должны наблюдаться многократно отраженные УИ.

8.11 Проверяют отсутствие на временной развертке дополнительных импульсов, вызванных либо наличием в области измерения дополнительных отражающих поверхностей (допустимых по условиям эксплуатации ОК дефектов — слоев, включений и т. п., обнаруженных методами ультразвуковой дефектоскопии), либо неправильной ориентацией преобразователя поперечных колебаний относительно осей симметрии материала ОК.

8.12 Рассчитывают минимальные значения развертки, обеспечивающей визуализацию необходимого количества отраженных УИ и измерение их задержек с заданной относительной погрешностью δt по формуле:

$$T_m = T(m_1) = T(m_2) = T(m_3) = \frac{\Delta t}{\delta t} + t_э, \qquad (23)$$

где $t_э$ — аппаратная задержка зондирующего импульса, мкс, определяемая техническими характеристиками используемого СИ.

Обычно значение δt не должно превышать 10^{-4}.

8.13 Получают осциллограммы сигналов при использовании ЭАП упругих поперечных волн, поляризованных в направлении текстуры материала, при значении развертки T_m.

Примечание — Для изотропного материала при двухосном НС ЭАП устанавливают направлением поляризации вдоль σ_1.

8.14 Оценивают отношение амплитуды УИ с номером m_1 к среднему значению уровня шума. Если это отношение превышает 10 дБ, то проведение измерений с заданной относительной погрешностью считается возможным.

8.15 Если отношение «сигнал — шум» для УИ с номером m_1 менее 10 дБ, то последовательно уменьшают значение m_1 на единицу до тех пор, пока значение отношения «сигнал — шум» не станет больше 10 дБ.

8.16 Рассчитывают фактическую относительную погрешность определения задержек УИ по формуле:

$$\delta t_1^* = \frac{v_1 \Delta t}{m_1 h}, \tag{24}$$

после чего принимают решение о проведении измерений с пониженной по сравнению с δt погрешностью или замене используемого СИ на более точное, обеспечивающие выполнение соотношения:

$$\delta t_1^* \le \delta t. \tag{25}$$

8.17 Измерения по 8.13—8.16 повторяют для преобразователя поперечных упругих волн, поляризованных в направлении, перпендикулярном к текстуре материала, определяя приемлемое значение номера отраженного УИ m_2, при этом фактическую относительную погрешность определения задержек УИ рассчитывают по формуле:

$$\delta t_2^* = \frac{v_1 \Delta t}{m_2 h}. \tag{26}$$

8.18 Измерения по 8.13—8.16 повторяют для преобразователя продольных упругих волн, определяя приемлемое значение номера отраженного УИ m_3, при этом фактическую относительную погрешность определения задержек УИ рассчитывают по формуле:

$$\delta t_3^* = \frac{v_3 \Delta t}{m_3 h}. \tag{27}$$

Примечание — Изложенный в 8.1—8.18 порядок подготовки к проведению измерений одинаков для ОК с действующими напряжениями и при их отсутствии.

9 Порядок проведения измерений и обработки результатов

9.1 Определение двухосного напряженного состояния

9.1.1 С помощью контактного термометра измеряют температуру поверхности ОК при отсутствии напряжений T_0.

9.1.2 В соответствии с руководством по эксплуатации СИ проводят измерения задержек поперечных упругих волн, поляризованных вдоль текстуры материала ОК (или вдоль действия главного напряжения σ_1) $t_1^0(i)$, с переустановкой ЭАП. Число повторных измерений n_1 должно быть не менее 5.

Примечание — Как правило наименьшую погрешность определения задержек обеспечивает метод перехода сигнала через нуль [7].

9.1.3 Проверка синфазности отсчетных точек

9.1.3.1 Вычисляют разность $\Delta t_1^0(i)$ между задержкой $t_1^0(i)$ для отраженного УИ с номером m_1^0 и задержкой $t_{12}^0(i)$ второго отраженного УИ относительно первого.

9.1.3.2 Проверяют справедливость соотношения:

$$\Delta t_1^0(i) < \frac{1}{2f_s} \cdot 10^3. \tag{28}$$

9.1.3.3 При соблюдении соотношения (28) выполняют действия по 9.1.4.

9.1.3.4 При несоблюдении соотношения (28) рассчитывают значение k по формуле:

$$k = [R \cdot f_s], \tag{29}$$

где $R = t_1^0(i) - (m_1^0 - 1)\, t_{12}^0(i)$. Значок [ ] означает операцию округления.

