

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТАНДАРТ

ГОСТ  
ISO 10863 –  
20\_

---

**Неразрушающий контроль сварных соединений.  
Ультразвуковой метод.  
Применение дифракционно-временного метода  
(TOFD)**

**Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Use of time-of-flight diffraction technique (TOFD)  
(ISO 10863:2020, IDT)**

*Проект, окончательная редакция*

## Предисловие

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

### Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 357 «Стальные и чугунные трубы и баллоны», Негосударственным образовательным учреждением дополнительного профессионального образования «Научно-учебный центр «Контроль и диагностика» («НУЦ «Контроль и диагностика») и Акционерным обществом «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5.

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 357 «Стальные и чугунные трубы и баллоны»

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004 – 97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004 – 97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Российская Федерация	RU	Росстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от \_\_\_\_\_ г. № \_\_\_\_\_ межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 10863–202 \_\_\_\_\_ введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 \_\_\_\_\_ 202 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 10863:2020 «Неразрушающий контроль сварных соединений. Ультразвуковой контроль. Применение дифракционно-временного метода контроля (TOFD)» [Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing. Use of time-of-flight diffraction technique (TOFD), IDT].

Международный стандарт разработан Европейским Комитетом по Стандартизации (CEN) Техническим Комитетом TC 121 «Сварка» в сотрудничестве с Техническим Комитетом ISO/TC 44 «Сварка и смежные процессы», подкомитетом SC 5 «Диагностика и контроль сварных швов», в соответствии с Соглашением по техническому взаимодействию между ISO и CEN (Венское соглашение).

Перевод с английского языка (en).

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

Степень соответствия – идентичная (IDT)

## 6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона «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 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 ([www.gost.ru](http://www.gost.ru))*

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

## Оглавление

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	2
3 Термины и определения	3
4 Общие замечания о возможностях к технике/методике	5
5 Уровни контроля	6
6 Информация, необходимая для контроля	7
6.1 Вопросы, требующие согласования	7
6.2 Информация, необходимая оператору перед проведением контроля	7
6.3 Разработка документированной инструкции или процедуры контроля	8
7 Требования к персоналу и оборудованию	8
7.1 Квалификация персонала	8
7.2 Оборудование	9
8 Подготовка к контролю	10
8.1 Контролируемый объем	10
8.2 Параметры ультразвуковых преобразователей	11
8.3 Шаг записи развертки	12
8.4 Анализ геометрических параметров изделия	13
8.5 Подготовка поверхностей сканирования	13
8.6 Температура	14
8.7 Контактная среда	14
8.8 Система отсчета	14
9 Контроль основного материала	14
10 Настройка диапазона развертки и чувствительности	15
10.1 Настройка	15
10.2 Проверка настройки	16
10.3 Настраечные образцы	17

11 Контроль сварных соединений	19
12 Расшифровка и анализ TOFD-изображений	20
12.1 Общие положения	20
12.2 Оценка качества TOFD-изображений	21
12.3 Анализ пригодных для оценки TOFD-индикаций	21
12.4 Классификация пригодных для оценки TOFD-индикаций	22
12.5 Определение места расположения	24
12.6 Определение протяженности и высоты	25
12.7 Оценка по критериям приемки	30
13 Протокол контроля	30
Приложение А (справочное) Настраиваемые образцы	32
Приложение В (справочное) Примеры результатов TOFD	39
Приложение Д.А (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным межгосударственным стандартам	52
Библиография	53

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

---

**Неразрушающий контроль сварных соединений.**

**Ультразвуковой метод.**

**Применение дифракционно-временного метода  
(TOFD)**

Non-destructive testing of welds - Ultrasonic testing - Use of  
time-of-flight diffraction technique (TOFD)

---

Дата введения – 202\_\_ - \_\_ - \_\_

**1 Область применения**

Настоящий стандарт устанавливает требования к применению дифракционно-временного метода (TOFD) в полу- или полностью автоматизированном режиме ультразвукового контроля сварных соединений, полученных сваркой плавлением в металлах минимальной толщиной 6 мм.

Метод предназначен для контроля сварных соединений изделий с полным проплавлением простой геометрической формы в виде листов, труб и сосудов, в которых металл сварного шва и основной материал относятся к низколегированной стали. Если это указано и целесообразно, то метод TOFD также может быть применим для контроля сварных соединений изделий из других материалов, для которых характерно низкое затухание ультразвука (преимущественно из-за рассеяния).

**П р и м е ч а н и е** – При автоматизированном контроле перемещение одного или нескольких преобразователей по поверхности контролируемого изделия осуществляют с помощью механизированного устройства, при полуавтоматизированном контроле – вручную с использованием вспомогательных приспособлений (направляющей планки, линейки и т.п.),

---

*Проект, третья редакция*

при этом положение преобразователя однозначно определяется датчиком положения. Преобразователь перемещается вручную. «Полностью автоматизированный контроль» в дополнение к «полуавтоматическому контролю» включает в себя механическое устройство перемещения.

В настоящем стандарте параметры ультразвукового контроля, зависящие от свойств материала, установлены для сталей, в которых скорость распространения продольных волн составляет  $(5920 \pm 50)$  м/с, поперечных волн –  $(3255 \pm 30)$  м/с.

Настоящий стандарт в дополнение к общим принципам контроля методом TOFD, приведенным в ISO 16828, содержит указания по особым возможностям и ограничениям этого метода при обнаружении, определении координат, размеров и характеристик несплошностей в сварных соединениях, выполненных сваркой плавлением. Метод TOFD может быть применен как отдельно, так и в сочетании с другими видами и методами неразрушающего контроля при производственном контроле и контроле в процессе эксплуатации.

В соответствии с [1] настоящий стандарт устанавливает четыре уровня контроля (А, В, С, D), соответствующие повышению достоверности контроля. Указания по выбору уровня контроля приведены далее.

Настоящий стандарт позволяет оценить индикации, полученные методом TOFD, с целью приемки. Эта оценка основана на определении переданных, отраженных и дифракционных ультразвуковых сигналов в пределах полученного TOFD-изображения.

Настоящий стандарт не устанавливает уровни приемки для несплошностей.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты.

Для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного стандарта (включая все его изменения).

ISO 5577 Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Vocabulary. (Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Словарь)

ISO 9712 Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel. (Неразрушающий контроль. Квалификация и аттестация персонала)

ISO 16828, Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Time-of-flight diffraction technique as a method for detection and sizing of discontinuities principles (Неразрушающий контроль. Ультразвуковой контроль. Дифракционно-временной метод в качестве метода обнаружения и определения размера несплошностей)

ISO 17640 Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Techniques, testing levels, and assessment (Контроль неразрушающий сварных швов. Ультразвуковой контроль. Методы, контрольные уровни и оценка)

ISO 22232-1, Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic test equipment — Part 1: Instruments (Контроль неразрушающий. Определение характеристик и поверка оборудования ультразвукового контроля. Часть 1: Приборы)

ISO 22232-2, Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic test equipment — Part 2: Probes (Контроль неразрушающий. Определение характеристик и поверка оборудования ультразвукового контроля. Часть 2: Преобразователи)

### **3 Термины и определения**

В настоящем стандарте применяют термины, установленные в ISO 5577, а также следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 изображение, полученное при контроле дифракционно-временным методом; TOFD-изображение** (time-of-flight diffraction image; TOFD image): Двумерное изображение, полученное при объединении смежных А-разверток при перемещении сканирующего устройства, применяемого при контроле методом TOFD (TOFD-устройство), по определенной TOFD-схеме (3.3)

**Примечание** – Амплитуда сигнала А-разверток, как правило, представлена значениями шкалы серого цвета.

**3.2 индикация, полученная при контроле дифракционно-временным методом; TOFD-индикация** (time-of-flight diffraction indication; TOFD indication): Рельеф или искажение на TOFD-изображении (3.1), требующее дальнейшей оценки.

**3.3 Схема контроля дифракционно-временным методом; TOFD-схема** (time-of-flight diffraction setup; TOFD setup): Параметры преобразователей, определяемые характеристиками преобразователей (например, частотой, размером пьезоэлементов преобразователей, углом ввода, типом волны) и расстоянием между центрами преобразователей (3.6).

**3.4 точка пересечения акустических осей** (beam intersection point): Точка пересечения двух акустических осей излучающего и принимающего преобразователей.

**3.5 сигнал латеральной волны; LW-сигнал** (lateral wave): сигнал подповерхностной волны, прошедшей кратчайший путь между излучающим и принимающим преобразователями.

**3.6 расстояние между центрами преобразователей; PCS** (probe centre separation): Расстояние между точками выхода двух преобразователей.

**Примечание** – PCS двух преобразователей, расположенных на криволинейной поверхности, - это длина прямолинейного отрезка между точками выхода двух преобразователей, а не расстояние, измеряемое по поверхности контролируемого изделия.

**3.7 смещенное сканирование** (offset scan): Сканирование параллельно оси сварного соединения, при котором точка пересечения акустических осей (3.4) расположена не на оси сварного шва.

## **4 Общие замечания по техническим возможностям метода**

4 Общие замечания по техническим возможностям метода

Общие принципы метода TOFD приведены в ISO 16828. При контроле методом TOFD сварных соединений, выполненных сваркой плавлением следует учитывать особые возможности и ограничения метода.

Метод TOFD - это технология создания изображения посредством ультразвука, которая предоставляет возможность обнаруживать несплошности, определять их координаты и размеры. Этот метод применяется для определения параметров несплошностей как в металле сварного соединения, так и в околошовной зоне.

По сравнению с методами, основанными только на отражении, метод TOFD, основанный как на дифракции, так и на отражении, менее чувствителен к ориентации несплошности. Несплошности, ориентированные перпендикулярно поверхности и в промежуточных углах наклона, обнаруживаются также хорошо, как и несплошности, расположенные в зоне сплавления сварного соединения. При определенных условиях (толщина, подготовка сварного соединения, контролируемый объем и т.д.) требуется контроль более чем одной схемой TOFD.

Обычное TOFD-изображение - линейное по времени (по вертикальной оси) и перемещению преобразователей (по горизонтальной оси). Из-за V-образной траектории ультразвукового пути расположение возможных несплошностей нелинейное. TOFD-контроль должен проводиться соответствующим способом так, чтобы полученные изображения могли быть правильно оценены. Например, следует избегать потери контакта и ошибок сбора и обработки данных, см. 12.2.

Расшифровку TOFD-изображений должен выполнять опытный оператор с соответствующими навыками. Некоторые типовые TOFD-изображения несплошностей в соединениях, полученных сваркой плавлением, приведены в приложении В.

Чувствительность метода к обнаружению подповерхностных несплошностей, расположенных вблизи поверхности сканирования или с противоположной стороны, - более низкая. Это следует учитывать особенно для сталей, чувствительных к образованию трещин, или при контроле в процессе

эксплуатации. В случаях, где требуется полный контроль таких зон, необходимо принять дополнительные меры. Например, TOFD может проводиться вместе с другими методами или способами неразрушающего контроля.

Дифракционные сигналы от несплошностей сварного соединения могут иметь маленькую амплитуду. Сигналы от границ зерен в крупнозернистых материалах могут мешать определению и оценке несплошностей. При проведении контроля такого материала это должно приниматься во внимание.

## 5 Уровни контроля

Настоящий стандарт устанавливает четыре уровня контроля (А, В, С и D, см. Таблицу 1). От уровня А к уровню С увеличивается достоверность контроля.

Т а б л и ц а 1 – Уровни контроля

Уровень контроля	TOFD-схема	Настроечный образец для проверки настройки (см. 8.2)	Настроечный образец для настройки чувствительности (см. 10.1.4)	Смещенное сканирование	Разработка процедуры контроля
А	В соответствии с таблицей 2	Нет	Нет	Нет	В соответствии с настоящим стандартом
В	В соответствии с таблицей 2	Нет	Да	Нет	В соответствии с настоящим стандартом
С	В соответствии с таблицей 2	Да	Да	а)	Требуется разработка
Д	В соответствии с техническим заданием	Да	Да	а)	Требуется разработка

<sup>а)</sup> Должны быть определены необходимость, число и позиция смещенных сканирований

Если установленный документацией уровень приемки требует выявления несплошности определенного размера на обеих или на одной поверхности сварного соединения (см. раздел 4), то для этого потребуются использование способов или методов, выходящих за рамки настоящего стандарта.

Для контроля на стадии изготовления (см. также ISO 17635) применяются все уровни контроля. Уровень А следует использовать только для сварных

соединений толщиной до 50 мм. При контроле в процессе эксплуатации следует использовать только уровень D.

## **6 Информация, необходимая для контроля**

### **6.1 Разделы, определяемые спецификацией**

Требуемая информация:

- a) зоны и объем TOFD-контроля (см. разделы 5 и 8);
- b) уровни контроля (см. раздел 5), в том числе:
  - 1) требуется или нет разработка документированной процедуры контроля;
  - 2) требуются или нет настроечные образцы;
- c) спецификация на настроечные образцы (см. 10.3), в случае необходимости;
- d) этап производства или эксплуатации, на котором необходимо провести контроль;
- e) требования к доступности и состоянию поверхности и температуре (см. раздел 8);
- f) требования к отчету (см. раздел 13);
- g) критерии приемки;
- h) квалификация персонала (см. 7.1).

### **6.2 Информация, необходимая оператору перед проведением контроля**

Перед началом контроля сварного соединения персонал, проводящий контроль, должен иметь доступ ко всей информации, указанной в п. 6.1, вместе со следующими дополнительными сведениями:

- a) документированная инструкция или процедура контроля (см. 6.3), если требуется;
- b) тип(ы) основного материала и форма изделия (т.е., отливка, поковка, прокат);

- с) подготовка сварного соединения и размеры;
- д) технология сварки или соответствующая информация о процессе сварки;
- е) время проведения контроля относительно любой послесварочной термообработки;
- ф) результат какого-либо контроля основного металла, проведённого до и/или после сварки;
- г) тип и характеристики дефектов, подлежащих выявлению.

### **6.3 Разработка документированной инструкции или процедуры контроля**

Настоящий стандарт удовлетворяет требованиям документированной процедуры контроля для уровней контроля А и В.

Для уровней контроля С и D или если методы, описанные в настоящем стандарте, не применимы к сварному соединению, подлежащему контролю, должна быть разработана специальная документированная процедура контроля.

Для выполнения работ по сбору данных персоналу 1-го уровня необходимо предоставить процедуру контроля. Процедура контроля должна содержать как минимум информацию, приведенную в разделе 13.

## **7 Требования к персоналу и оборудованию**

### **7.1 Квалификация персонала**

Помимо основных знаний по ультразвуковому методу контроля сварных соединений, весь персонал должен быть обучен проведению контроля по методу TOFD. Требуется документальное подтверждение их компетентности (уровень подготовки и опыт).

