ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56185— 2014

Техническая диагностика

АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЕЧАЕК СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Общие требования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ОАО «НИЦ КД»)

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 24 октября 2014 г. №1410-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 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

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

Введение

Тонкостенные сосуды из малоуглеродистых и низколегированных сталей являются одним из наиболее распространенных видов оборудования промышленных объектов. Они находят применение в химической и нефтехимической промышленности, используются в аммиачных холодильных установках и установках разделения воздуха, в качестве воздушных ресиверов и пр.

Монтаж и эксплуатация сосудов ответственного назначения, работающих под давлением, связаны с влиянием на их напряженное состояние множества различных факторов, которые не всегда возможно учесть при прочностных расчетах. К таким факторам относятся наличие дополнительных элементов – штуцеров, патрубков и др., а также влияние не поддающихся теоретическому учету внешних условий.

Прямые измерения механических напряжений в контрольных точках обечаек сосудов, работающих под давлением, могут быть эффективно использованы как для проверки правильности таких расчетов, так и для оперативной диагностики технического состояния сосудов.

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 [1], [2], надежное экспериментальное определение которой обеспечено благодаря наличию современной измерительной техники [3].

Настоящий стандарт разработан в целях обеспечения методической основы применения метода акустической тензометрии для уточнения результатов прочностных расчетов сосудов, работающих под давлением, а также для определения реального напряженного состояния их материала.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Техническая диагностика

АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЕЧАЕК СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Общие требования

Technical diagnostics. Evaluation of stresses in sides of pressure vessels by ultrasound
General requirements

Дата введения — 2016—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на акустический метод определения напряженного состояния материала цилиндрических обечаек тонкостенных сосудов, работающих под давлением, изготовленных из малоуглеродистых и низколегированных сталей по ГОСТ Р 52630 с продольными сварными швами.

Настоящий стандарт устанавливает основные требования к порядку определения двухосного напряженного состояния материала обечаек с использованием объемных продольных и поперечных волн, распространяющихся нормально к поверхности обечайки.

Устанавливаемый настоящим стандартом метод может быть применен как при лабораторных исследованиях, так в стендовых и натурных условиях контроля напряженного состояния материала обечаек тонкостенных цилиндрических сосудов, работающих под давлением.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

ГОСТ Р 8.625 – 2006 Государственная система обеспечения единства измерений. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ Р 50599 – 93 Сосуды и аппараты стальные сварные высокого давления. Контроль неразрушающий при изготовлении и эксплуатации

ГОСТ Р 52630 – 2012 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия

ГОСТ Р 52890 – 2007 Контроль неразрушающий. Акустический метод контроля напряжений в материале трубопроводов. Общие требования

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

ГОСТ 7.32 – 91 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 12.1.019 – 79 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

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 (МЭК 745-1 – 82) Система стандартов безопасности труда. Машины ручные электрические. Общие требования безопасности и методы испытаний

Издание официальное

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

ГОСТ 1497 – 84 Металлы. Методы испытания на растяжение

ГОСТ 2768 – 84 Ацетон технический. Технические условия

ГОСТ 2789 – 73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики

ГОСТ 10587 – 84[1)] Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия

ГОСТ 17299 – 78 Спирт этиловый технический. Технические условия

ГОСТ 26266 – 90 Контроль неразрушающий. Преобразователи ультразвуковые. Общие технические требования

ГОСТ 28840 – 90 Машины для механических испытаний материалов

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 стенки обечайки сосуда, работающего под давлением, мм;

σ_{02} – условный предел текучести материала обечайки сосуда, работающего под давлением, МПа;

$\sigma_{\text{о}}$ – нормальное напряжение, действующее вдоль оси вращения обечайки сосуда, работающего под давлением, (осевое или меридиональное напряжение), МПа;

$\sigma_{\text{к}}$ – нормальное напряжение, действующее в окружном направлении обечайки сосуда, работающего под давлением, (кольцевое или окружное напряжение), МПа;

T_0 – температура поверхности обечайки сосуда, работающего под давлением, при нулевом давлении в момент проведения акустических измерений, °С;

T – температура поверхности обечайки сосуда, работающего под давлением, в рабочем режиме, °С;

V_l – скорость распространения упругих продольных волн в материале обечайки, м/с;