9.1.3.5 В дальнейших расчетах вместо значений $t_1^0(i)$ используют скорректированные значения задержек, равные $t_1^0(i) + \frac{k}{f_s}$.

Проверку синфазности отсчетных точек проводят для волн всех типов.

9.1.4 Массив значений $t_1^0(i)$ проверяют на наличие выбросов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-2.

9.1.5 После уменьшения (при наличии выбросов) значения n_1 для дальнейших расчетов используют усеченный вариационный ряд.

9.1.6 Определяют значения t_1^0 и δ_1^0 по формулам:

$$t_1^0 = \frac{1}{n_1}\sum_{i=1}^{n_1} t_1^0(i), \tag{30}$$

$$\delta_1^0 = \frac{1}{t_1^0}\sqrt{\frac{1}{n_1 - 1}\sum_{i=1}^{n_1}(t_1^0(i) - t_1^0)^2}. \tag{31}$$

9.1.7 Проверяют выполнение условия:

$$\delta_1^0 \le 10^{-4}. \tag{32}$$

9.1.8 При выполнении условия (32) в дальнейших расчетах используют значение t_1^0, полученное по 9.1.6.

9.1.9 Если условие (32) не выполнено, проводят повторные измерения с увеличенным числом n_1.

9.1.10 Если увеличение числа измерений n_1 не приводит к выполнению условия (32), принимают решение о возможности дальнейших измерений с пониженной точностью.

9.1.11 Измерения и их обработку по 9.1.3—9.1.10 проводят для ЭАП поперечных упругих волн, поляризованных в направлении, перпендикулярном к текстуре материала ОК (или вдоль действия главного напряжения σ_1):

$$t_2^0 = \frac{1}{n_2}\sum_{i=1}^{n_2} t_2^0(i), \tag{33}$$

$$\delta_2^0 = \frac{1}{t_2^0}\sqrt{\frac{1}{n_2 - 1}\sum_{i=1}^{n_2}(t_2^0(i) - t_2^0)^2}. \tag{34}$$

9.1.12 Измерения и их обработку по 9.1.3—9.1.10 проводят для ЭАП продольных упругих волн. При этом определяют значения t_3^0 и δ_3^0 по формулам:

$$t_3^0 = \frac{1}{n_3}\sum_{i=1}^{n_3} t_3^0(i), \tag{35}$$

$$\delta_3^0 = \frac{1}{t_3^0}\sqrt{\frac{1}{n_3 - 1}\sum_{i=1}^{n_3}(t_3^0(i) - t_3^0)^2}. \tag{36}$$

9.1.13 Рассчитывают приведенные задержки по формулам:

$$\bar{t}_1^0 = t_1^0\,[1 - k_{Ts}(T_0 - 20)], \tag{37}$$

$$\bar{t}_2^0 = t_2^0\,[1 - k_{Ts}(T_0 - 20)], \tag{38}$$

$$\bar{t}_3^0 = t_3^0\,[1 - k_{Tl}(T_0 - 20)]. \tag{39}$$

9.1.14 С помощью контактного термометра измеряют температуру поверхности ОК при действии напряжений T.

9.1.15 Измерения и их обработку по 9.1.3—9.1.14 проводят для ОК при действии напряжений.

9.1.16 Приведенные задержки рассчитывают по формулам:

$$\tilde{t}_1 = t_1\,[1 - k_{Ts}(T_0 - 20)], \tag{40}$$

$$\tilde{t}_2 = t_2\,[1 - k_{Ts}(T_0 - 20)], \tag{41}$$

$$\tilde{t}_3 = t_3\,[1 - k_{Tl}(T_0 - 20)]. \tag{42}$$

9.1.17 Напряжения σ_1 и σ_2 для каждой точки измерений рассчитывают по формулам:

$$\sigma_1 = k_1 \frac{\Delta d_1}{d_1^0} + k_2 \frac{\Delta d_2}{d_2^0}, \tag{43}$$

$$\sigma_2 = k_3 \frac{\Delta d_1}{d_1^0} + k_4 \frac{\Delta d_2}{d_2^0}, \tag{44}$$

где $d_1 = \frac{\tilde{t}_1}{\tilde{t}_3}, d_2 = \frac{\tilde{t}_2}{\tilde{t}_3}, d_1^0 \frac{\tilde{t}_1^0}{\tilde{t}_3^0}, d_2^0 \frac{\tilde{t}_2^0}{\tilde{t}_3^0}, \Delta d_1 = d_1 - d_1^0, \Delta d_2 = d_2 - d_2^0$.