Разработка процедуры контроля, окончательный анализ данных с применением программных средств, утверждение протокола контроля должны проводиться сертифицированным персоналом, как минимум 2-го уровня, в

области ультразвукового контроля согласно ISO 9712 или аналогичным стандартам, действующим в соответствующем секторе промышленности. Персонал 1-го уровня может выполнять настройку оборудования, сбор и сохранение данных, составление протокола в соответствии с разработанной процедурой контроля и под наблюдением сертифицированного персонала 2-го или 3-го уровня согласно ISO 9712 или аналогичным стандартам, действующим в соответствующем секторе промышленности.

Для сбора данных специалисту 1-го уровня может помочь технический персонал.

В случаях, когда минимальный уровень квалификации не отвечает приведенным требованиям, необходимо пройти специальное обучение.

## **7.2 Оборудование**

### **7.2.1 Ультразвуковое оборудование и дисплей**

Ультразвуковое оборудование, которое используется для метода TOFD, там, где это применимо, должно соответствовать требованиям ISO 22232-1.

Программное обеспечение TOFD не должно скрывать такие проблемы, как потеря контакта, пропуски сканирования, ошибки синхронизации или электронный шум.

В дополнение к требованиям, изложенным в ISO 16828, должны соблюдаться и учитываться следующие требования:

- a) оборудование должно иметь возможность выбора соответствующей части временной развертки, в которой оцифровываются A-развертки;
- b) рекомендуется использовать частоту оцифровки A-развертки, как минимум в 6 раз превышающую номинальную частоту преобразователя.

### **7.2.2 Ультразвуковые преобразователи**

Используемые для контроля сварных соединений методом TOFD ультразвуковые преобразователи должны соответствовать требованиям ISO 22232-2 и ISO 16828.

Применение преобразователей для криволинейных поверхностей должно соответствовать требованиям ISO 17640.

Рекомендации по выбору преобразователей приведены в таблице 2.

### **7.2.3 Сканирующие устройства**

Сканирующие устройства должны удовлетворять требованиям, изложенным в ISO 16828. Для достижения стабильности изображений (собранных данных), рекомендуется применять механические устройства позиционирования.

## **8 Подготовка к контролю**

### **8.1 Контролируемый объем**

Контроль должен выполняться в соответствии с ISO 16828. Цель контроля определяется спецификацией. На этом основании необходимо определить подлежащий контролю объем.

Контролируемый объем находится между преобразователями. Например, для уровней контроля А и В преобразователи размещают симметрично относительно оси сварного шва. Для уровней контроля С и D могут потребоваться дополнительные смещенные сканирования.

Для контроля в процессе производства контролируемый объем определяется зоной, включающей в себя сварной шов и основной металл по обе стороны сварного шва на ширину не менее 10 мм или на ширину зоны термического влияния (при этом выбирают большее значение). Контролю подлежит весь установленный объем.

Для обеспечения качества контроль, как правило, выполняется в соответствии со стандартами, определяющими уровни приемки. Если

применяются методы «пригодности к использованию по назначению», тогда устанавливают соответствующие критерии приемки.

При контроле в процессе эксплуатации контролируемым объемом может быть определенная область, представляющая интерес, например внутренняя 1/3 часть сварного соединения. При этом устанавливают критерии приемки и минимальный размер несплошности, который необходимо выявить в интересующей области.

## **8.2 Параметры ультразвуковых преобразователей**

Преобразователи устанавливают таким образом, чтобы охватить контролируемую зону и обеспечить оптимальные условия для ввода и приема дифрагированных сигналов в интересующей области. Для стыковых сварных соединений простых геометрических форм и с узкой выпуклостью шва на противоположной поверхности контроль выполняют одной или несколькими схемами (сканированиями), в зависимости от толщины стенки (см. таблицу 2). Таблица 2 также может быть использована для других типов швов, например для Х-образных сварных швов, с разной толщиной основного металла или с утонением более толстого основного металла. В этом случае проверку выявляемости дефектов и контролируемый объем проверяют при помощи настроечных образцов. Выбор преобразователей для контроля всего контролируемого объема сварного соединения выполняют в соответствии с таблицей 2. Особо тщательно выбирают требуемую комбинацию параметров. Например, в диапазоне толщин от 15 до 35 мм частота 10 МГц, угол ввода 70° и размер пьезоэлемента 3 мм могут подойти для толщины 16 мм, но не для 32 мм.

Для уровней контроля А и В рекомендуется, чтобы TOFD-схема была проверена при помощи настроечных образцов.

Для уровней контроля С и D все выбранные схемы для объектов контроля проверяют при помощи настроечных образцов.

Если параметры схемы не соответствуют таблице 2, необходимо проверить выбранные характеристики при помощи настроечных образцов.

При контроле в процессе эксплуатации точку пересечения акустических осей излучающего и принимающего преобразователей задают для установленного контролируемого объема.

Т а б л и ц а 2 – Рекомендуемые TOFD-схемы для простых стыковых соединений в зависимости от толщины стенки

Толщина $t$ , мм	Количество TOFD-схем	Диапазон глубины $\Delta t$ , мм	Средняя частота $f$ , МГц	Угол ввода (продольные волны) $\alpha$	Размер пьезоэлемента, мм	Пересечение акустических осей
6-10	1	$0 - t$	15	$70^0$	2-3	$2/3t$
>10-15	1	$0 - t$	15-10	$70^0$	2-3	$2/3t$
>15-35	1	$0 - t$	10-5	$70^0 - 60^0$	2-6	$2/3t$
>35-50	1	$0 - t$	5-3	$70^0 - 60^0$	3-6	$2/3t$
>50-100	2	$0 - t/2$	5-3	$70^0 - 60^0$	3-6	$2/6t$
		$t/2 - t$	5-3	$60^0 - 45^0$	6-12	$5/6t$
>100-200	3	$0 - t/3$	5-3	$70^0 - 60^0$	3-6	$2/9t$
		$t/3 - 2t/3$	5-3	$60^0 - 45^0$	6-12	$5/9t$
		$2t/3 - t$	5-2	$60^0 - 45^0$	6-20	$8/9t$
> 200 - 300	4	$0 - t/4$	5-3	$70^0 - 60^0$	3-6	$2/12t$
		$t/4 - t/2$	5-3	$60^0 - 45^0$	6-12	$5/12t$
		$t/2 - 3t/4$	5-2	$60^0 - 45^0$	6-20	$8/12t$
		$3t/4 - t$	3-1	$50^0 - 40^0$	10-20	$11/12t$ ; или $t$ для $\alpha \leq 45^0$

### 8.3 Шаг записи развертки

Выбор шага записи развертки зависит от контролируемой толщины стенки. Для толщин менее 10 мм шаг записи развертки должен быть не более 0,5 мм. Для толщин от 10 до 150 мм шаг записи развертки должен быть не более 1 мм. Для толщины свыше 150 мм должен использоваться шаг сканирования не более 2 мм.

#### **8.4 Анализ геометрических параметров изделия**

При внешнем осмотре следует уделять внимание сварным соединениям сложной формы, например, разнотолщинным, угловым сварным соединениям или приварке штуцеров. Так как метод TOFD основан на измерениях временных интервалов прохождения звуковых волн, проходящих самый короткий путь между точкой излучения и точкой приема через точки отражения или дифракции, то некоторые зоны контроля могут быть недоступны. Дополнительные сканирования во многих случаях помогут решить эту проблему. Разработка контроля объектов сложной геометрической формы требует знаний в области распространения звука, изготовления настроечных образцов, современного программного обеспечения, а также обладания знаниями, которые не ограничиваются содержанием настоящего стандарта.

#### **8.5 Подготовка поверхностей сканирования**

Поверхность сканирования должна быть очищенной и достаточной для проведения указанного объема контроля.

Поверхность сканирования должна быть ровной и не иметь загрязнений, которые могут негативно повлиять на акустический контакт (например, ржавчина, рыхлая окалина, брызги металла, зарубки, бороздки). Зазор между поверхностью и преобразователем в результате волнистости изделия не должен быть более 0,5 мм. При необходимости эти требования должны быть обеспечены путём обработки сканируемой поверхности.

Поверхности сканирования можно принять за удовлетворительные, если их шероховатость (Ra) составляет не более, чем 6,3 мкм для поверхностей с машинной обработкой и не более 12,5 мкм для поверхностей с дробеструйной обработкой.

## **8.6 Температура**

При использовании типовых преобразователей и контактных сред температура поверхности объекта контроля должна быть в диапазоне от 0 °С до 50 °С.

Для температур вне этого диапазона проводят проверку пригодности оборудования.

## **8.7 Контактная среда**

Для получения точных изображений следует использовать контактную среду, которая обеспечивает стабильный акустический контакт между преобразователями и изделием.

Контактная среда, используемая при настройке, должна быть той же, как и при последующем контроле.

## **8.8 Система отсчета**

В целях обеспечения повторяемости результатов контроля следует применять постоянную систему отсчета.

## **9 Контроль основного материала**

Основной материал предварительно не проверяют на расслоения (обычно с использованием ультразвукового контроля прямым преобразователем), так как они будут обнаружены во время TOFD-контроля сварного соединения. Тем не менее, наличие несплошностей в основном материале, прилегающем к сварному шву, может привести к ограничению контролируемых зон или вызвать трудности в интерпретации полученных данных.

## **10 Настройка диапазона развертки и чувствительности**

### **10.1 Настройка**

#### **10.1.1 Общие положения**

Настройку диапазона развертки и чувствительности выполняют перед проведением контроля в соответствии с настоящим стандартом и ISO 16828. Любые изменения TOFD-схемы, например, изменение расстояния между центрами преобразователей (PCS), требуют новой настройки.

Шумы следует минимизировать, например усреднением сигнала.

#### **10.1.2 Временная развертка**

Временная развертка должна охватывать как минимум диапазон глубины, указанный в таблице 2;

а) для контроля всей толщины с использованием только одной TOFD-схемы развертка должна начинаться по времени как минимум за 1 мкс до времени прихода LW-сигнала и, если это возможно, должна включать первый эхо-сигнал от противоположной поверхности трансформированной (поперечной) волны;

б) если используется больше, чем одна схема, временные развертки должны перекрывать по крайней мере 10 % диапазона глубины.

Начало и ширину временных разверток проверяют на объекте контроля.

#### **10.1.3 Настройка глубиномера**

Для отдельно взятого PCS настройку глубиномера лучше выполнять, используя LW-сигнал и сигнал от противоположной поверхности с известной скоростью звука в материале.

Эту настройку необходимо проверять (для всех уровней контроля) на подходящем образце известной толщины (точность по толщине 0,05 мм). По крайней мере одно измерение глубины должно быть выполнено в

контролируемом диапазоне глубин, как правило, с записью как минимум 20 А-разверток.

Точность измеренной толщины или глубины должна быть в пределах 0,2 мм действительной или известной толщины или глубины. Для криволинейных поверхностей могут понадобиться геометрические поправки.

#### **10.1.4 Настройка чувствительности**

Для всех уровней контроля настройку чувствительности выполняют на объекте контроля. Амплитуда LW-сигнала должна быть между 40 % и 80 % полной высоты экрана (FSH). В случаях, где использование LW-сигнала не предусмотрено (например, состояние поверхности, применение малого угла ввода), чувствительность должна быть настроена таким образом, чтобы амплитуда сигнала от противоположной поверхности была между 18 и 30 дБ выше FSH. Если отсутствует возможность использования LW-сигнала или сигнала от противоположной поверхности, то чувствительность настраивают таким образом, чтобы амплитуда от шумов, обусловленных зернистостью материала, находилась между 5 % и 10 % FSH.

Для уровней контроля В, С и D чувствительность проверяют при помощи настроечных образцов, содержащих механически изготовленные несплошности (пазы, боковые сверления и т. п.) (см. 10.3).

#### **10.2 Проверка настройки**

Проверка настройки чувствительности должна проводиться не реже чем каждые 4 часа и по завершении контроля. Проверка настройки также должна проводиться всякий раз, когда системный параметр изменен или предполагают изменения в аналогичных параметрах. Если для первоначальных настроек использовался настроечный образец, то для проверки нужно брать тот же самый настроечный образец. В качестве альтернативы можно использовать меньший образец с известными акустическими свойствами.

Если настроечный образец не использовался для настройки, а вместо него использовался сам объект контроля, то последующие проверки выполняют в том же месте на объекте контроля, на котором проводилась настройка.

Если во время проведения этих проверок обнаружены отклонения от изначально установленных параметров в соответствии с 10.1.3 и 10.1.4, то необходимо выполнить коррекции в соответствии с таблицей 3.

Т а б л и ц а 3 – Коррекция чувствительности и диапазона

<b>Чувствительность</b>	
Отклонения $\leq 6$ дБ	Действий не требуется; данные можно откорректировать программными средствами
Отклонения $> 6$ дБ	Настройки корректируют и весь контроль, выполненный с момента последней удовлетворительной проверки, необходимо повторить.
<b>Диапазон</b>	
Отклонения $\leq 0,5$ мм или 2 % от диапазона глубины - что больше	Действий не требуется
Отклонения $> 0,5$ мм или 2 % от диапазона глубины – что больше	Настройки нужно скорректировать и весь контроль, выполненный с момента последней удовлетворительной проверки, нужно повторить

## **10.3 Настроечные образцы**

### **10.3.1 Общие положения**

В зависимости от уровня контроля настроечный образец используют для определения соответствия требованиям контроля (например, контролируемый объем, настройка чувствительности). Рекомендации для настроечных образцов приведены в приложении А.

### **10.3.2 Материал**

Настроечный образец изготавливают из того же или аналогичного по акустическим свойствам материала, что и объект контроля (например, с учетом скорости звука, металлической структуры и состояния поверхности материала).

### **10.3.3 Размеры и форма**

Толщину настроечного образца выбирают в зависимости от толщины объекта контроля. Поэтому толщина должна быть ограничена минимальной и максимальной величиной, относящейся к толщине объекта контроля.

Рекомендуется, чтобы толщина настроечных образцов была от 0,8 до 1,5 толщины объекта контроля при максимальной разности в толщине 20 мм по сравнению с объектом контроля. Необходимо убедиться, что угол, образованный центральной линией между преобразователями и линией, проходящей через точку выхода преобразователя и точку пересечения вышеуказанной линии с донной поверхностью, составляет не менее  $40^\circ$  (см. рисунок А.1). Минимальную толщину настроечного образца выбирают так, чтобы точка пересечения акустических осей выбранной схемы всегда находилась в пределах настроечного образца (см. рисунок А.2).