V_r – скорость распространения упругих поперечных волн в материале обечайки, м/с;

m_l^0 – номер отраженного импульса упругих продольных волн при нулевом давлении;

$m_{\text{о}}^0$ – номер отраженного импульса упругих поперечных волн при поляризации волны в осевом направлении при нулевом давлении;

$m_{\text{к}}^0$ – номер отраженного импульса упругих поперечных волн при поляризации волны в кольцевом направлении при нулевом давлении;

n_l^0 – число повторных измерений при определении задержки импульса упругих продольных волн при нулевом давлении;

$n_{\text{о}}^0$ – число повторных измерений при определении задержки импульса упругих поперечных волн при поляризации волны в осевом направлении при нулевом давлении;

$n_{\text{к}}^0$ – число повторных измерений при определении задержки импульса упругих поперечных волн при поляризации волны в кольцевом направлении при нулевом давлении;

m_l – номер отраженного импульса упругих продольных волн при рабочем давлении;

$m_{\text{о}}$ – номер отраженного импульса упругих поперечных волн при поляризации волны в осевом направлении при рабочем давлении;

$m_{\text{к}}$ – номер отраженного импульса упругих поперечных волн при поляризации волны в кольцевом направлении при рабочем давлении;

n_l – число повторных измерений при определении задержки импульса упругих продольных волн при рабочем давлении;

[1)] Стандарт действует только на территории Российской Федерации.

$n_о$ – число повторных измерений при определении задержки импульса упругих поперечных волн при поляризации волны в осевом направлении при рабочем давлении;

$n_к$ – число повторных измерений при определении задержки импульса упругих поперечных волн при поляризации волны в кольцевом направлении при рабочем давлении;

$T(m_l^0)$– длительность развертки, обеспечивающая визуализацию m_l^0 отраженных импульсов упругих продольных волн при нулевом давлении, мкс;

$T(m_о^0)$– длительность развертки, обеспечивающая визуализацию $m_о^0$ отраженных импульсов упругих поперечных волн при поляризации волны в осевом направлении при нулевом давлении, мкс;

$T(m_к^0)$– длительность развертки, обеспечивающая визуализацию $m_к^0$ отраженных импульсов упругих поперечных волн при поляризации волны в кольцевом направлении при нулевом давлении, мкс;

$T(m_l)$ – длительность развертки, обеспечивающая визуализацию m_l отраженных импульсов упругих продольных волн при рабочем давлении, мкс;

$T(m_о)$– длительность развертки, обеспечивающая визуализацию $m_о$ отраженных импульсов упругих поперечных волн при поляризации волны в осевом направлении при рабочем давлении, мкс;

$T(m_к)$ – длительность развертки, обеспечивающая визуализацию $m_к$ отраженных импульсов упругих поперечных волн при поляризации волны в кольцевом направлении при рабочем давлении, мкс;

Δt – абсолютная погрешность измерения временных интервалов используемых средств измерений, нс;

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

$t_l^0(i)$ – задержки отраженных импульсов продольной волны с номерами m_l^0 относительно первого отраженного импульса при нулевом давлении при n_l^0 повторных измерениях, нс, $i = 1 \ldots n_l^0$;

t_l^0 – среднее значение отраженного импульса продольной волны с номером m_l^0 относительно первого отраженного импульса при нулевом давлении, нс;

δ_l^0 – коэффициент вариации значений $t_l^0(i)$;

$t_l(i)$ – задержки отраженных импульсов продольной волны с номерами m_l относительно первого отраженного импульса при рабочем давлении при n_l повторных измерениях, нс, $i = 1 \ldots n_l$;

t_l – среднее значение задержки отраженного импульса продольной волны с номером m_l относительно первого отраженного импульса при рабочем давлении, нс;

δ_l – коэффициент вариации значений $t_l(i)$;

$\widetilde{t_l^0}$ – значение задержки t_l^0, приведенное к 20 °С, нс;

$\widetilde{t_l}$ – значение задержки t_l, приведенное к 20 °С, нс;

$t_о^0(i)$ – задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами $m_о^0$ относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в осевом направлении при нулевом давлении при $n_о^0$ повторных измерениях, нс, $i = 1 \ldots n_о^0$;

$t_о^0$ – среднее значение задержки отраженного импульса поперечной волны с номером $m_о^0$ относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в осевом направлении при нулевом давлении, нс;