9.2 Определение одноосного напряженного состояния

9.2.1 При действии одноосного напряжения вдоль текстуры материала напряжение σ_1 рассчитывают по формуле:

$$\sigma_1 = D_1 \left(\frac{t_1^0 t_2}{t_2^0 t_1} - 1 \right), \tag{45}$$

где $D_1 = \frac{1}{a_2 - a_1}$.

9.2.2 При действии одноосного напряжения поперек текстуры материала напряжение σ_2 рассчитывают по формуле:

$$\sigma_2 = D_2 \left(\frac{t_2^0 t_1}{t_1^0 t_2} - 1 \right), \tag{46}$$

где $D_1 = \frac{1}{a_4 - a_3}$.

10 Правила оформления результатов измерений

10.1 Результаты измерений фиксируют в протоколе, форма которого приведена в приложении В.

10.2 Если измерения НС ОК являются частью научно-исследовательских работ, то результаты измерений следует оформлять в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32.

Приложение А
(обязательное)

Определение упругоакустических коэффициентов

А.1 Упругоакустические коэффициенты определяют при проведении испытаний на растяжение плоских образцов по ГОСТ 1497.

А.2 Используют образцы двух типов:

- продольные, вырезанные из материала параллельно текстуре;
- поперечные, вырезанные из материала перпендикулярно текстуре.

А.3 При использовании ПЭП класс шероховатости поверхности образцов в точке измерений — не ниже *Ra* 2,5 по ГОСТ 2789.

А.4 Для нагружения образца используют машины для механических испытаний материалов по ГОСТ 28840.

А.5 Выбор испытательного оборудования осуществляют таким образом, чтобы в образце создать напряжение, составляющее $0{,}8\sigma_{02}$.

А.6 Испытательные машины должны обеспечивать требуемую нагрузку с допустимым отклонением напряжений не более 1 МПа в течение промежутка времени, необходимого для проведения акустических измерений (от 30 секунд до нескольких минут в зависимости от квалификации оператора и используемых СИ).

А.7 Составляют программу ступенчатого нагружения образца от начальной нагрузки, соответствующей значению одноосного напряжения не более $0{,}1\sigma_{02}$, до нагрузки, соответствующей $0{,}8\sigma_{02}$. Рекомендуется предусмотреть не менее пяти ступеней нагружения для последующей регрессионной обработки результатов испытаний.

А.8 Образец с закрепленными на нем ЭАП помещают в машину для механических испытаний, добиваются правильной его центровки и прикладывают к нему небольшую нагрузку для обеспечения надежной фиксации образца в захватах.

А.9 На каждой ступени нагружения проводят измерения задержек УИ трех типов:

t_1 — задержки УИ для поперечных волн, поляризованных вдоль оси нагружения;

t_2 — задержки УИ для поперечных волн, поляризованных перпендикулярно к оси нагружения;

t_3 — задержки УИ для продольных волн.

Измерения проводят как при увеличении, так и при уменьшении нагрузки. Затем образец вынимают из машины. Каждое нагружение («вверх-вниз») проводят три раза. Перед новым нагружением ЭАП снимают и вновь устанавливают на образец.

А.10 Проводят регрессионную обработку зависимостей $\frac{\Delta d_1}{d_1^0}(\sigma), \frac{\Delta d_2}{d_2^0}(\sigma)$,

где $\Delta d_1 = \frac{t_1}{t_3} - \frac{t_1^0}{t_3^0}, \Delta d_2 = \frac{t_2}{t_3} - \frac{t_2^0}{t_3^0}, t_1^0, t_2^0, t_3^0$ — задержки УИ в материале образцов без нагрузки.

А.11 Акустоупругие коэффициенты определяют следующим образом:

α_1 равен тангенсу угла наклона к оси σ линии регрессии $\frac{\Delta d_1}{d_1^0}(\sigma)$ для продольных образцов;

α_2 равен тангенсу угла наклона к оси σ линии регрессии $\frac{\Delta d_2}{d_2^0}(\sigma)$ для продольных образцов;

α_3 равен тангенсу угла наклона к оси σ линии регрессии $\frac{\Delta d_1}{d_1^0}(\sigma)$ для поперечных образцов;

α_4 равен тангенсу угла наклона к оси σ линии регрессии $\frac{\Delta d_2}{d_2^0}(\sigma)$ для поперечных образцов.