Длина и ширина настроечного образца должны быть выбраны таким образом, чтобы все искусственные несплошности в пределах контролируемой зоны могли быть обнаружены в соответствующем диапазоне сканирования.

Для контроля продольных сварных соединений в цилиндрических объектах используют настроечные образцы диаметром от 0,9 до 1,5 от диаметра объекта контроля. Для объектов контроля диаметром 300 мм и более допускается использовать плоские настроечные образцы.

### **10.3.4 Настроечные отражатели**

Для толщин от 6 до 25 мм требуется как минимум 3 настроечных отражателя, для толщин более 25 мм требуется не менее 5 настроечных отражателей. Типовые настроечные отражатели - это боковые цилиндрические отверстия и пазы. Возможно использование пазов различных форм при условии, что они образуют дифрагированные волны.

## **11 Контроль сварных соединений**

Два преобразователя перемещаются параллельно сварному шву на фиксированном расстоянии и ориентированы определенным образом относительно оси сварного шва.

Для обнаружения и определения размеров несплошностей должны использоваться данные, полученные во время сканирования. Оценка TOFD-индикаций, полученных во время первоначального сканирования, может потребовать дополнительного проведения смещенного сканирования, сканирования перпендикулярно оси несплошности, или использования дополнительных TOFD-схем.

Скорость сканирования следует выбирать такой, чтобы получались удовлетворительные изображения (см. 12.2). Скорость сканирования зависит от шага сканирования, усреднения сигнала, частоты следования импульсов, частоты оцифровки данных и контролируемого объема. Пропущенные линии развертки могут указывать на слишком высокую скорость сканирования. На одиночном изображении может отсутствовать максимум 5% от общего числа собранных линий, при условии, что они не смежные.

Если сварное соединение разделяют на несколько участков сканирования, то эти участки при сканировании должны перекрываться не менее чем на 20 мм. При сканировании кольцевого сварного соединения необходимо обеспечить такое же перекрытие между окончанием последнего и началом первого участка.

Снижение амплитуды LW-сигнала, сигнала от противоположной поверхности, шума, обусловленного зернистостью металла, или трансформированных сигналов в процессе сканирования более чем на 12 дБ может указывать на отсутствие акустического контакта (см. рисунки В.7 и В.8). При отсутствии акустического контакта повторно сканируют соответствующую область. Если результаты сканирования неудовлетворительные, необходимо принять соответствующие меры.

При чрезмерном увеличении LW-сигнала или шума, обусловленном зернистостью ( $> 20 \% \text{ FSH}$ ), при проведении сканирования принимаются корректирующие меры, и проводится повторное сканирование.

## **12 Расшифровка и анализ TOFD-изображений**

### **12.1 Общие положения**

Расшифровка и анализ TOFD-изображений обычно осуществляется в следующем порядке:

- a) оценка качества TOFD-изображения;
- b) анализ пригодных для оценки TOFD-индикаций и исключение ложных индикаций;
- c) классификация соответствующих TOFD-индикаций на:
  - 1) внутренние (протяженные, точечные);
  - 2) выходящие на поверхность;
- d) определение координат (обычно положение в x- и z-направлении) и размеров индикаций (протяженность, высота и глубина);
- e) оценка в соответствии с критериями приемки.

## **12.2 Оценка качества TOFD-изображений**

TOFD-контроль должен выполняться так, чтобы получались изображения удовлетворительного качества, которые в дальнейшем можно уверенно оценивать. Качество TOFD-изображений считается удовлетворительным, если:

- a) имеется акустический контакт (в соответствии с 8.7 и разделом 11);
- b) собраны данные (в соответствии с разделом 11);
- c) настроена чувствительность (в соответствии с 10.1.4);
- d) настроена длительность развертки (в соответствии с 10.1.2).

Оценку качества TOFD-изображений должен проводить квалифицированный и опытный персонал (см. 7.1). Вышеуказанный персонал должен принять решение, требуют ли изображения с неудовлетворительным качеством повторного сканирования для получения новых данных.

Примеры изображений с неудовлетворительным качеством приведены в приложении В.1.

## **12.3 Анализ пригодных для оценки TOFD-индикаций**

TOFD-изображения удовлетворительного качества рассматривают на наличие TOFD-индикаций. TOFD-индикации должны быть распознаны по набору сигналов или изменению в изображениях.

С помощью метода TOFD могут выявляться как несплошности в сварном шве, так и особенности геометрии объекта контроля. Для того чтобы выделить TOFD-индикации, которые связаны с особенностями геометрии, необходима более подробная информация об объекте контроля. Эти TOFD-индикации могут быть вызваны формой объекта контроля и не подлежать дальнейшей оценке. Примеры TOFD-индикаций, связанных с особенностями геометрии, приведены в приложении В.3.

Для определения TOFD-индикации от несплошности, необходимо оценивать набор сигналов или соответствующее изменение изображения на экране с учетом

формы и амплитуды сигнала по отношению к общему уровню шума. Для оценки этой TOFD-индикации, следует оценивать значение градации серого по отношению к соседним участкам изображения.

## **12.4 Классификация пригодных для оценки TOFD-индикаций**

### **12.4.1 Общие положения**

Амплитуда, фаза, расположение и форма пригодных для оценки TOFD-индикаций могут содержать информацию о типе несплошности.

Пригодные для оценки TOFD-индикации классифицируются как от несплошностей, выходящих на поверхность, либо от внутренних, путем анализа следующих характеристик:

- a) отклонение LW-сигнала;
- b) отклонение сигнала от противоположной поверхности;
- c) наличие TOFD-индикации между LW-сигналом и сигналом от противоположной поверхности;
- d) фаза TOFD-индикаций между LW-сигналом и сигналом от противоположной поверхности;
- e) наличие трансформированных сигналов после первого сигнала от противоположной поверхности.

Некоторые типовые TOFD-изображения несплошностей в сварных соединениях, полученных сваркой плавлением, приведены в приложении В.2.

### **12.4.2 Индикации от несплошностей, выходящих на поверхность**

#### **12.4.2.1 Общие положения**

Несплошности, выходящие на поверхность, можно разделить на три типа (12.4.2.2 - 12.4.2.4).

#### **12.4.2.2 Несплошности, выходящие на поверхность сканирования**

Данный тип несплошности проявляется в виде индикации, вызванной сигналом от нижнего края несплошности, и ослаблением или потерей LW-сигнала (не всегда наблюдается). Индикация от нижнего края может быть скрыта LW-сигналом, но, как правило, её можно наблюдать в части изображения трансформированного сигнала. При фиксации малых несплошностей можно наблюдать лишь небольшую задержку LW-сигнала.

#### **12.4.2.3 Несплошности, выходящие на противоположную поверхность**

Данный тип несплошности проявляется в виде индикации от верхнего края несплошности, и ослаблением, потерей или задержкой сигнала от противоположной поверхности (не всегда наблюдается).

#### **12.4.2.4 Сквозная несплошность**

Данный тип несплошности проявляется как потеря или ослабление как LW-сигнала, так и сигнала от противоположной поверхности, сопровождаемое дифракционными сигналами от обоих концов несплошности.

### **12.4.3 TOFD-индикации от внутренних несплошностей**

#### **12.4.3.1 Общие положения**

TOFD-индикации от внутренних несплошностей обычно не изменяют вид LW-сигнала или сигнала от противоположной поверхности.

Внутренние несплошности можно разделить на три категории (12.4.3.2 - 12.4.3.4).

#### **12.4.3.2 Точечная несплошность**

Данный тип несплошности проявляется как отдельная индикация кривой гиперболической формы, которая может находиться на любой глубине.

### **12.4.3.3 Протяженная несплошность с неизмеряемой высотой**

Данный тип несплошности проявляется как протяженная индикация на экране, соответствующая видимому сигналу от верхнего края.

### **12.4.3.4 Протяженная несплошность с измеряемой высотой**

Данный тип несплошности проявляется в виде двух индикаций на экране, расположенных на разных глубинах, соответствующих нижнему и верхнему краям несплошности. Индикация нижнего края, как правило, совпадает по фазе с LW-сигналом, а индикация верхнего края, как правило, совпадает по фазе с отражением от противоположной поверхности.

### **12.4.4 Неклассифицированные несплошности**

Индикации, которые не могут быть классифицированы в соответствии с 12.4.2 и 12.4.3, могут потребовать дополнительного контроля и анализа.

## **12.5 Определение места расположения**

Место расположение несплошности в  $x$ - и  $z$ -направлениях, как указано в ISO 16828, определяются по данным, собранным в соответствии с разделом 11.

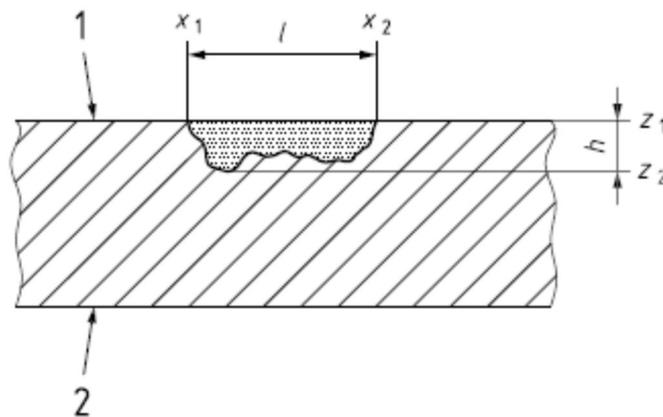
Место расположение точечных несплошностей характеризуется в достаточной мере  $x$ - и  $z$ -координатами. Место расположение протяженных несплошностей должно характеризоваться  $x$ - и  $z$ -координатами их крайних точек.

Если требуется положение по  $y$ -координате, как указано в ISO 16828, необходимы дополнительные сканирования. Если требуются данные по более точному месту расположения, то может понадобиться алгоритм реконструкции, например, можно использовать метод искусственной фокусировки апертуры (SAFT).

## 12.6 Определение протяженности и высоты

### 12.6.1 Общие положения

Размер несплошности определяется ее протяженностью и высотой. Протяженность определяется разностью  $x$ -координат крайних точек TOFD-индикации. Высота определяется максимальной разностью  $z$ -координат TOFD-индикации для любой возможной  $x$ -позиции. См. Рисунки 1, 2 и 3.



1 Поверхность сканирования

2 противоположная поверхность

$x_1$  Начальное положение несплошности

$x_2$  Конечное положение несплошности

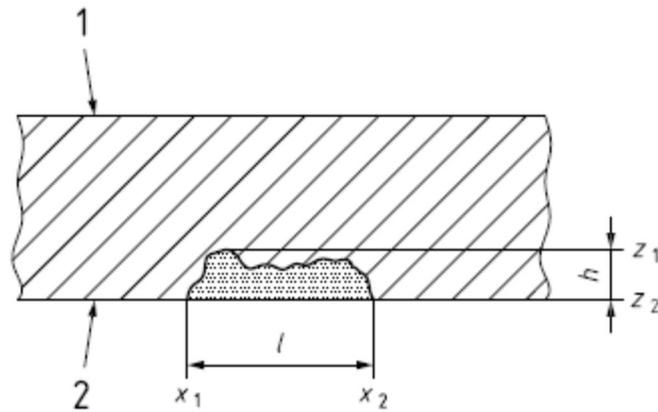
$z_1$  Начальная глубина несплошности

$z_2$  Конечная глубина несплошности

$h = z_2 - z_1$  высота

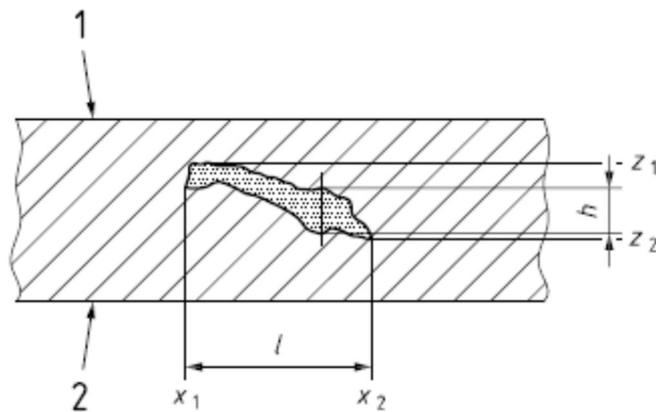
$l = x_2 - x_1$  протяженность

Рисунок 1- Определение протяженности и высоты несплошности, выходящей на поверхность сканирования



- |   |  |
|---|--|
| <i>1</i> Сканируемая поверхность                      | <i>z<sub>1</sub></i> Начальная глубина несплошности    |
| <i>2</i> Противоположная поверхность                  | <i>z<sub>2</sub></i> Конечная глубина несплошности     |
| <i>x<sub>1</sub></i> Начальное положение несплошности | <i>h = z<sub>2</sub> - z<sub>1</sub></i> высота        |
| <i>x<sub>2</sub></i> Конечное положение несплошности  | <i>l = x<sub>2</sub> - x<sub>1</sub></i> протяженность |

Рисунок 2 - Определение протяженности и высоты несплошности, выходящей на противоположную поверхность



- |   |  |
|---|--|
| <i>1</i> Поверхность сканирования                     | <i>z<sub>1</sub></i> Начальная глубина несплошности    |
| <i>2</i> противоположная поверхность                  | <i>z<sub>2</sub></i> Конечная глубина несплошности     |
| <i>x<sub>1</sub></i> Начальное положение несплошности | <i>h</i> высота (не обязательно равна $z_2 - z_1$ )    |
| <i>x<sub>2</sub></i> Конечное положение несплошности  | <i>l = x<sub>2</sub> - x<sub>1</sub></i> протяженность |

Рисунок 3 - Определение протяженности и высоты внутренних несплошностей

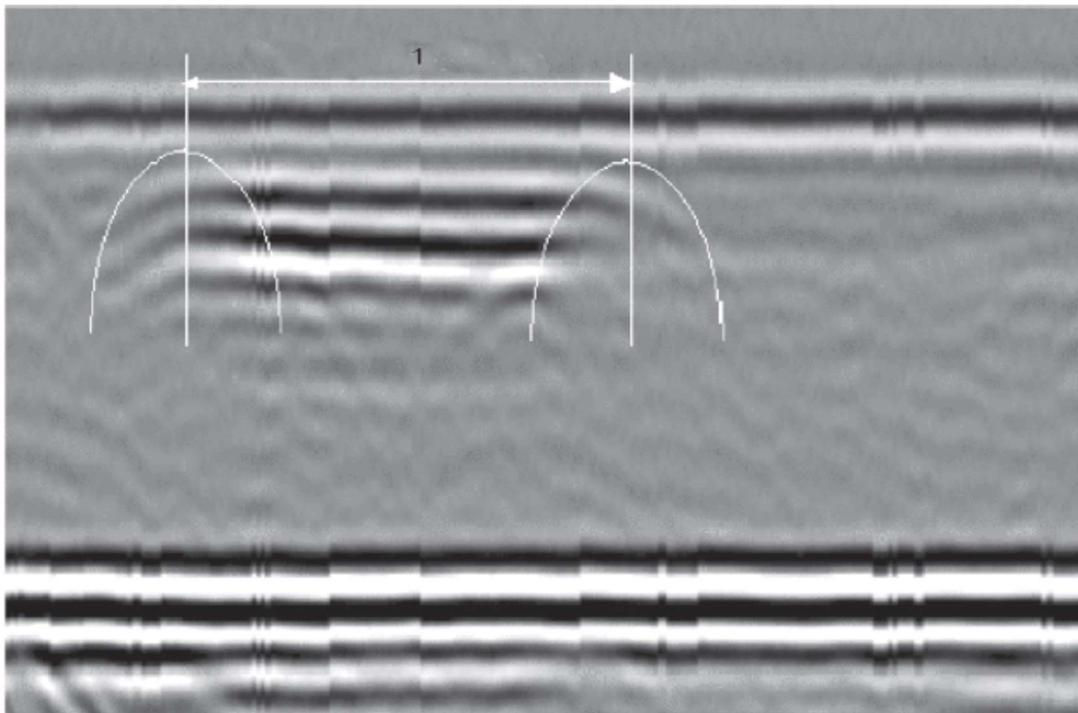
## 12.6.2 Определение протяженности

### 12.6.2.1 Общие положения

В зависимости от типа индикации, протяженность определяется одним из способов в соответствии с 12.6.2.2 или 12.6.2.3.