$\delta_о^0$ – коэффициент вариации значений $t_о^0(i)$;

$t_о(i)$ – задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами $m_о$ относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в осевом направлении при рабочем давлении при $n_о$ повторных измерениях, нс,
$i = 1 \ldots n_о$;

$t_о$ – среднее значение задержки отраженного импульса поперечной волны с номером $m_о$ относительно 1-го отраженного импульса при поляризации волны в осевом направлении при рабочем давлении, нс;

$\delta_о$ – коэффициент вариации значений $t_о(i)$;

$\tilde{t}_о^0$ – значение задержки $t_о^0$, приведенное к 20 °С, нс;

$\tilde{t}_о$ – значение задержки $t_о$, приведенное к 20 °С, нс;

$t_к^0(i)$ – задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами $m_к^0$ относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в кольцевом направлении при нулевом давлении при $n_к^0$ повторных измерениях, нс, $i = 1...n_к^0$;

$t_к^0$ – среднее значение задержки отраженного импульса поперечной волны с номером $m_к^0$ относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в кольцевом направлении при нулевом давлении, нс;

$\delta_к^0$ – коэффициент вариации значений $t_к^0(i)$;

$t_к(i)$ – задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами $m_к$ относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в кольцевом направлении при рабочем давлении при $n_к$ повторных измерениях, нс, $i = 1...n_к$;

$t_к$ – среднее значение отраженного импульса поперечной волны с номером $m_к$ относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в кольцевом направлении при рабочем давлении, нс;

$\delta_к$ – коэффициент вариации значений $t_к(i)$;

$\tilde{t}_к^0$ – значение задержки $t_к^0$, приведенное к 20 °С, нс;

$\tilde{t}_к$ значение задержки $t_к$, приведенное к 20 °С, нс;

α_1, α_2, α_3, α_4 – акустоупругие коэффициенты, 1/МПа;

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

k_{T1},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:

СД – сосуд, работающий под давлением;
ОСД – обечайка сосуда, работающего под давлением;
НС – напряженное состояние;
СИ – средство измерений;
УИ – ультразвуковой импульс;
ЭАП – электроакустический преобразователь;
ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь;
КУАС – коэффициенты упругоакустической связи.

4 Общие положения

4.1 Измерения осевых и кольцевых напряжений в точке измерений ОСД выполняют методом акустоупругости в соответствии с общими требованиями ГОСТ Р 52890.

4.2 Метод основан на существующей в области упругих деформаций линейной зависимости скоростей распространения объемных упругих волн в направлении, перпендикулярном к плоскости действия напряжений, от механических напряжений, действующих в осевом и кольцевом направлениях.

4.3 Для тонкостенных цилиндрических оболочек, нагруженных внутренним давлением, напряжения в радиальном направлении малы по сравнению с напряжениями в осевых и кольцевых направлениях. Поэтому напряженное состояние считают локально плоским, зависимостью скоростей распространения объемных упругих волн от радиальных напряжений пренебрегают.

4.4 Для измерения осевых и кольцевых напряжений при двухосном напряженном состоянии используют поперечные волны, поляризованные в направлениях действия напряжений, а также продольные волны.

Направление распространения волн – радиальное (перпендикулярно к плоскости действия измеряемых напряжений).

4.5 Схема прозвучивания материала соответствует эхо-методу ультразвукового контроля. Способ возбуждения упругих колебаний – контактный. Вид излучаемого сигнала – «радиоимпульс» с высокочастотным (ультразвуковым) заполнением, плавной огибающей и эффективной длительностью (на уровне 0,6 максимальной амплитуды) 2 – 4 периода основной частоты.

4.6 Излучение и прием акустических сигналов обеспечивают с помощью прямых совмещенных или раздельно-совмещенных ЭАП продольных и поперечных волн.

Примечание – В качестве ЭАП могут быть использованы ПЭП по ГОСТ 26266 или электроакустические преобразователи.

4.7 Измеряемые напряжения являются усредненными по объему ультразвукового пучка, определяемого поперечными размерами ЭАП и толщиной материала. Для цилиндрических ОСД это главные напряжения в плоскости, перпендикулярной к радиальному направлению. Значения напряжений отсчитывают от их начального уровня, соответствующего отсутствию давления рабочей среды в СД.