А.12 Тензометрические (упругоакустические) коэффициенты рассчитывают по формулам:

$$k_1 = \frac{\alpha_4}{\alpha_1\alpha_4 - \alpha_2\alpha_3}, k_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1\alpha_4 - \alpha_2\alpha_3}, k_3 = \frac{\alpha_3}{\alpha_1\alpha_4 - \alpha_2\alpha_3}, k_4 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1\alpha_4 - \alpha_2\alpha_3}. \quad (А.1)$$

Приложение Б
(обязательное)

Определение термоакустических коэффициентов

Б.1 Определение термоакустических коэффициентов k_{Tk} (k_{Tl}, k_{Ts}) проводят на основании исследования регрессионных зависимостей задержек импульсов упругих волн соответствующих типов t_k от температуры T стандартного образца.

Б.2 Измерение температурных зависимостей проводят на стандартных образцах материала ОК в лабораторных условиях.

Б.3 Температуру поверхности образца измеряют с использованием термоэлектрического преобразователя по ГОСТ 6616.

Б.4 Образцы нагревают до температуры 80 °С, затем для равномерного распределения температуры выдерживают при комнатной температуре до их остывания до 60 °С.

Б.5 По мере остывания образца с интервалом 5 °С проводят измерение температуры поверхности образца T_j и соответствующих задержек $t_k(i)$ для каждого i значения температуры.

Б.6 Термоакустические коэффициенты рассчитывают по формуле:

$$k_{Tk} = \left(N_T \sum_{i=1}^{N_T} \delta t_k(i) T_i - \sum_{i=1}^{N_T} T_i \sum_{i=1}^{N_T} \delta t_k(i) \right) / \left(N_T \sum_{i=1}^{N_T} (T_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^{N_T} T_i \right)^2 \right), \quad (Б.1)$$

где $\delta t_k(i) = \dfrac{t_k(i) - t_k(N_T)}{t_k(N_T)}$,

N_T — общее число измерений для данного образца.

Измерения повторяют для 3—5 образцов с усреднением результатов.

Приложение В
(рекомендуемое)

Форма протокола измерений

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель
_____
(наименование организации)
_____ _____
(личная подпись) (инициалы, фамилия)
«_____»_____20__ г.

ПРОТОКОЛ
определения напряженного состояния объекта контроля методом акустоупругости
(технический объект, контролируемый участок технического объекта)

Наименование объекта контроля			
Номер (или код) контролируемого участка			
Марка материала			
Тензометрические (упругоакустические) коэффициенты, МПа			
k_1	k_2	k_3	k_4
Термоакустический коэффициенты, 1/град			
k_{T1}		k_{Ts}	
Температура поверхности объекта контроля без напряжений T_0 (°С)			
Температура поверхности объекта контроля при действии напряжений T (°С)			
Значения задержек для материала объекта контроля без напряжений, нс			
t_1^0			
t_2^0			
t_3^0			
Значения задержек для точки измерения напряжений материала объекта контроля, нс			
t_1			
t_2			
t_3			
Значения напряжений, МПа			
σ_1			
σ_2			
Дата контроля			
Фамилия, инициалы оператора			
Примечание			

Библиография

[1] Гузь А.Н., Махорт Ф.Г., Гуща О.И. Введение в акустоупругость. Киев: Наукова думка, 1977. —162 с.
[2] Бобренко В.М., Вангели М.С., Куценко А.Н. Акустическая тензомерия. Кишинев: Штиинца, 1991. — 204 с.
[3] Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под ред. В.В. Клюева. Т. 4. Кн. 1. В.А. Анисимов, Б.И. Каторгин, А.Н. Куценко, В.П. Малахов, А.С. Рудаков, В.К. Чванов. Акустическая тензометрия М.: Машиностроение, 2004.— 226 с.
[4] Никитина Н.Е. Акустоупругость. Опыт практического применения. Н. Новгород: ТАЛАМ, 2005.— 208 с.
[5] СНиП 2.09.03—85 Сооружения промышленных предприятий. Нормы проектирования
[6] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200—03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов
[7] МВИ. Стандартные образцы времени прохождения ультразвуковых сигналов. Определение основных метрологических характеристик. ИФМ УрО РАН, Екатеринбург, 2007.— 16 с.

УДК 620.172.1:620.179.16:006.354 ОКС 77.040.10 Т59

Ключевые слова: механические напряжения, акустический эхо-метод, акустоупругость, анизотропия, задержки импульсов, тензометрические (упругоакустические) коэффициенты

Редактор *Л.Б. Базякина*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *И.В. Белюсенко*

Сдано в набор 09.11.2015. Подписано в печать 25.02.2016. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,10. Тираж 50 экз. Зак. 4297.

Набрано в ИД «Юриспруденция» 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
www. jurisizdat. ru gost.e-ecolog.ru

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

gost.e-ecolog.ru