### 12.6.2.2 Определение протяженности внутренних индикаций

Параболический курсор устанавливается на индикацию. Предполагая, что несплошность имеет протяженность и конечную длину, курсоры устанавливаются на каждом ее конце. Расстояние между положениями установленных на каждом конце курсоров, считается протяженностью несплошности (см. рисунок 4).



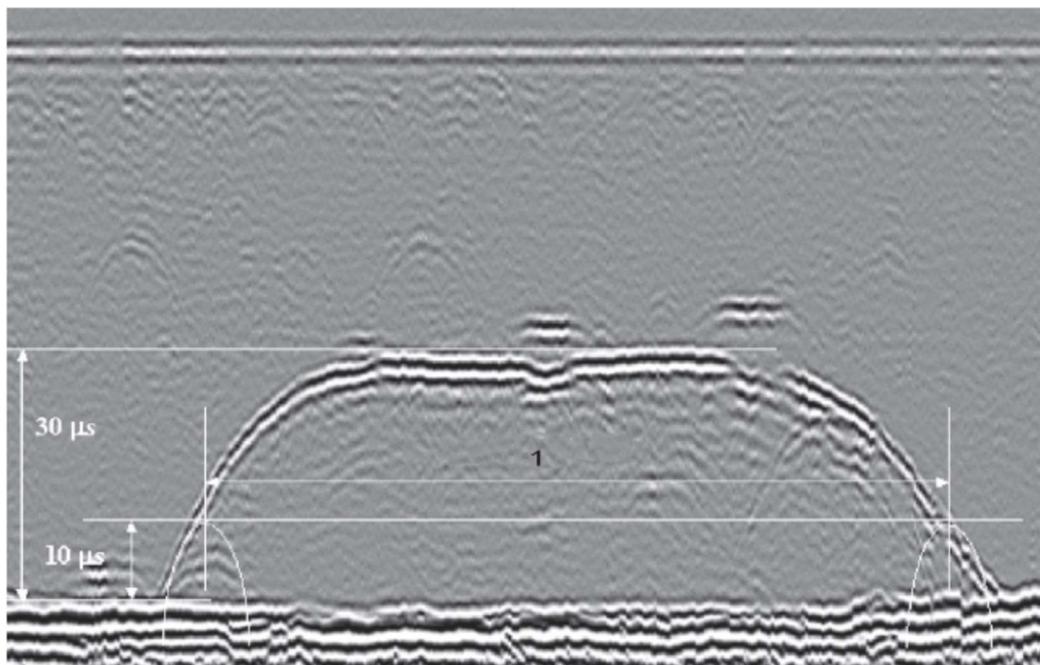
*l* протяженность

Рисунок 4 - Определение протяженности с использованием параболических курсоров

### 12.6.2.3 Определение протяженности непрямолинейных индикаций имеющих протяженность и признак выхода на поверхность

Этот тип индикации существенно смещается в направлении толщины стенки.

Параболические курсоры располагаются на обоих концах индикации с временной задержкой на одну треть от ее высоты. Расстояние между положениями установленных на каждом конце курсоров, считается протяженностью несплошности (см. рисунок 5).



*1 протяженность*

Рисунок 5 - Определение протяженности непрямолинейных индикаций, выходящих на поверхность

## 12.6.3 Определение высоты

### 12.6.3.1 Общие положения

Измерение высоты следует выполнять с помощью А-скана и путем выбора последовательного положения сигналов, если это применимо, с учетом фазы.

Рекомендуется использовать один из следующих методов (как показано на рисунке 6):

- метод 1: путем измерения времени между передними фронтами сигналов;
- метод 2: путем измерения времени между первыми пиками сигналов;
- метод 3: путем измерения времени между максимальными амплитудами;
- метод 4: путем измерения времени между местами первых изменений фаз сигналов.

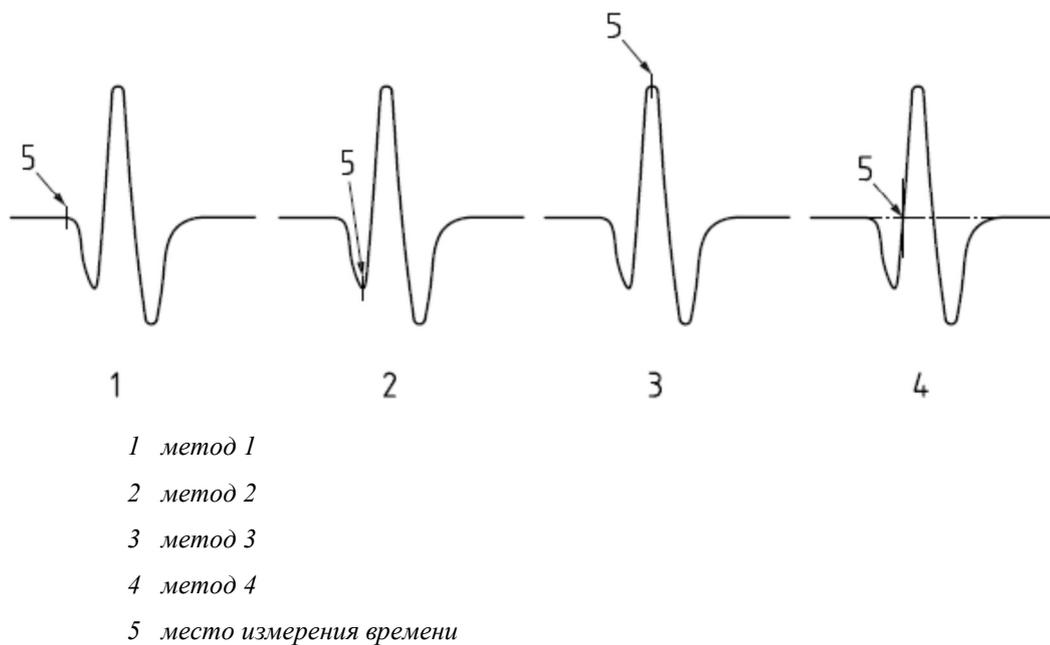


Рисунок 6 - Места установки курсора для измерения времени – Методы 1, 2, 3 и 4

### 12.6.3.2 Несплошности выходящие на поверхность

Высота индикации выходящей на поверхность сканирования определяется как максимальная разница между LW-сигналом и дифракционным сигналом от нижней кромки (см. рисунок 1).

Высота индикации выходящей на противоположную поверхность определяется как максимальная разница между дифракционным сигналом от

верхней кромки и сигналом отраженным от противоположной поверхности (см. рисунок 2).

### **12.6.3.3 Внутренние несплошности**

Высота индикации от внутренней несплошности определяется максимальной разницей между дифракционными сигналами от верхней и нижней границ при одной и той же позиции  $x$  (см. Рисунок 3).

### **12.7 Оценка по критериям приемки**

После классификации всех соответствующих TOFD-индикаций и определения их координат и размеров они должны быть оценены по установленным критериям приемки. На основе данной оценки TOFD-индикации можно разделить на две категории: «допустимые» и «недопустимые».

## **13 Протокол контроля**

Протокол контроля должен включать как минимум:

- a) ссылку на настоящий стандарт;
- b) данные об объекте контроля:
  - 1) идентификационные данные объекта контроля;
  - 2) размеры, включая толщину стенки;
  - 3) материал и форма изделия;
  - 4) геометрические размеры;
  - 5) расположение контролируемых сварных соединений;
  - 6) технология сварки и термообработка;
  - 7) состояние поверхности и температура, если она выходит за пределы диапазона  $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ ;
  - 8) стадия, на которой выполняется контроль;
- c) информацию об оборудовании:

- 1) изготовитель и тип TOFD-оборудования, включая сканирующие устройства с идентификационными номерами, при необходимости;
  - 2) изготовитель, тип, частота, размер пьезоэлемента и угол (углы) ввода преобразователей с идентификационными номерами, при необходимости;
  - 3) подробное описание настроечных образцов с идентификационными номерами, при необходимости;
  - 4) тип используемой контактной среды;
- d) информацию о технологии контроля:
- 1) уровень контроля и ссылка на документальную процедуру, при необходимости;
  - 2) цель и контролируемый объем;
  - 3) информация о применяемой опорной точке и системе координат;
  - 4) параметры TOFD-схемы;
  - 5) способ и значения, используемые для настройки диапазона и чувствительности;
  - 6) информация об усреднении сигнала и настройках шага сканирования;
  - 7) данные о смещенных сканированиях, при необходимости;
  - 8) ограничение (отсутствие) доступа и отклонения от настоящего стандарта, если таковые имеются;
- e) информацию о результатах контроля:
- 1) TOFD-изображения по крайней мере тех мест, к которым относятся зарегистрированные TOFD- индикации;
  - 2) установленные критерии приемки;
  - 3) данные о классификации, координатах и размерах соответствующих TOFD- индикаций, и результаты их оценок;
  - 4) дата контроля;
  - 5) фамилии, подписи и данные о сертификации персонала.

## Приложение А

(справочное)

### Настроечные образцы

#### А.1 Требования к толщине

##### А.1.1. Общие положения

Толщина настроечных образцов должна соответствовать 10.3.3, А.1.2 и А.1.3.

##### А.1.2. Максимальная толщина

Толщина настроечного образца должна быть выбрана таким образом, чтобы угол, образованный центральной линией между преобразователями и линией, проходящей через точку выхода преобразователя и точку пересечения вышеуказанной линии с донной поверхностью, был не менее  $40^\circ$  (как показано на рисунке А.1), чтобы избежать отсутствия дифракции в зоне, прилегающей к противоположной поверхности образца.

Если  $Z$  - положение глубины точки пересечения,  $2S$  - расстояние между точками выхода преобразователей и  $\alpha$  - угол ввода выбранной схемы, то в соответствии с рисунком А.1 максимальная толщина  $t_{max}$  может быть рассчитана по формуле:

$$\left. \begin{array}{l} S = Z \operatorname{tg} \alpha \\ S = t_{max} \operatorname{tg} 40^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow Z \operatorname{tg} \alpha = t_{max} \operatorname{tg} 40^\circ \Rightarrow t_{max} = Z \left( \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} 40^\circ} \right)$$

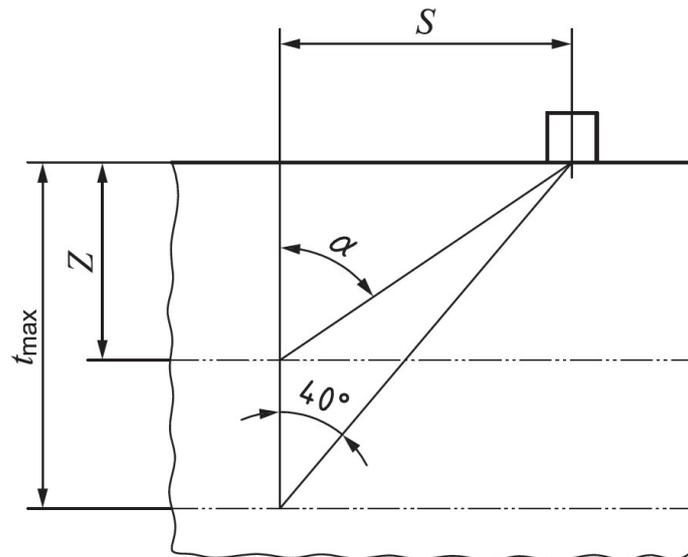
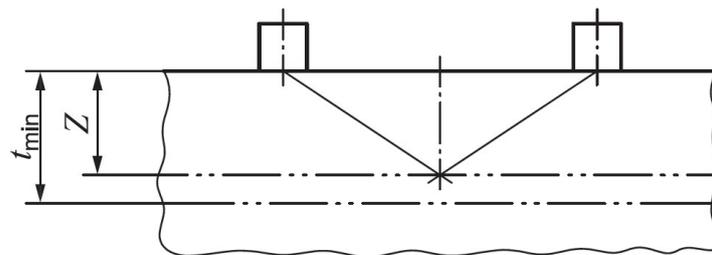


Рисунок А.1 - Ограничение максимальной толщины

### А.1.3 Минимальная толщина

Минимальную толщину  $t_{\min}$  настроечного образца выбирают таким образом, чтобы глубина  $Z$  точки пересечения акустических осей преобразователей выбранной схемы не выходила за пределы настроечного образца (см. рисунок А.2), т.е.  $t_{\min} \geq Z$ .



$t_{\min}$  – минимальная толщина настроечного образца;

$Z$  – глубина положения точки пересечения акустических осей преобразователей

Рисунок А.2 - Ограничение минимальной толщины

## А.2 Настраечные отражатели

Для толщин от 6 до 25 мм включительно рекомендуется как минимум 3 настраечных отражателя (см. рисунки А.4 и А.5). Отражатели могут быть выполнены механической обработкой на одном или нескольких образцах:

- один паз на противоположной поверхности образца длиной  $l_n$  и высотой  $h_n$  (см. таблицу А.1);
- одно боковое цилиндрическое отверстие диаметром 2 мм и длиной 30 мм, расположенное на глубине 4 мм от поверхности;
- одно боковое цилиндрическое отверстие диаметром  $D_d$  (см. таблицу А.2) и длиной 45 мм, расположенное на глубине  $t/2$  от поверхности. В качестве альтернативы может использоваться паз на сканируемой поверхности глубиной  $t/2$ , с углом при вершине, равным  $60^\circ$  (см. рисунок А.3), шириной  $d_{sn}$  (см. таблицу А.2) и минимальной длиной 40 мм.