4.8 КУАС, применяемые для расчета напряжений по измеренным акустическим задержкам, являются характеристиками материала, определяемыми модулями его линейной и нелинейной упругости. Значения КУАС для сталей ОСД должны быть определены с максимально допустимой относительной погрешностью ± 10 %. Экспериментальное определение КУАС проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 55043 и приложения А настоящего стандарта.

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

5 Требования безопасности

5.1 К выполнению измерений 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 ОСД 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 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 [4] и [5].

5.5 При организации работ по определению НС ОСД 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 (далее – 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 ОСД.

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;

- правила агрегатирования средств аппаратного и программного обеспечения и организации их взаимодействия.

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 ОСД, 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 при использовании пьезоэлектрических преобразователей

6.9.1 Шлифовальный инструмент для подготовки поверхности по ГОСТ 12.2.013.1.

6.9.2 Обезжиривающая жидкость (спирт по ГОСТ 17299 или ацетон по ГОСТ 2768) для подготовки поверхности.

6.9.3 Контактная жидкость при использовании ПЭП.

6.9.4 Для измерения температуры поверхности ОСД используют контактные термометры по ГОСТ Р 8.625 с погрешностью измерения температуры не более 1 °С в диапазоне температур от 0 °С до 60 °С.

7 Требования к объектам контроля

7.1 Толщина стенки ОСД должна быть, по крайней мере, в 20 раз меньше ее диаметра.

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 ОСД *Ra* превышает 2,5 мкм по ГОСТ 2789.

7.4 Расстояние от точки измерения до сварного шва - не менее удвоенной толщины стенки ОСД.

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

8 Порядок подготовки к проведению измерений

8.1 Изучают сертификаты на материал ОСД.

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, эффективная частота импульса которого в зависимости от h имеет следующие значения:

- при h от 2 до 3 мм $f_э$ = 10 МГц;

- при h от 3 до 10 мм $f_э$ = 5 МГц;

- при h более 10 мм $f_э$ = 2,5 МГц.

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 ОСД.

8.8 Устанавливают ЭАП на поверхность ОСД, подключают их к прибору.

8.9 Включают прибор, 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 СД дефектов - слоев, включений и т.п., обнаруженных методами ультразвуковой дефектоскопии в соответствии с ГОСТ Р 50599), либо неправильной ориентацией преобразователя поперечных колебаний относительно осей симметрии материала ОСД.

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

$$T_m = T(m_i) = T(m_o) = T(m_к) = \frac{\Delta\tau}{\delta t} + t_э, \quad (1)$$

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

Обычно величина δt не должна превышать значения 10^{-4}.

8.13 Получают осциллограммы сигналов при использовании ЭАП продольных упругих волн при значении развертки T_m.

8.14 Оценивают отношение амплитуды импульсов упругих продольных волн с номером m_i 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 импульса упругих продольных волн с номером m_i меньше 10 дБ, то последовательно уменьшают величину m_i на единицу до тех пор, пока значение отношения «сигнал/шум» не станет больше 10 дБ.

8.16 Рассчитывают фактическую относительную погрешность определения задержек УИ продольных упругих волн по формуле:

$$\delta t_i^{ф} = \frac{V_i \Delta t}{m_i h} \quad (2)$$

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

$$\delta t_i^{ф} \le \delta t. \quad (3)$$

8.17 Измерения по 8.13 – 8.16 повторяют для преобразователя поперечных упругих волн, поляризованных в осевом направлении, определяя приемлемое значение номера отраженного УИ m_o, при этом фактическую относительную погрешность определения задержек УИ рассчитывают по формуле

$$\delta t_o^{ф} = \frac{V_t \Delta\tau}{m_o h}. \quad (4)$$

8.18 Измерения по 8.13 – 8.16 повторяют для преобразователя поперечных упругих волн, поляризованных в кольцевом направлении, определяя приемлемое значение номера отраженного УИ $m_к$, при этом фактическую относительную погрешность определения задержек УИ рассчитывают по формуле

$$\delta t_o^{ф} = \frac{V_t \Delta t}{m_к h}. \quad (5)$$

Примечание – Изложенный в 8.1 – 8.18 порядок подготовки к проведению измерений, одинаков для СД при рабочем давлении и при нулевом давлении.