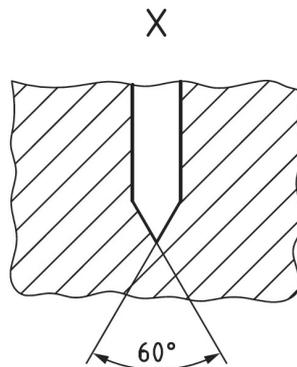


Рисунок А.3 - Вершина паза

Для толщин более 25 мм рекомендуется как минимум 5 настраечных отражателей (см. рисунки А.4 и А.5). Отражатели могут быть выполнены механической обработкой в одном или нескольких образцах:

- один паз на противоположной поверхности образца длиной  $l_n$  и высотой  $h_n$  (см. таблицу А.1);
- одно боковое цилиндрическое отверстие диаметром 2 мм и минимальной длиной 30мм, расположенное на глубине 4 мм от поверхности;

- три боковых цилиндрических отверстия диаметром  $D_d$  (см. таблицу А.2) и длиной  $l$  (см. таблицу А.3), расположенных на глубинах  $t/4$ ,  $t/2$  и  $3 t/4$  от поверхности. В качестве альтернативы могут использоваться три паза от поверхности сканирования глубиной  $t/4$ ,  $t/2$  и  $3 t/4$ , с углом при вершине, равным  $60^\circ$  (см. рисунки А3 и А4), шириной  $d_{sn}$  (см. таблицу А.2) и минимальной длиной 40 мм.

Предельные отклонения для всех размеров следующие:

- на диаметр -  $\pm 0,2$  мм;
- на длину -  $\pm 2$  мм;
- на угол -  $\pm 2^\circ$ .

Т а б л и ц а А.1 – Длина и глубина паза на противоположной поверхности настроечного образца

Толщина $t$ , мм	Длина паза $l_n$ , мм	Высота паза $h_n$ , мм
$6 < t \leq 40$	$t$	$1 \pm 0,2$
$40 < t \leq 60$	$40 \pm 2$	$2 \pm 0,2$
$60 < t \leq 100$	$50 \pm 2$	$2 \pm 0,2$
$t > 100$	$60 \pm 2$	$3 \pm 0,2$

Т а б л и ц а А.2 – Диаметр боковых цилиндрических отверстий и ширина поверхностных пазов

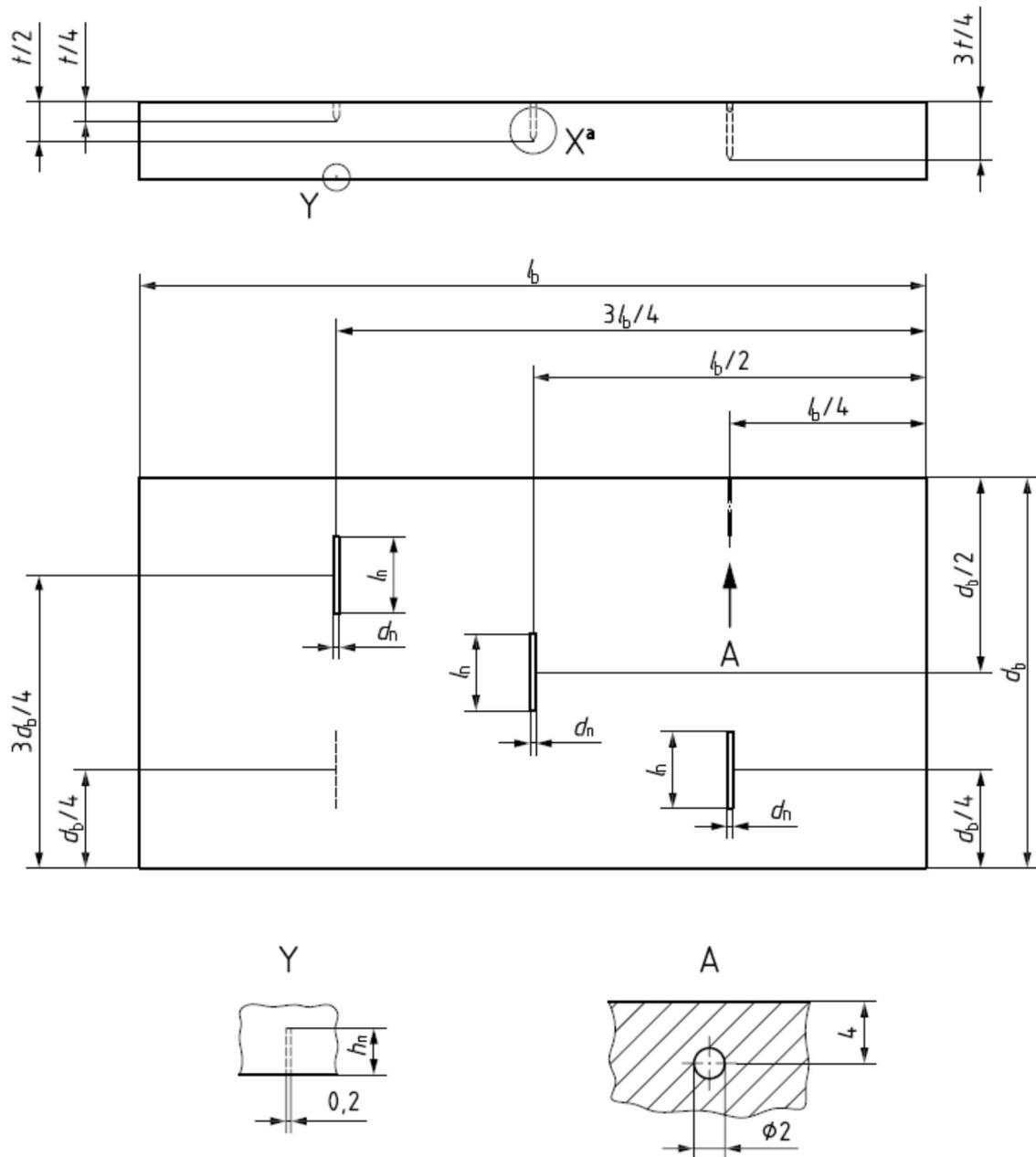
Толщина $t$ , мм	Диаметр бокового цилиндрического отверстия $D_d$ , мм	Ширина поверхностного паза $d_{sn}$ , мм
$6 < t \leq 25$	$2,5 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,2$
$25 < t \leq 50$	$3,0 \pm 0,2$	$3,0 \pm 0,2$
$50 < t \leq 100$	$4,5 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,2$
$t > 100$	$6,0 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,2$

Т а б л и ц а А.3 – Длина боковых цилиндрических отверстий и поверхностных пазов для толщин  $t$  свыше 25 мм

Глубина	Три боковых цилиндрических отверстия в одном образце	Три отдельных образца с одним боковым цилиндрическим отверстием в каждом	Три паза в одном образце	Три отдельных образца с одним пазом в каждом
	Минимальная длина, мм	Минимальная длина, мм	Минимальная длина, мм	Минимальная длина, мм
$t/4$	$l_o = 45$	45	40	40
$t/2$	$l_o + 15$	45	40	40
$3t/4$	$l_o + 30$	45	40	40

### А.3 Настроечные образцы

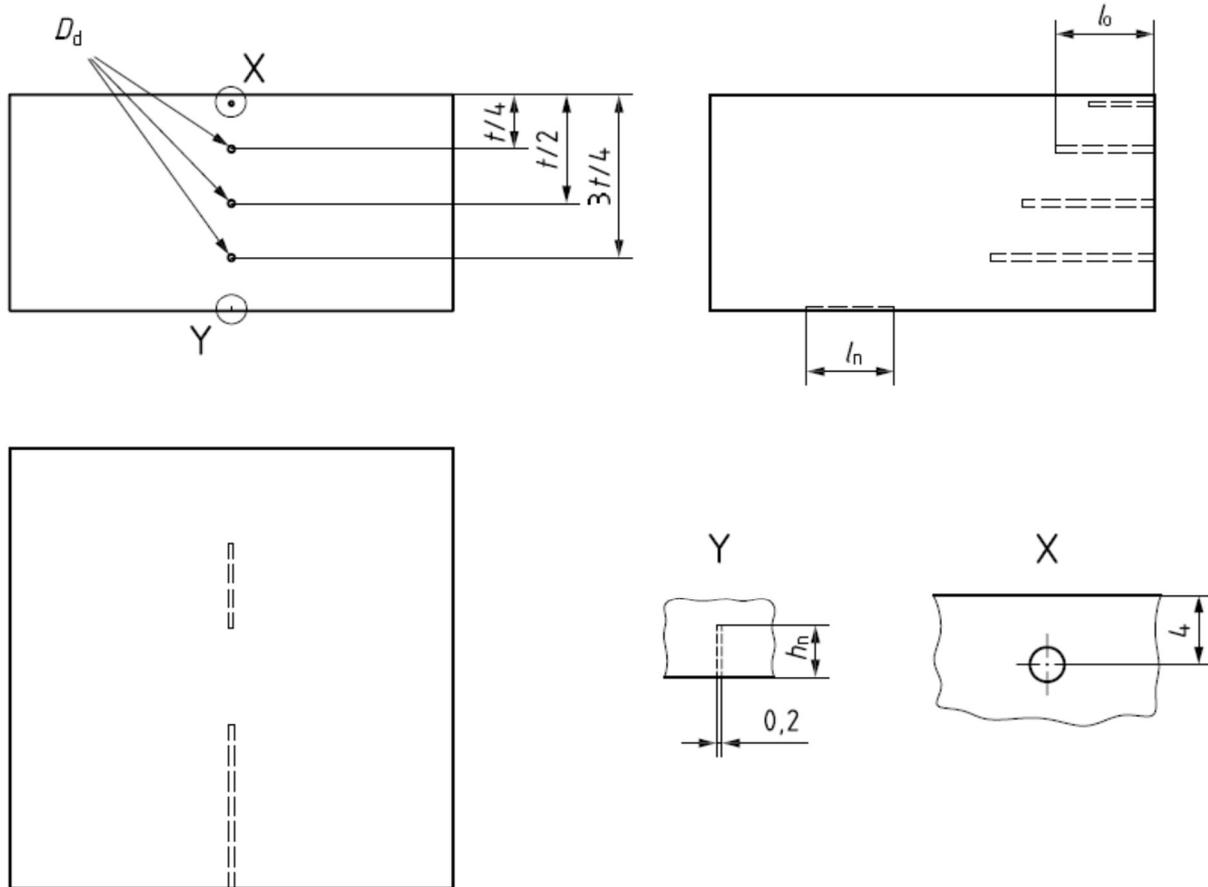
Примеры настроечных образцов, используемых при контроле методом TOFD, содержащих типовые настроечные отражатели, в соответствии с А.2, представлены на рисунке А.4 (с пазами) и на рисунке А.5 (с боковыми цилиндрическими отверстиями и пазом).



- $d_b$  – ширина образца
- $l_b$  – длина образца
- $t$  – толщина образца;
- $d_n$  – ширина паза
- $l_n$  – длина паза
- $h_n$  – высота паза;
- $a$  – см. Рисунок 3

Рисунок А.4 - Настраечный образец с пазами

Размеры в миллиметрах



$t$  – толщина образца;

$D_d$  – диаметр бокового цилиндрического отверстия;

$l_o$  – длина бокового цилиндрического отверстия;

$l_n$  – длина паза противоположной поверхности образца;

$h_n$  – глубина паза

Рисунок А.5 - Настроечный образец с боковыми цилиндрическими отверстиями и пазом

## Приложение В

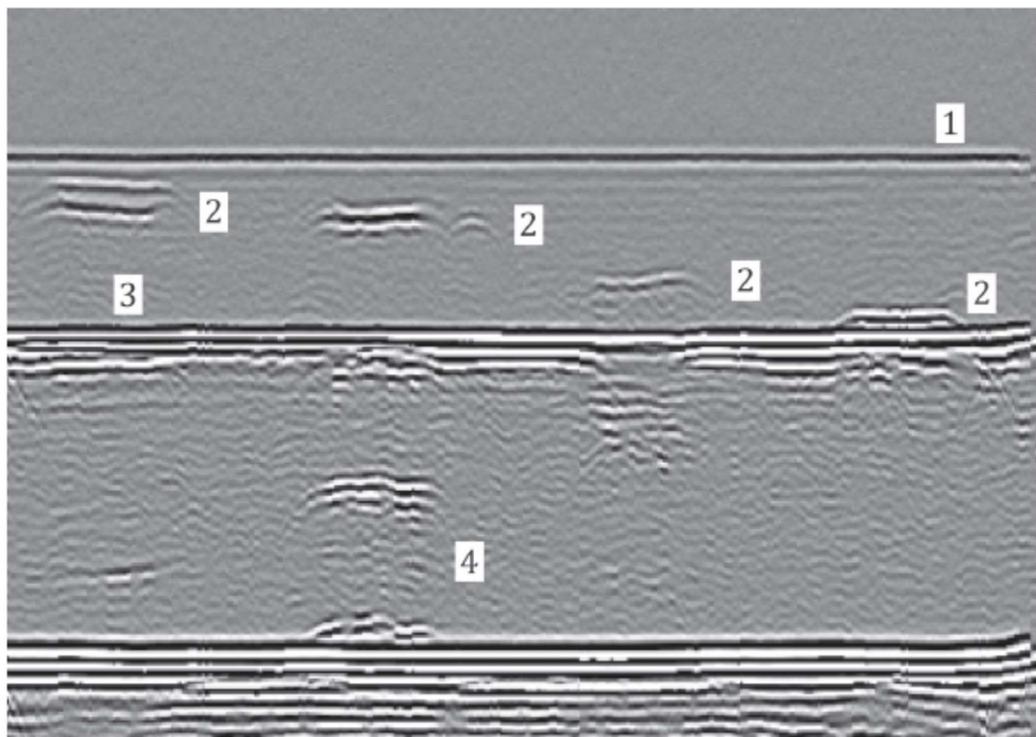
(справочное)

### Примеры результатов TOFD

#### В.1 TOFD-изображения удовлетворительного и неудовлетворительно качества

На рисунке В.1 представлено TOFD-изображение удовлетворительного качества, включающее:

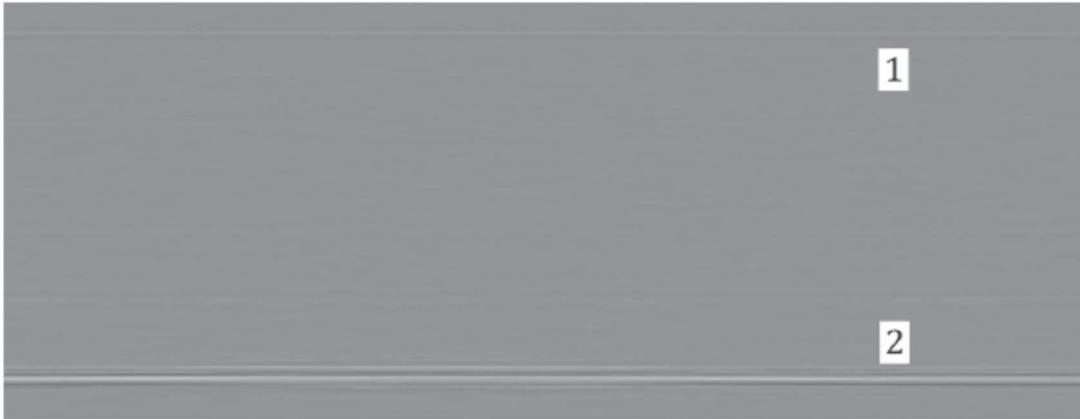
- свободный от помех LW-сигнал (амплитуда между 40 % и 80 % FSH);
- четыре TOFD-индикации от пазов на разных глубинах;
- прямое отражение от противоположной поверхности;
- трансформированные сигналы от пазов и противоположной поверхности.



- 1 LW-сигнал
- 2 индикация(и)
- 3 сигнал от противоположной поверхности
- 4 трансформированный(е) сигнал(ы)

Рисунок В.1 - TOFD-изображение удовлетворительного качества

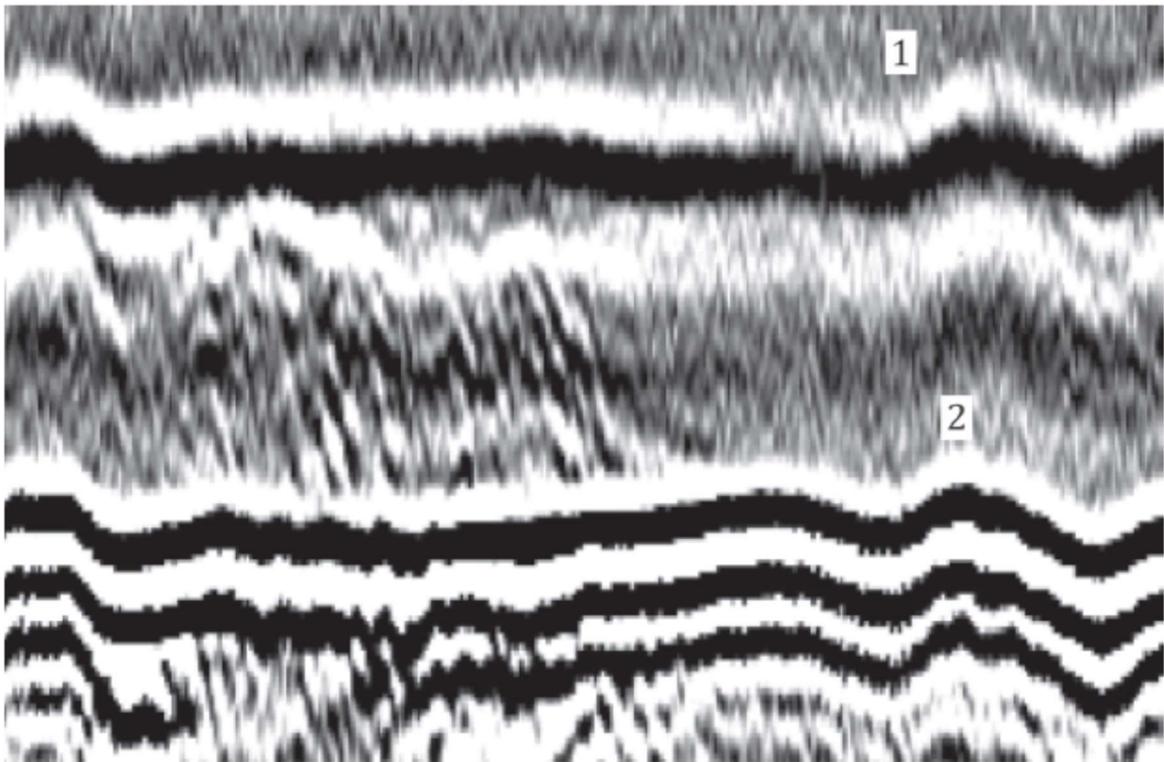
На рисунках В.2 – В.8 представлены TOFD-изображения неудовлетворительного качества.



*Амплитуда LW-сигнала значительно меньше 40% FSH*

- 1 LW-сигнал
- 2 сигнал от противоположной поверхности

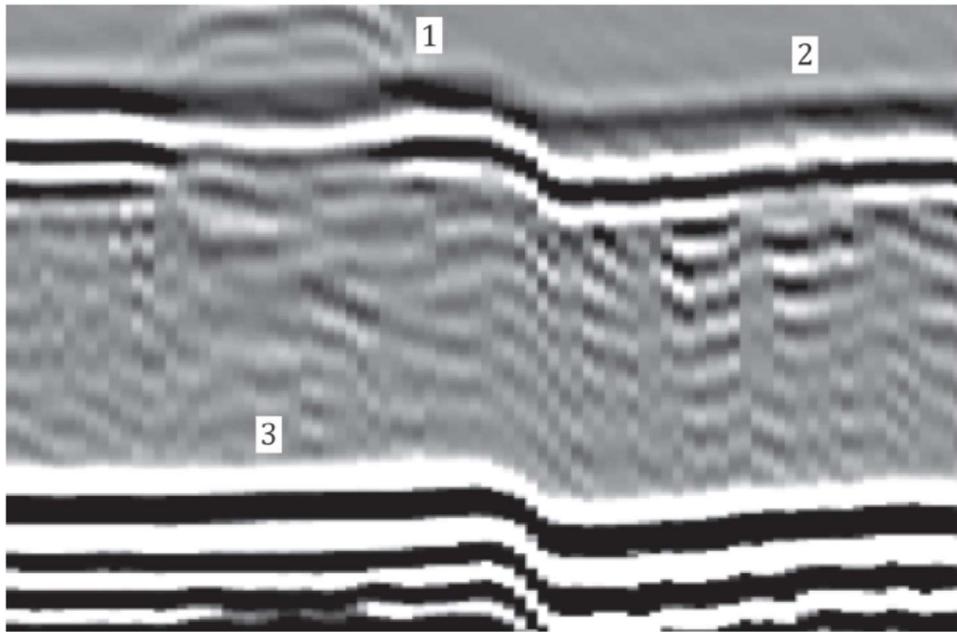
Рисунок В.2 - Установлено слишком низкое усиление



*Амплитуда LW-сигнала значительно больше 80 % FSH (перенасыщение)*

- 1 LW-сигнал
- 2 сигнал от противоположной поверхности

Рисунок В.3 - Установлено слишком высокое усиление



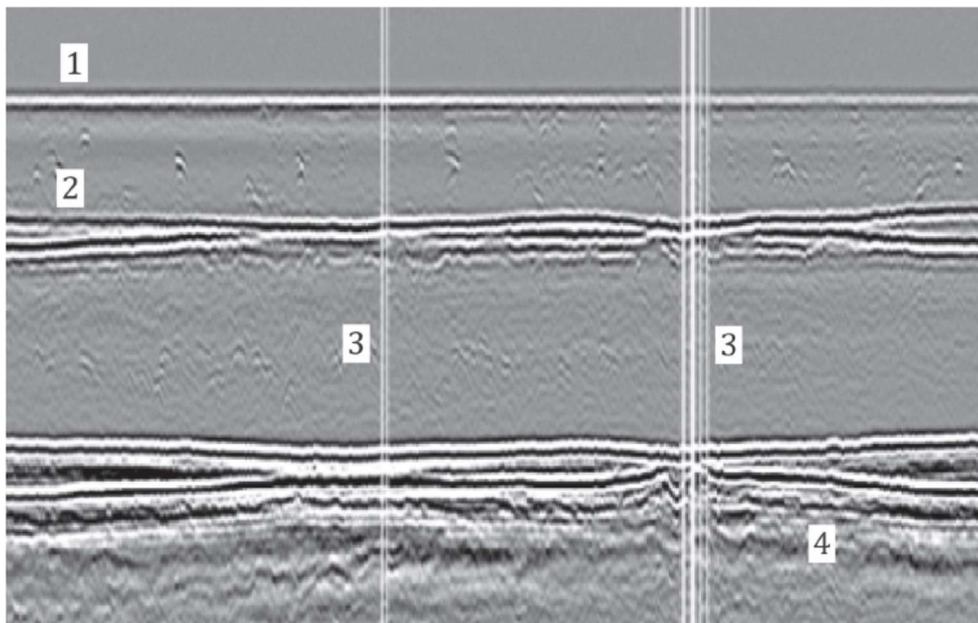
*LW-сигнал не представлен на развертке*

*1 индикация*

*3 трансформированный сигнал*

*2 сигнал от противоположной поверхности*

Рисунок В.4 - Неудовлетворительная настройка развертки



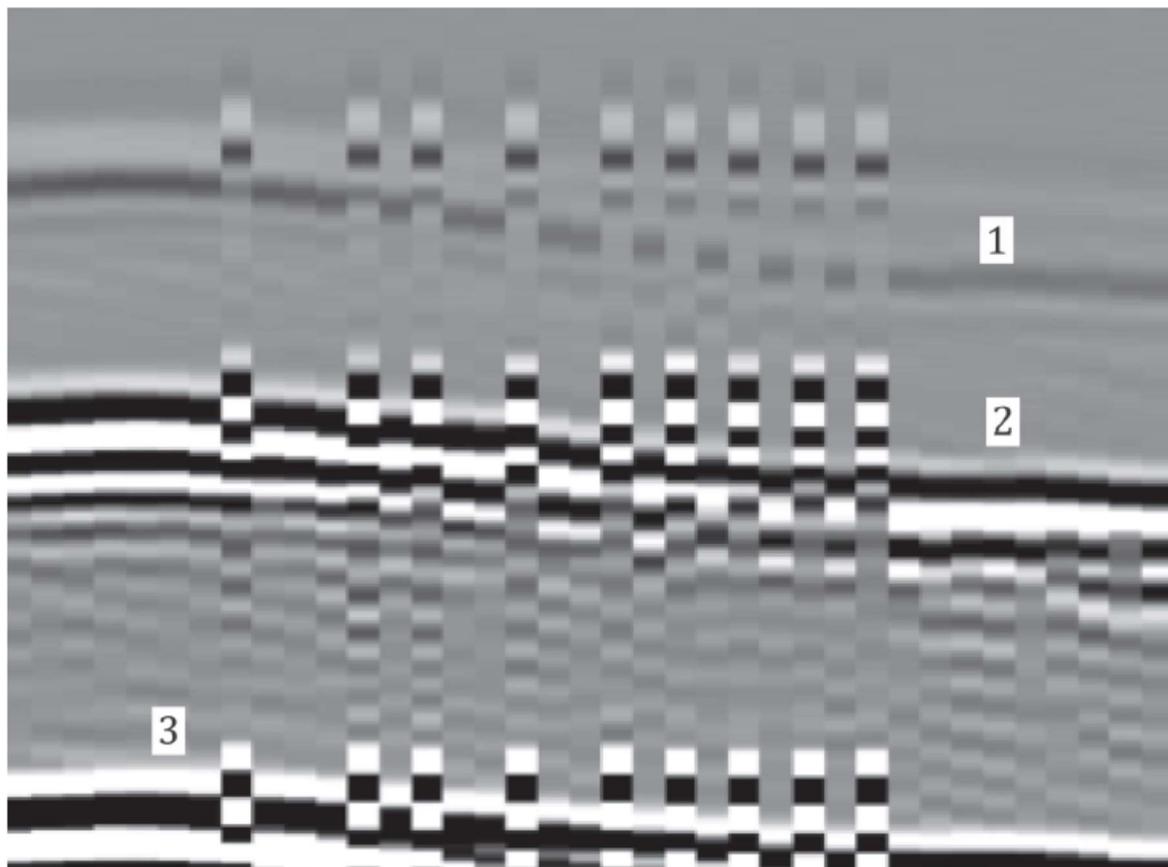
*1 LW-сигнал*

*3 пропущенные линии сканирования*

*2 сигнал от противоположной поверхности*

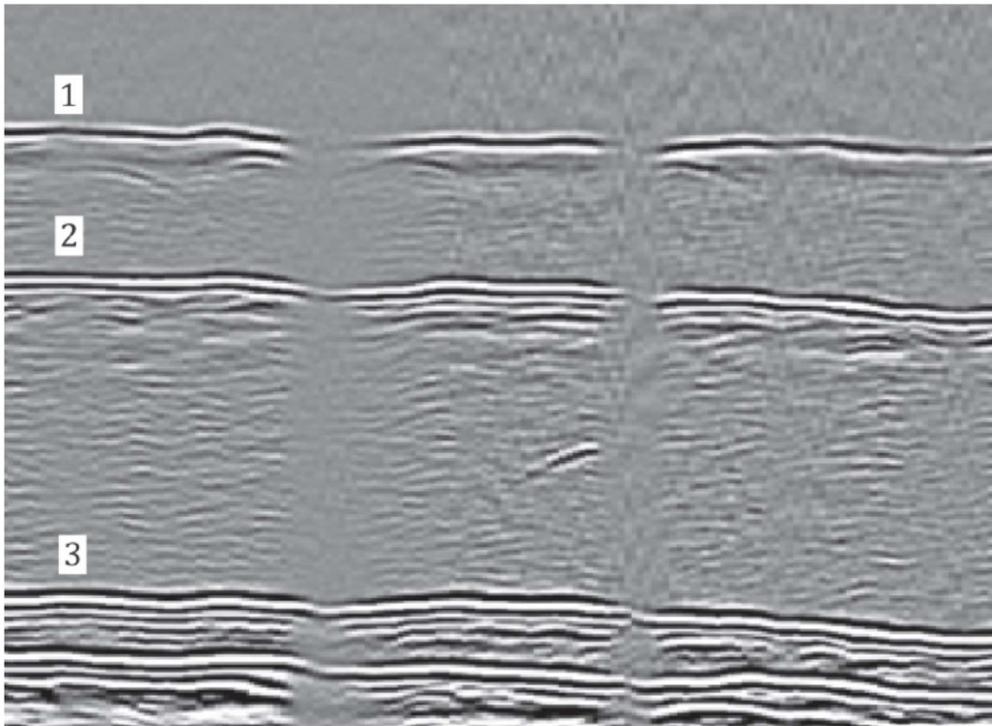
*4 трансформированный сигнал*

Рисунок В.5 - Пропущенные линии сканирования



- 1 *LW-сигнал*
- 2 *сигнал от противоположной поверхности*
- 3 *трансформированный сигнал*