9 Порядок проведения измерений и обработки результатов

9.1 С помощью контактного термометра измеряют температуру поверхности ОСД при нулевом давлении в СД T_0.

9.2 В соответствии с руководством по эксплуатации прибора проводят измерения задержек объемных волн $t_i^0(i)$, с переустановкой ЭАП. Число повторных измерений n_i^0 должно быть не менее 5.

Примечание – Как правило наименьшую погрешность определения задержек обеспечивает метод перехода сигнала через нуль [6].

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

9.4 После уменьшения (при наличии выбросов) величины n_l^0 для дальнейших расчетов используют усеченный вариационный ряд.

9.5 Определяют значения t_l^0 и δ_l^0 по формулам:

$$t_l^0 = \frac{\sum_{i=1}^{n_l^0} t_l^0(i)}{n_l^0}, \tag{6}$$

$$\delta_l^0 = \frac{1}{t_l^0}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_l^0}(t_l^0(i)-t_l^0)^2}{n_l^0-1}} \tag{7}$$

9.6 Проверяют выполнение условия:

$$\delta_l^0 \le 10^{-4}. \tag{8}$$

9.7 При выполнении условия (8) в дальнейших расчетах используют величину t_l^0, полученную в 9.5.

9.8 Если условие (8) не выполнено, проводят повторные измерения с увеличенным числом n_l^0.

9.9 Если увеличение числа измерений n_l^0 не приводит к выполнению условия (8), принимают решение о возможности дальнейших измерений с пониженной точностью.

9.10 Измерения их обработку по 9.2 – 9.9 проводят для ЭАП поперечных упругих волн при поляризации в осевом направлении. При этом определяют значения t_o^0 и δ_o^0 по формулам

$$t_o^0 = \frac{\sum_{i=1}^{n_o^0} t_o^0(i)}{n_o^0}, \tag{9}$$

$$\delta_o^0 = \frac{1}{t_o^0}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_o^0}(t_o^0(i)-t_o^0)^2}{n_o^0-1}} \tag{10}$$

9.11 Измерения их обработку по 9.2 – 9.9 проводят для ЭАП поперечных упругих волн при поляризации в кольцевом направлении. При этом определяют значения $t_к^0$ и $\delta_к^0$ по формулам:

$$t_к^0 = \frac{\sum_{i=1}^{n_к^0} t_к^0(i)}{n_i^0}, \tag{11}$$

$$\delta_к^0 = \frac{1}{t_к^0}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_к^0}(t_к^0(i)-t_к^0)^2}{n_к^0-1}}. \tag{12}$$

9.12 Рассчитывают приведенные задержки по формулам:

$$\widetilde{t_l^0} = t_l^0[1 - k_{Tl}(T_0 - 20)], \tag{13}$$

$$\widetilde{t_o^0} = t_o^0[1 - k_{Ts}(T_0 - 20)], \tag{14}$$

$$\widetilde{t_к^0} = t_к^0[1 - k_{Ts}(T_0 - 20)]. \tag{15}$$

9.13 С помощью контактного термометра измеряют температуру поверхности ОСД при рабочем давлении в СД T.

9.14 Измерения и их обработку по 9.2 – 9.13 проводят для ОСД при рабочем давлении в СД.

9.15 Приведенные задержки рассчитывают по формулам:

$$\widetilde{t_l} = t_l[1 - k_{Tl}(T_0 - 20)], \tag{16}$$

$$\widetilde{t_o^0} = t_o[1 - k_{Ts}(T_0 - 20)], \tag{17}$$

$$\widetilde{t_к} = t_к[1 - k_{Ts}(T_0 - 20)]. \quad (18)$$

9.16 Напряжения $\sigma_о$ и $\sigma_к$ для каждой точки измерений рассчитывают по формулам:

$$\sigma_о = k_1 \frac{\Delta d_о}{d_о^0} + k_2 \frac{\Delta d_к}{d_к^0}, \quad (19)$$

$$\sigma_к = k_3 \frac{\Delta d_о}{d_о^0} + k_4 \frac{\Delta d_к}{d_к^0}, \quad (20)$$

где $d_к = \frac{t_к}{t_f}$, $d_о = \frac{t_о}{t_f}$, $d_к^0 = \frac{t_к^0}{t_f^0}$, $d_о^0 = \frac{t_о^0}{t_f^0}$,

$\Delta d_к = d_к - d_к^0$, $\Delta d_о = d_о - d_о^0$.