Рисунок В.6 - Некорректная синхронизация временной оси развертки

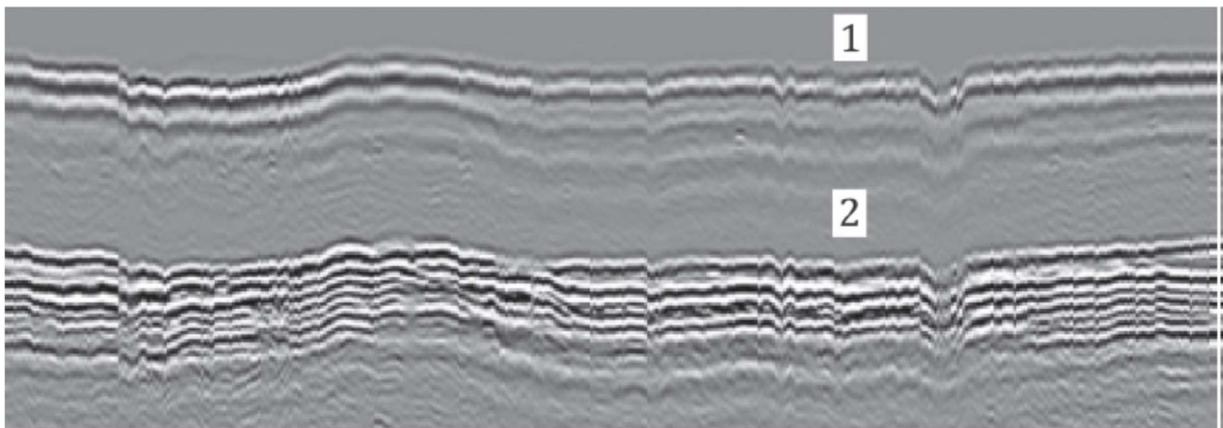


1 *LW-сигнал*

3 *трансформированный сигнал*

2 *сигнал от противоположной поверхности*

Рисунок В.7 - Потеря сигналов из-за недостатка контактной среды



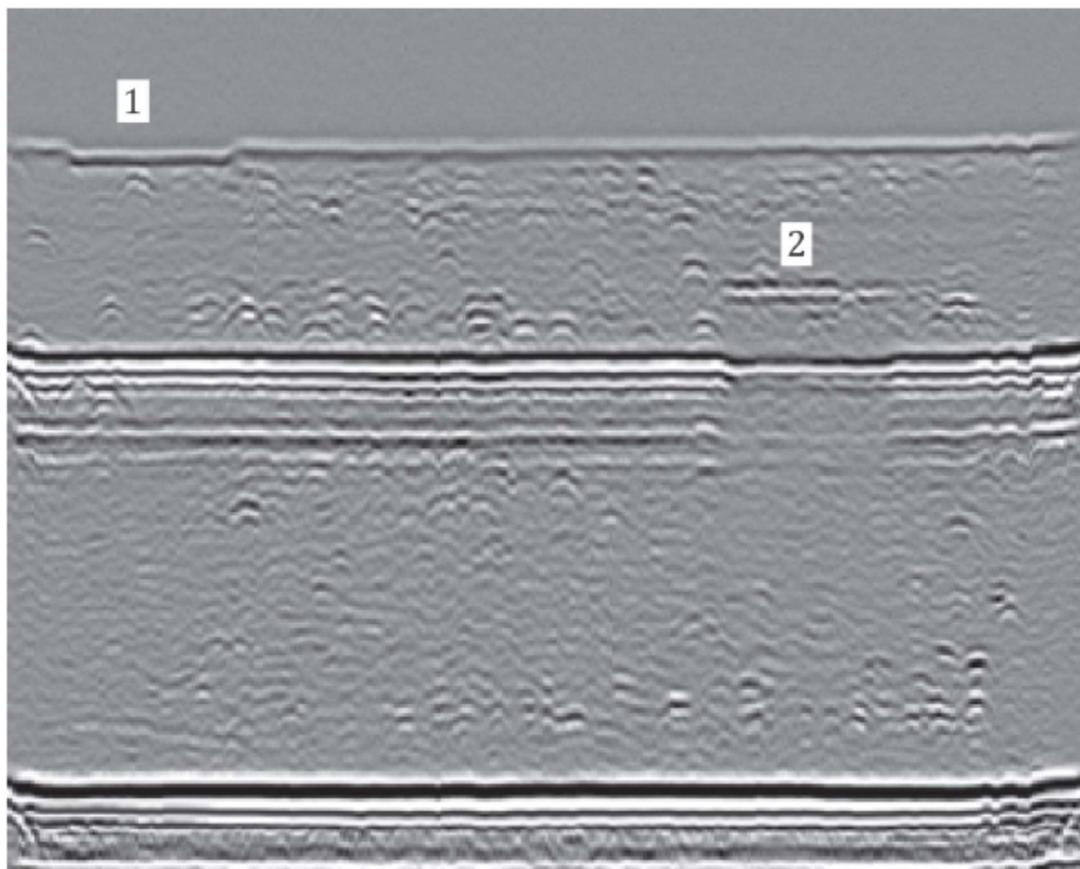
1 *LW-сигнал*

2 *сигнал от противоположной поверхности*

Рисунок В.8 - TOFD-изображение при непостоянной толщине слоя контактной среды (может быть выровнено при помощи программного обеспечения)

## **В.2 Типовые TOFD-изображения несплошностей в сварных соединениях, полученных сваркой плавлением**

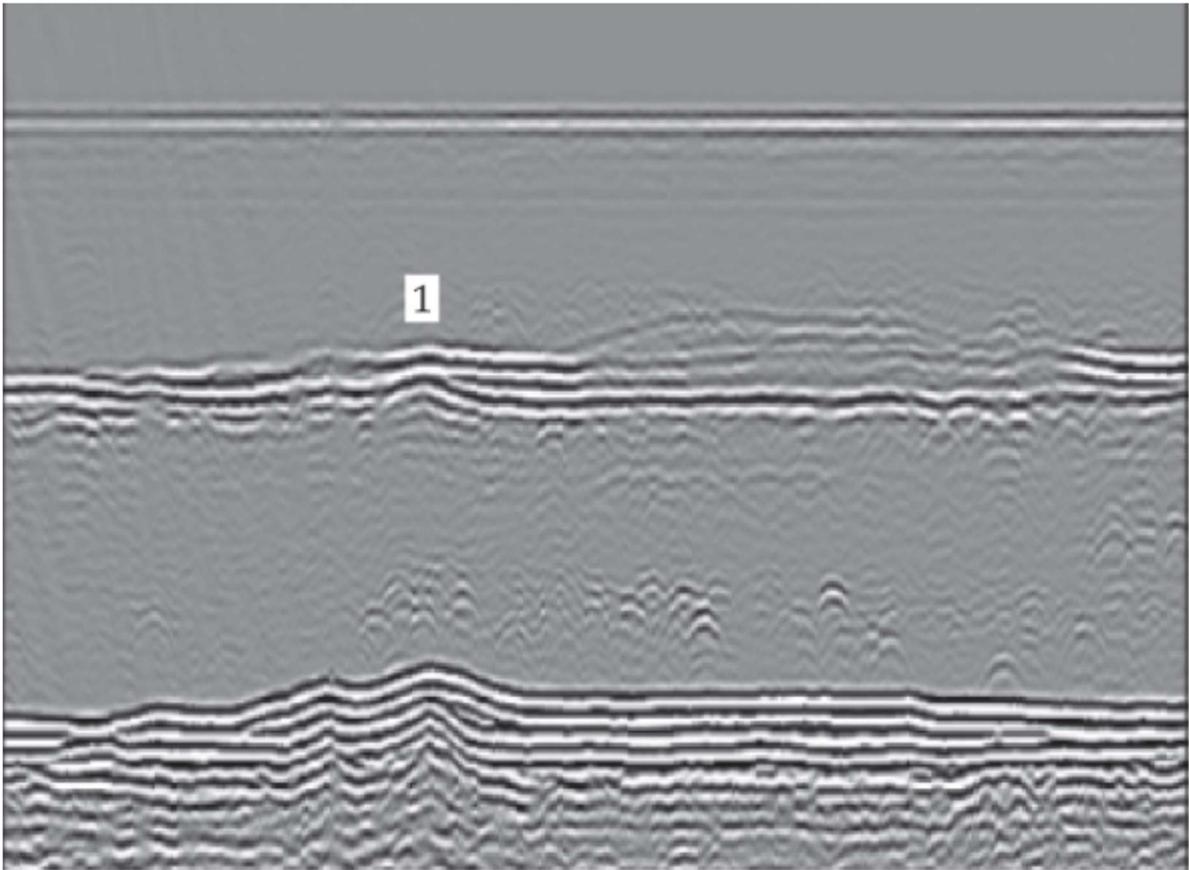
См. рисунки В.9 - В.14.



*1 паз на поверхности сканирования*

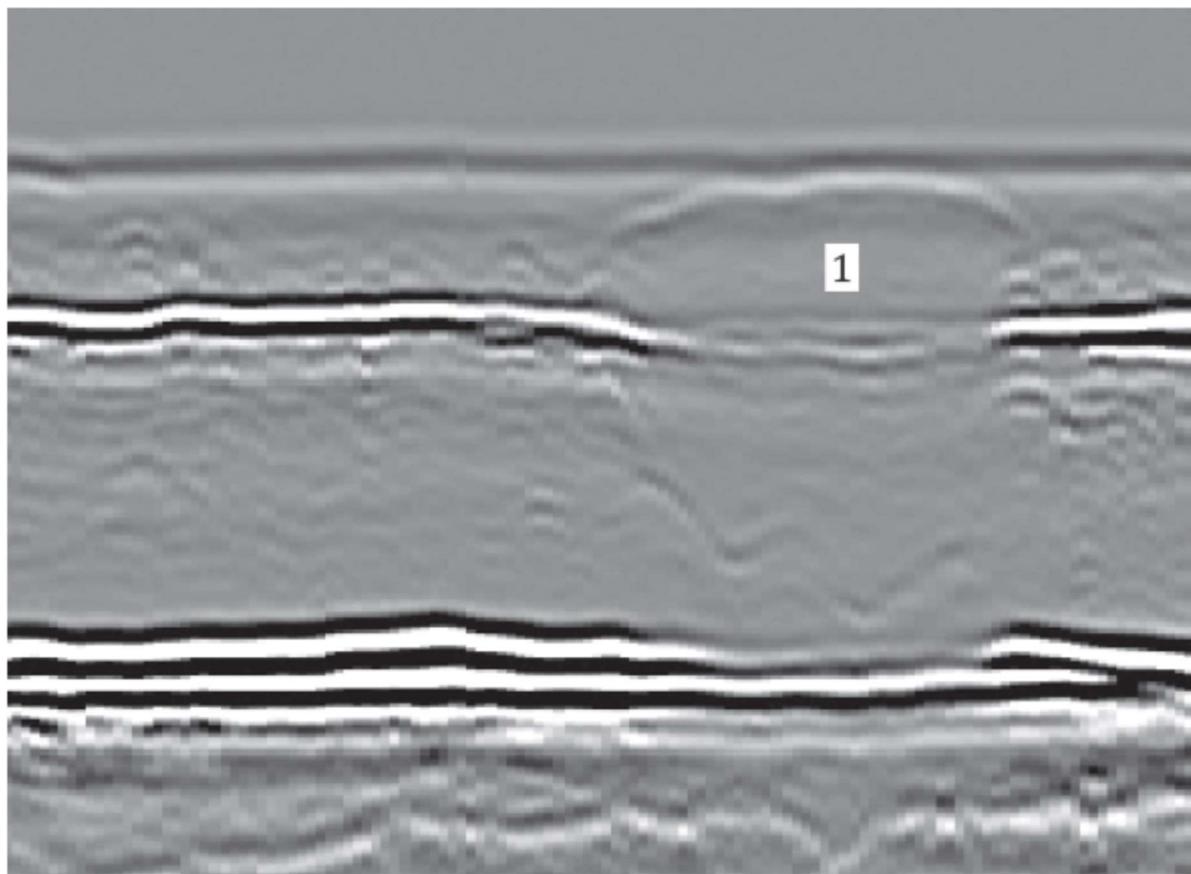
*2 паз на противоположной поверхности*

Рисунок В.9 - TOFD-индикации паза на поверхности сканирования (отклонение LW-сигнала по времени) и паза на противоположной поверхности (дифрагированный сигнал с незначительным отклонением по времени от противоположной поверхности)



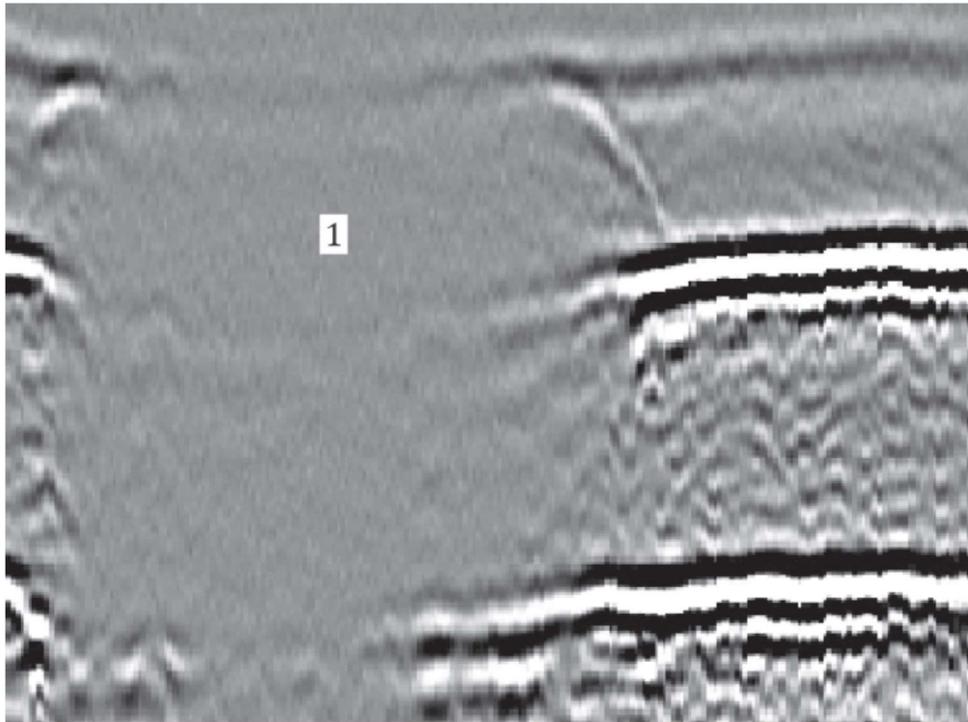
*1* несплошность вблизи противоположной поверхности

Рисунок В.10 - Протяженная TOFD-индикация от несплошности, вблизи  
противоположной поверхности



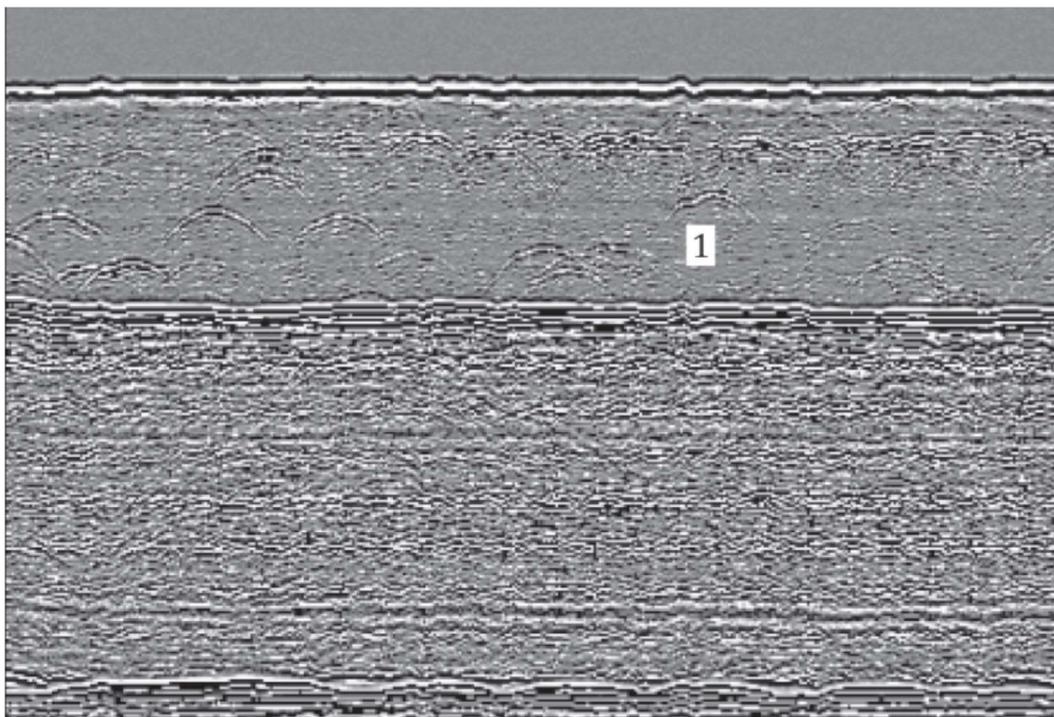
*1 несплошность вблизи противоположной поверхности*

Рисунок В.11 - Протяженная TOFD-индикация несплошности, выходящей на противоположную поверхность (почти на всю толщину)



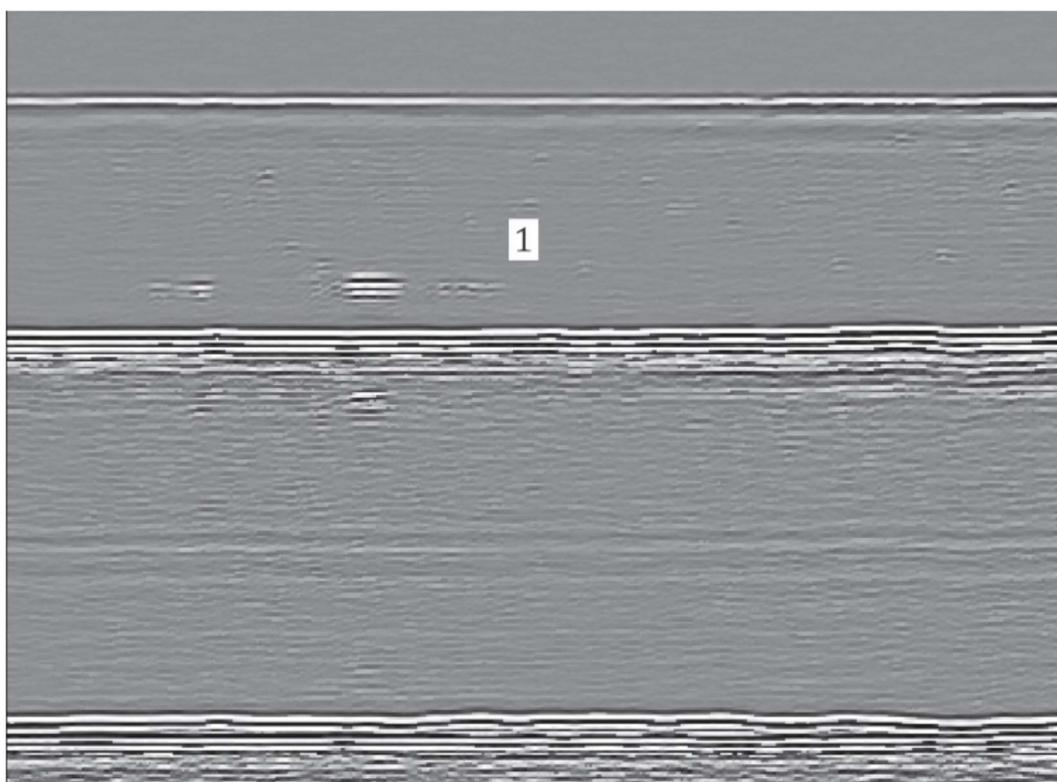
*1 сквозная несплошность*

Рисунок В.12 - TOFD-индикация сквозной трещины (отсутствие LW-сигнала и сигнала от противоположной поверхности, при этом наблюдаются дифрагированные сигналы в начале и конце участка)



*1 точечные несплошности*

Рисунок В.13 - TOFD-индикации от многочисленных точечных несплошностей

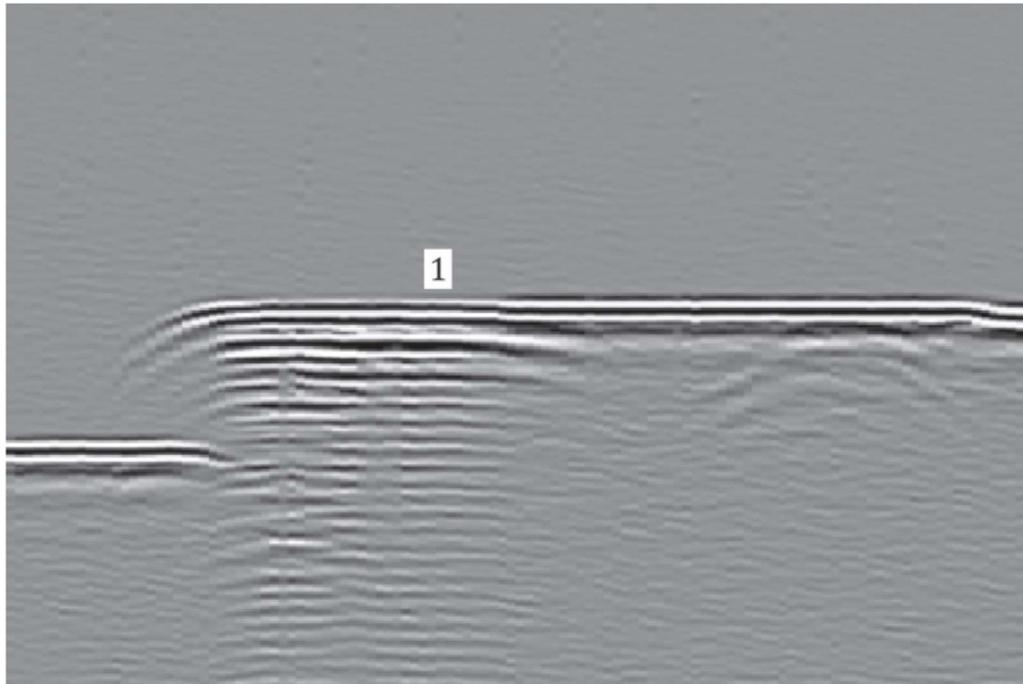


*1 протяженная несплошность*

Рисунок В.14 - TOFD-индикации протяженных несплошностей с измеряемой высотой

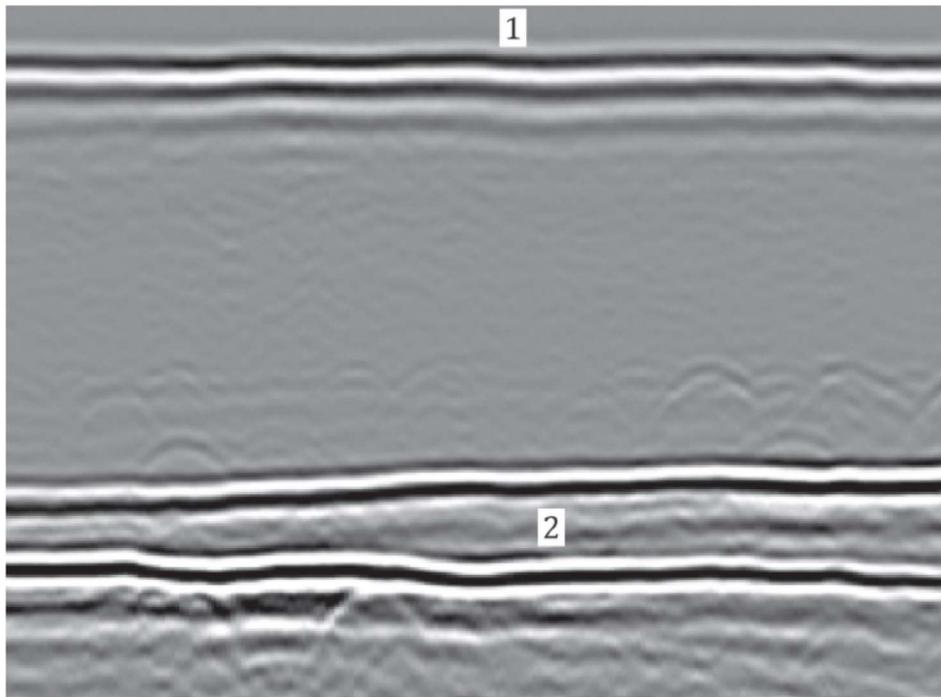
### **В.3 TOFD-изображения особенностей геометрических параметров изделия**

См. рисунки В. 15 - В. 18.



*1* сигнал от противоположной поверхности

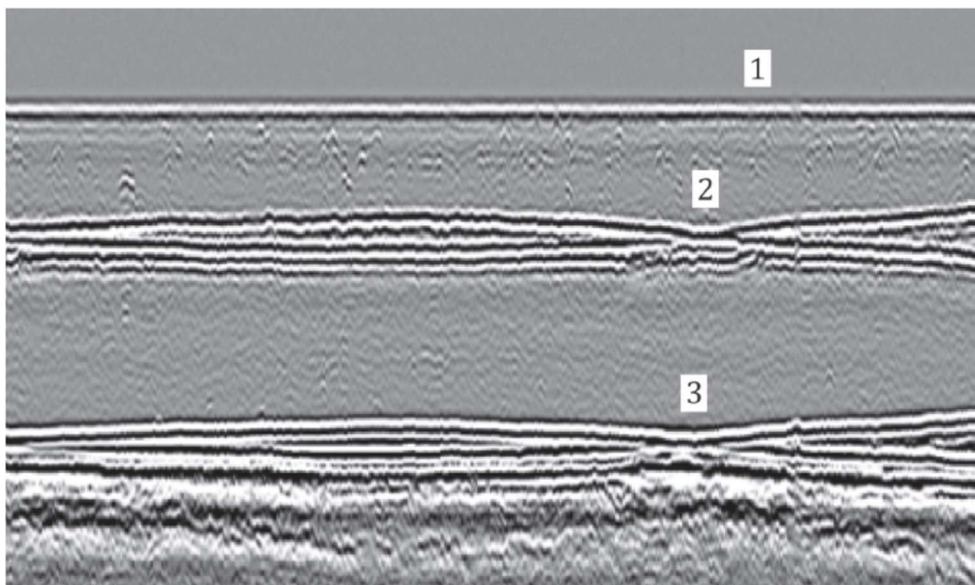
Рисунок В.15 - TOFD-индикация при изменении толщины стенки



1 LW-сигнал

2 двойное отражение от противоположной поверхности

Рисунок В.16 - TOFD-индикация при различной толщине стенки (двойное отражение от противоположной поверхности)



1 LW-сигнал

3 трансформированные сигналы

2 двойное отражение от противоположной поверхности

Рисунок В.17 - TOFD-изображение при смещении осей сваренных труб



**Приложение ДА**  
(справочное)

**Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов  
ссылочным межгосударственным стандартам**

Т а б л и ц а ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO 9712	-	*
ISO 17635	IDT	ГОСТ ISO 17635
ISO 17640	-	*
ISO 16828		
ISO 5577	-	*
ISO 22232-1	-	*
ISO 22232-2	-	*
	-	*
	-	*
	-	*
	-	*
	-	*
	-	*

П р и м е ч а н и е – В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

- IDT – идентичные стандарты.
- \* Соответствующие межгосударственные стандарты отсутствуют. До их принятия рекомендуется использовать переводы на русский язык международных стандартов. Официальные переводы указанных международных стандартов находятся в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов Российской Федерации.

## Библиография

- [1] ISO 17635, Non-destructive testing of welds — General rules for metallic materials (Неразрушающий контроль сварных швов. Общие правила для металлических материалов)
- [2] ISO 15626, Non-destructive testing of welds — Time-of-flight diffraction technique (TOFD) — Acceptance levels (Неразрушающий контроль сварных соединений. Времяпролетный дифракционный метод (TOFD). Уровни приемки)
- [3] ISO 16810, Non-destructive testing — Ultrasonic examination — General principles (Контроль неразрушающий. Ультразвуковой метод. Общие принципы)