10 Правила оформления результатов измерений

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

10.2 Если измерения НС ОСД 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 ОСД параллельно сварному шву;
- поперечные, вырезанные из материала ОСД перпендикулярно сварному шву.

А.3 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 $0{,}8\sigma_{0Z}$.

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 $0{,}1\sigma_{0Z}$, до нагрузки, соответствующей $0{,}8\sigma_{0Z}$. 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 оси нагружения;

t_3 – задержки УИ для продольных волн.

Примечание – 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 $\frac{\Delta d_1}{d_2^0}(\sigma)$, $\frac{\Delta d_2}{d_2^0}(\sigma)$,

где $\Delta d_1 = \frac{t_2}{t_3} - \frac{t_2^0}{t_3^0}$, $\Delta d_2 = \frac{t_2}{t_3} - \frac{t_2^0}{t_3^0}$,

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 $\frac{\Delta d_1}{d_2^0}(\sigma)$ 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 $\frac{\Delta d_1}{d_2^0}(\sigma)$ 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 Упругоакустические коэффициенты рассчитывают по формулам:

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

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 контрольного образца.

Б.2 Измерение температурных зависимостей проводят на контрольных образцах материала ОСД в лабораторных условиях.

Б.3 Температуру поверхности образца измеряют с использованием контактного термометра по ГОСТ Р 8.625.

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_i и соответствующих задержек $t_k(i)$ для каждого -го значения температуры.

Б.6 Термоакустические коэффициенты рассчитывают по формуле:

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

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

N_T - общее число измерений для данного образца.

Примечание – Измерения повторяют для трех – пяти образцов с усреднением результатов.

Приложение В
(рекомендуемое)

Форма протокола измерений

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель
_____
(наименование организации)

_____ _____
(личная подпись) (инициалы, фамилия)
«_____»_____20__ г.

ПРОТОКОЛ
определения напряженного состояния обечайки сосуда давления
(технический объект, контролируемый участок технического объекта)

1 Дата измерения_____
2 Организация, проводящая измерения_____
3 Владелец сосуда, работающего под давлением_____
4 Данные об объекте:
назначение_____
завод-изготовитель, технология изготовления_____
состояние поверхности объекта_____
дополнительные сведения об объекте _____
5 Эскиз объекта с указанием местоположения точек измерений и их нумерации (приводится в приложении к протоколу)_____
6 Температура поверхности обечайки сосуда при нулевом давлении $\overline{T_0}$ (°С)_____
7 Температура поверхности обечайки сосуда при рабочем давлении $\overline{T}$ (°С)_____
8 Наибольшее значение коэффициента вариации задержек импульсов_____

9 Таблица В.1 – Результаты измерений

Номер точки измерений	Значения задержек импульсов в сосуде без давления, нс			Значения задержек импульсов в сосуде при рабочем давлении, нс		
	t_l^0	t_o^0	$t_к^0$	t_l	t_o	$t_к$
Значения напряжений (МПа)						
	σ_o			$\sigma_к$		

Измерения выполнил оператор

_____ _____
(личная подпись) (инициалы, фамилия)

Руководитель лаборатории
неразрушающего контроля

_____ _____
(личная подпись) (инициалы, фамилия)

Библиография

[1] Неразрушающий контроль. Справочник под ред. В.В. Клюева. т. 4., кн.1 - М.: Машиностроение, 2004 – 226 с.
[2] Никитина Н.Е. Акустоупругость. Опыт практического применения. Н. Новгород: ТАЛАМ, 2005, 208 с.
[3] Углов А.Л., Ерофеев В.И., Смирнов А.Н. Акустический контроль оборудования при изготовлении и эксплуатации. М.: Наука, 2009. 280 с.
[4] СНиП 11 – М.2 –72 Общественные здания и сооружения. Нормы проектирования
[5] СН 245 –71 Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий
[6] 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

Ключевые слова: механические напряжения, акустический эхо-метод, обечайка сосуда, работающего под давлением, задержки импульсов, коэффициенты упругоакустической связи

Подписано в печать 25.05.2015. Формат 60x84 1/8.
Усл. печ. л. 2,33. Тираж 39 экз. Зак. 1155.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru

gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru